



REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS

TECNOLOGIAS DE SEGREGAÇÃO E
TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NA
ORIGEM, VISANDO A REDUÇÃO DO CONSUMO
DE ÁGUA E DA INFRA-ESTRUTURA DE COLETA,
ESPECIALMENTE NAS PERIFERIAS URBANAS

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES
UFES, UFSC, UNICAMP, IPT



Apresentação

Esta publicação é um dos produtos da Rede de Pesquisas sobre o tema “Tecnologias de Segregação e Tratamento de Esgotos Domésticos na Origem Visando a Redução do Consumo de Água e da Infra-Estrutura de Coleta, Especialmente nas Periferias Urbanas”, do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico PROSAB - Edital 04, coordenada pelo Prof. Ricardo Franci Gonçalves da Universidade Federal do Espírito Santo.

O PROSAB visa ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias (esgoto), resíduos sólidos (lixo e biossólidos) que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, bem como visem à recuperação ambiental dos corpos d'água e à melhoria das condições de vida da população, especialmente as menos favorecidas e que mais necessitam de ações nessas áreas.

Até o final de 2005 foram lançados quatro editais do PROSAB, financiados pela FINEP, pelo CNPq e pela CAIXA, contando com diferentes fontes de recursos, como BID, Tesouro Nacional, Fundo Nacional de Recursos Hídricos (CT-HIDRO) e recursos próprios da Caixa. A gestão financeira compartilhada do PROSAB viabiliza a atuação integrada e eficiente de seus órgãos financiadores que analisam as solicitações de financiamento em conjunto e tornam disponíveis recursos simultaneamente para as diferentes ações do programa (pesquisas, bolsas e divulgação), evitando a sobreposição de verbas e tornando mais eficiente a aplicação dos recursos de cada agência.

Tecnicamente, o PROSAB é gerido por um grupo coordenador interinstitucional, constituído por representantes da FINEP, do CNPq, da CAIXA, do Ministério das Cidades, das universidades, da associação de classe e das companhias de saneamento. Suas principais funções são: definir os temas prioritários a cada edital; analisar as propostas, emitindo parecer para orientar a decisão da FINEP e do CNPq; indicar consultores ad hoc para avaliação dos projetos; e acompanhar e avaliar permanentemente o programa.

O Programa funciona no formato de redes cooperativas de pesquisa formadas a partir de temas prioritários lançados a cada Chamada Pública. As redes integram os pesquisadores das diversas instituições, homogeneizam a informação entre seus integrantes e possibilitam a capacitação permanente de instituições emergentes. No âmbito de cada rede, os projetos das diversas instituições tem interfaces e enquadram-se em uma proposta global de estudos, garantindo a geração de resultados de pesquisa efetivos e prontamente aplicáveis no cenário nacional. A atuação em rede permite, ainda, a padronização de metodologias de análises, a constante difusão e circulação de informações entre as instituições, o estímulo ao desenvolvimento de parcerias e a maximização dos resultados.

As redes de pesquisas são acompanhadas e permanentemente avaliadas por consultores, pelas agências financiadoras e pelo Grupo Coordenador, através de reuniões periódicas, visitas técnicas e Seminários anuais.

Os resultados obtidos pelo PROSAB estão disponíveis através de manuais, livros, artigos publicados em revistas especializadas e trabalhos apresentados em encontros técnicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado publicadas. Além disso, várias unidades de saneamento foram construídas nestes últimos anos por todo o país e, em maior ou menor grau, utilizaram informações geradas pelos projetos de pesquisa do PROSAB

Além de seu portal (www.finep.gov.br/prosab/index.html) , a divulgação do PROSAB tem sido feita através de artigos em revistas da área, da participação em mesas-redondas, de trabalhos selecionados para apresentação em eventos, bem como pela publicação de porta-fólios e folders contendo informações sobre os projetos de cada edital.



GRUPO COORDENADOR DO PROSAB:

Jurandyr Povinelli SAE/SC e EESC
saaegabi@terra.com.br e jpovinel@sc.usp.br

Cícero O. de Andrade Neto - UFRN
cicero@ct.ufrn.br

Deíza Lara Pinto - CNPq
dlara@cnpq.br

Marcos Helano Montenegro Ministério das Cidades
marcos.montenegro@idades.gov.br

Sandra Helena Bondarowsky CAIXA
sandra.bondarowsky@caixa.gov.br

Jeanine Claper - CAIXA
jeanine.claper@caixa.gov.br

Anna Virgínia Machado ABES
anna.virginia@abes-dn.org.br

Ana Maria Barbosa Silva - FINEP
anamaria@finep.gov.br

Célia Maria Poppe de Figueiredo - FINEP
cmfigue@finep.gov.br

O edital 4 do PROSAB foi financiado pela FINEP, CNPq e CAIXA com as seguintes fontes de recursos: Fundo Setorial de Recursos Hídricos e Recursos Ordinários do Tesouro Nacional do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e Caixa Econômica Federal.



Ricardo Franci Gonçalves
(coordenador)

Uso Racional da Água em Edificações

Vitória - ES
2006

Copyright © 2006 ABES RJ

1ª Edição tiragem: 1000 exemplares

Projeto Gráfico, editoração eletrônica e fotolitos

SERMOGRAF Artes Gráficas e Editora Ltda:

Rua São Sebastião, 199

CEP 25645-045 São Sebastião Petrópolis - RJ

TEL: (0xx24) 2237 3769 Fax: (0xx24) 2237-3709

Sermograf@sermograf.com.br

Coordenador

Ricardo Franci Gonçalves

Uso Racional da Água em Edificações / Ricardo Franci
Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro : ABES, 2006.

352 p. : il.

Projeto PROSAB.

ISBN 85-7022-154-1

ISBN 978-85-7022-154-4

1. Água potável. 2. Conservação. 3. Águas cinzas
4. Água de chuva. 5. Reúso predial I. Gonçalves,
Ricardo Franci



Ricardo Franci Gonçalves
(coordenador)

Instituições Participantes e Coordenadores de Projeto

Universidade Federal do Espírito Santo UFES
Departamento de Engenharia Ambiental
Coordenador: Ricardo Franci Gonçalves (coordenador da rede)
franci@npd.ufes.br

Universidade Federal de Santa Catarina UFSC
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Coordenador: Luiz Sergio Philippi
lsp@ens.ufsc.br

Universidade Estadual de Campinas UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Faculdade de Engenharia Agrícola
Coordenador: Edson Aparecido Abdul Nour
ednour@fec.unicamp.br

Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT
Seção de Saneamento Ambiental
Coordenador: Wolney Castilho Alves
wolneipt@ipt.br

Consultores

Eduardo Pacheco Jordão
Universidade Federal do Rio de Janeiro - EP UFRJ
jordao@poli.ufrj.br

Sidney Seckler Ferreira Filho
Universidade de São Paulo EP USP
ssffilho@usp.br



Autores

RICARDO FRANCI GONÇALVES (COORDENADOR DA REDE)

Engenheiro Civil e Sanitarista pela UERJ (1984), pós-graduado em Eng^a de Saúde Pública - ENSP/RJ (1985), DEA Ciências do Meio Ambiente - Universidade Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Águas - INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do DEA e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental UFES

EDSON APARECIDO ABDUL NOUR

Engenheiro de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP (1984), Tecnólogo em Saneamento pelo Centro Superior de Educação Tecnológica/UNICAMP (1985), Mestre em Engenharia Civil pela FEC/UNICAMP (1990), Doutor em Engenharia Civil pela EESC/USP (1996), Prof. Dr. do Depto. de Saneamento e Ambiente da FEC/UNICAMP.

LUIZ SERGIO PHILIPPI

Engenheiro Civil pela UFSC (1976), Mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP (1981), Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Montpellier I, França (1992), Pós doutorado pela Universidade Montpellier II (2001), Prof. Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

WOLNEY CASTILHO ALVES

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP (1983); MPhil (1990) e PhD (1997) pela Heriot-Watt University, Edimburgo, Escócia. Pesquisador responsável pela Seção de Saneamento do Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento, Centro de Tecnologia do Ambiente Construído do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/CETAC/LIP). Professor do Mestrado em Tecnologias Ambientais e em Habitação do IPT.

EDUARDO PACHECO JORDÃO

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, Master of Science pela The University of Wisconsin, USA, Doutor em Engenharia pela Universidade de São Paulo USP, Professor Adjunto da Escola Politécnica da UFRJ, Engenheiro Consultor.

BIANCA BARCELLOS BAZZARELLA

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (2003), Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFES (2005), Engenheira da Companhia Espírito Santense de Tecnologia (CESAN)

KARLA PONZOVACCARI ANNECCHINI

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (2003), Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFES (2005), Engenheira da Companhia Espírito Santense de Tecnologia (CESAN)

LUCIANO ZANELLA

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Guaratinguetá) (1995); Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP) (1999); doutorando em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela FEC-UNICAMP. Pesquisador da Seção de Saneamento do Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento, Centro de Tecnologia do Ambiente Construído do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/CETAC/LIP). Professor convidado do Mestrado em Tecnologias Ambientais e em Habitação do IPT.

ADILSON LOURENÇO ROCHA

Engenheiro Industrial, modalidade mecânica, pela Faculdade de Engenharia Industrial (UNIFEI) (1971), Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP (1990). Responsável pelo Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento do Centro Tecnológico do Ambiente Construído do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/CETAC/LIP). Membro do GT-AAQ (Aparelhos Elétricos Fixos de Aquecimento Instantâneo de Água) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE-INMETRO) e Coordenador das Comissões de Estudos da ABNT/CB-02 de Instalações prediais de água fria, Caixa e válvula de descarga para bacias sanitárias e Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria. Professor do Mestrado em Habitação do IPT.

PABLO HELENO SEZERINO

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFSC (2000), Mestrado em Engenharia Ambiental-UFSC (2002), Doutor em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFSC (2006).

MADOLON REBELO PETERS

Engenheira Civil pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2003), Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFSC (2006), Pesquisadora do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado GESAD/ENS/UFSC.

DENIS MIGUEL ROSTON

Engenheiro Civil pela EESC/USP (1975), Especialização em Environmental Engineering pela Delft University Of Technology Institute For Hydraulic And Environmental En, IHE, Holanda (1983), Mestrado em Engenharia Agrícola pela UNICAMP (1985), Doutor em Engenharia Civil pelo Programa de Eng Ambiental da Colorado State University (1993), Prof. Dr. da FEAGRI/UNICAMP.



Colaboradores no Desenvolvimento do Livro

As seguintes pessoas e instituições colaboraram para o desenvolvimento do Livro em apreço, a quem os autores são gratos:

Jose Euclides Stipp Paterniani, José Teixeira Filho, Sandra Aparecida Rozon de Camargo, Lílian de Almeida Mendonça, Marcos Paulo de Freitas, Kátia Moreira de Souza Melo, Hugo Ricardo Melilo, Clarisse Post Darella, Júlia de Araújo Pascal, Magnum Maciel Vieira, Renate Wanke, Giovana Martinelli da Silva, Rodrigo Maestri.

Liceu de Artes e Ofício, Hotel Comfort de Macaé (RJ), Construtora Mazzini Gomes, Fluir Engenharia Ambiental, SEMASA - Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André, SAAE Guarulhos - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos, Folha de São Paulo, Flipper Tecnologia Ambiental, Rotogine, Silotto, Bombas Schneider.



Equipes dos Projetos de Pesquisa

| INSTITUIÇÃO | NOME | FUNÇÃO |
|-------------|--|---|
| UFES | Ricardo Franci Gonçalves Sérvio Túlio Cassini Bianca Barcellos Bazzarella Karla Ponzo Vaccari Anzecchini Thais Cardinali Rebouças Germana Bueno Dias Patrícia Lee Wigner Cinthia Alvarenga Mattos Pricila Bolsoni Bruno Coutinho Fernandes Fernanda Pereira Bastos | Coordenador da rede Pesquisador Estudante Mestrado Estudante Mestrado Bolsista AT-NS Bolsista AT-NS Bolsista AT-NM Bolsista de IC - PIBIC Bolsista de IC - PIBIC Bolsista de IC Pesquisadora voluntária |
| IPT | Wolney Castilho Alves Adilson Lourenço Rocha Cláudio Benedito B. Leite Cláudio Vicente Mitidieri Filho Douglas Messina Fulvio Vittorino Luciano Zanella Marcelo de Mello Aquilino Maria Akutsu Sibele Soto Francisco Tatiana Mallart Moreira Hugo Orlando Vargas Perez Flavio Vicente Mendes José Aparecido Silvério dos Santos Sebastião Fernandes da Silva Jr. Sérgio Ferraz da Silva Reginaldo Passos da Cruz Veno Hellmeister Jr. Deise Dias Bentz Marcio H. Soares Cavallini Norman Vinicius Villalba Henriques Felipe Benea Davini Alejandro Cibanic Bruna de Sandre Oristanio Dêbora Amato Lourenço | Coordenador Pesquisador Pesquisador Pesquisador Pesquisador Pesquisador Pesquisador Pesquisador Pesquisadora Pesquisadora Pesquisadora Projetista Técnico Técnico Técnico Técnico Técnico Técnico Bolsista DTI Bolsista DTI Bolsista DTI Bolsista IC Estagiário Estagiária Estagiária |

| INSTITUIÇÃO | NOME | FUNÇÃO |
|--------------------|---|---|
| UFSC | Luiz Sergio Philippi Pablo Heleno Sezerino Madelon Rebelo Peters Hugo Ricardo Melilo Kátia Moreira de Souza Melo Sânia Fortunato de Bem Bruno Pizzolatti Segalla Clarisse Post Darella Júlia de Araújo Pascal Magnum Maciel Vieira | Coordenador de projeto Pesquisador Estudante Mestrado Bolsista AT-NS Bolsista AT-NS Bolsista AT-NS Bolsista IC Bolsista IC Bolsista IC Bolsista IC |
| UNICAMP | Edson Aparecido Abdul Nour Denis Miguel Roston José Euclides Stipp Paterniani José Teixeira Filho Sandra Aparecida Rozon de Camargo Lílian de Almeida Mendonça Marcos Paulo de Freitas | Coordenador de projeto Pesquisador Pesquisador Pesquisador Bolsista DTI-F Bolsista IC Bolsista IC |

Sumário

| | | |
|------------|---|-----|
| Capítulo 1 | - Introdução | 01 |
| Capítulo 2 | - Conservação de Água no Meio Urbano | 29 |
| Capítulo 3 | - Aproveitamento da Água de Chuva | 73 |
| Capítulo 4 | - Gerenciamento de Águas Cinzas | 153 |
| Capítulo 5 | - Gerenciamento de Águas Negras e Amarelas | 223 |
| Capítulo 6 | - Aparelhos Sanitários Economizadores | 267 |
| Capítulo 7 | - Análise Crítica | 323 |



Notas dos Autores

Por tratar de temas inovadores para a engenharia sanitária, alguns dos quais ainda incipientes em termos de conceituação, de desenvolvimento tecnológico e de experiências em escala real, esse livro foi um grande desafio para os pesquisadores da rede 5 do PROSAB - Edital 4. Com objetivo de fornecer aos leitores uma ampla visão sobre o assunto, todos os esforços foram empreendidos na busca do equilíbrio entre as informações que caracterizam a experiência pregressa, o conhecimento atual e as novas informações decorrentes das mais recentes pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos sobre a conservação de água em edificações. O assunto é palpitante, por lidar não somente com os aspectos técnicos relacionados à engenharia, mas também com o comportamento humano face ao recurso água nas cidades. É evidente que as novas tecnologias de aproveitamento de fontes alternativas de água, os modernos dispositivos economizadores, as técnicas de projeto de sistemas hidro-sanitários alternativos, por exemplo, assumem papel importante na busca por um ciclo urbano da água sustentável. Entretanto, o comportamento humano emerge como crucial na luta contra a escassez e a iniquidade da distribuição, motivo pelo qual foi alvo de abordagem especial ao longo de toda a obra.

No capítulo 1 é realizada uma introdução ao tema, abordando aspectos relacionados com o ciclo urbano da água, os usos da água em ambiente urbano, a disponibilidade x demanda, as técnicas de racionalização do uso (curto, médio e longo prazo) e as ações do PROSAB rede 5. No capítulo 2, os principais conceitos relacionados com o uso racional da água em áreas urbanas são apresentados discutidos. O capítulo 3 realiza uma abordagem atualizada sobre as modernas técnicas de gerenciamento da água de chuva em áreas urbanas, contemplando técnicas para seu aproveitamento nas edificações. O capítulo 4 é dedicado ao reúso de águas cinzas, envolvendo a caracterização quali-quantitativa desta água residuária, os riscos envolvidos com o reúso residencial, as técnicas de tratamento e a viabilidade econômica desta prática. O

gerenciamento de águas negras e águas amarelas é o objeto do capítulo 5, que analisa as técnicas de segregação, a origem e as características das águas negras e amarelas, e as tecnologias de segregação e tratamento. O capítulo 6 discute os aspectos comportamentais relacionados com a conservação de água nas edificações, enquanto que os aparelhos sanitários economizadores” são enfocados no capítulo. Finalmente, no capítulo 7 é realizada uma análise crítica da viabilidade técnica e econômica de utilização das fontes alternativas pesquisadas pela Rede Temática 5 do Edital 4 do PROSAB nas edificações.

Capítulo 1

Introdução

Ricardo Franci Gonçalves e Eduardo Pacheco Jordão

Introdução

A escassez de água em regiões urbanas faz sofrer grandes contingentes populacionais, limita a atividade econômica, retarda o progresso. Infelizmente, essa é a realidade atual em várias cidades brasileiras, cujo abastecimento se encontra ameaçado por problemas relacionados tanto com a quantidade quanto com a qualidade da água. Born (2000) ressalta, além da escassez física, outros dois tipos de escassez: a escassez econômica, referente à incapacidade de se pagar os custos de acesso a águas e a escassez política, correspondente às políticas públicas inadequadas que impedem algum segmento populacional de ter acesso à água ou ecossistemas aquáticos.

Por certo não se trata de um problema exclusivamente brasileiro e tem como uma das principais causas o crescimento da população. Em realidade, a transição do século 20 para o século 21 é marcada por um crescimento demográfico sem precedentes: em 1999, a população mundial era de 6 bilhões de pessoas e estima-se que chegará a 7,9 ou 9,1 bilhões em 2025. O quadro de escassez é agravado nas bacias hidrográficas com maiores índices de urbanização, não só pelo crescimento rápido da demanda de água, mas também pela poluição causada pelo lançamento de águas residuárias (HINRICHSEN *et al.*, 2005).

Há que se considerar ainda a importante heterogeneidade na distribuição geográfica dos recursos hídricos no Brasil e no Mundo (Figura 1.1). Mesmo sendo o Brasil detentor de cerca de 13,7% de toda a água doce superficial, 70% desse recurso se encontram na região amazônica. Nas regiões Norte e Centro-Oeste concentra-se a maior parte dos recursos

hídricos do país, onde a densidade populacional é relativamente pequena em comparação com as outras regiões. Em contrapartida, as regiões Sudeste e Nordeste concentram a menor parcela de água e são responsáveis pelo abastecimento de mais de 70% da população brasileira (IDEC, 2002).

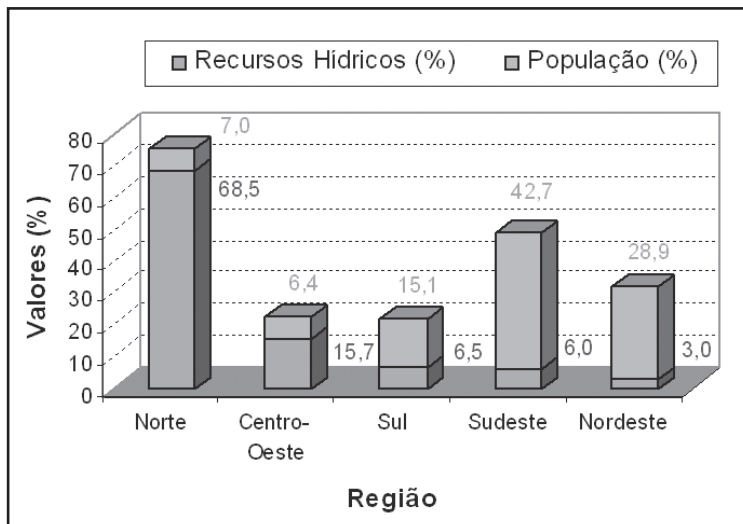


Figura 1.1 Distribuição dos recursos hídricos e da população no Brasil
(Fonte: IDEC (2002))

Para Ghisi (2005), sem a implementação de programas de conservação a disponibilidade hídrica nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil podem chegar à condição de catastróficamente baixa, de acordo com a classificação da ONU (UNEP, 2002) (Tabela 1.1 e Figura 1.2).

Algumas das principais causas da escassez da água são relacionadas por Silva (2004):

- Urbanização elevada e desordenada da infra-estrutura urbana;
- Diversificação e intensificação das atividades e consequentemente do uso da água;
- Impermeabilização e erosão do solo;
- Ocupação de área de mananciais, com conseqüente poluição e assoreamento das margens;
- Conflitos gerados pelas concorrências entre os diversos aproveitamentos de água;

- Preponderância histórica dos interesses do setor hidroelétrico na política dos recursos hídricos;
- Deficiências do setor de saneamento e a relação entre água e saúde;
- Migrações populacionais motivadas pela escassez de água;
- Conflitos entre países gerados pela falta de água, muitos dos quais assumindo proporções de guerra.

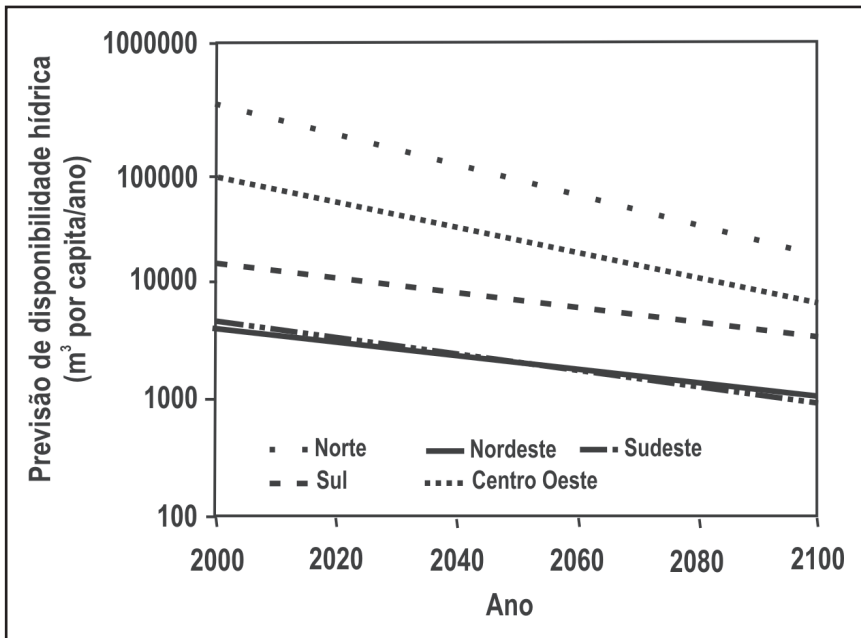


Figura 1.2 Previsão de disponibilidade hídrica no Brasil (Fonte: Ghisi, 2005).

Tabela 1.1 Classificação da Disponibilidade Hídrica segundo o UNEP / ONU

| DISPONIBILIDADE HÍDRICA (m ³ per capita/ano) | CLASSIFICAÇÃO |
|--|-------------------------|
| Maior que 20.000 | Muito alta |
| 10.000 – 20.000 | Alta |
| 5.000 – 10.000 | Média |
| 2.000 – 5.000 | Baixa |
| 1.000 – 2.000 | Muito Baixa |
| Menor que 1.000 | Catastroficamente baixa |

Fonte: UNEP, 2002.

A Escassez de Água em Debate pela Comunidade Internacional

As estatísticas internacionais confirmam as dificuldades que diversos países têm em universalizar o acesso à água com qualidade adequada e quantidade suficiente às suas populações. Uma análise das principais iniciativas da comunidade internacional relacionadas com a seguridade hídrica, suas implicações no gerenciamento de bacias hidrográficas e, em última instância, na cidadania, é realizada por Born (2000) e resumida a seguir.

Desde 1991, a ONU, através do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Mundial de Saúde (OMS), desenvolvem atividades conjuntas no sentido do gerenciamento global dos recursos hídricos. A ação concertada destas instituições resultou no desenvolvimento de uma Estratégia Global para a Administração da Qualidade das Águas, tendo como base o conceito do desenvolvimento sustentado, cujos objetivos foram: a manutenção da integridade dos ecossistemas, a proteção da saúde pública e o uso sustentado da água. A estratégia proposta cita a necessidade do desenvolvimento de um equilíbrio racional entre a quantidade e a qualidade, tendo como foco o gerenciamento ambiental, levando em consideração as possibilidades de tratamento e de reúso das águas. Suas quatro principais linhas de ação recomendadas foram:

- **Política hídrica integrada:** Reconhece a relação indissociável entre a quantidade e a qualidade das águas, assim como sua importância para as ações de conservação dos recursos hídricos. Como exemplo podem ser citadas as diferentes formas de reúso de águas residuárias visando à conservação da água, cuja formulação de uma política para implementação deve considerar os aspectos relacionados com a quantidade e a qualidade da mesma.
- **Ação integrada e ampla na bacia hidrográfica:** A bacia de drenagem é reconhecida como a unidade hidrogeográfica ideal para o gerenciamento dos recursos hídricos. O gerenciamento dos recursos hídricos por bacias hidrográficas requer um aperfeiçoamento do arcabouço jurídico e institucional, sobretudo nos casos das bacias compartilhadas por mais de um país.

- **Proteção dos recursos hídricos subterrâneos:** O gerenciamento dos recursos deve considerar a proteção dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente nas regiões onde estes são vitais para o abastecimento humano.
- **Ação conjunta internacional:** Objetiva-se o aperfeiçoamento dos instrumentos de gestão de bacias compartilhadas por vários países, bem como a transferência de experiências e tecnologias.

A Cúpula da Terra ou Rio-92 (Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMDAD ou UNCED), apresentou um capítulo específico sobre a sustentabilidade hídrica das populações. Trata-se do Capítulo 18 da **Agenda 21**, intitulado: “Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos; Aplicação de abordagens integradas para o desenvolvimento, gestão e uso da água” (ONU, 1992). Uma série de programas foi proposta nesse sentido, compreendendo objetivos tais como:

- (1) Desenvolvimento de novas fontes e alternativas de abastecimento de água, tais como a dessalinização da água, a recarga artificial de aquíferos subterrâneos, o uso de águas com menor qualidade e o reúso de águas residuárias e a reciclagem de água.
- (2) Promoção de práticas conservacionistas de água através de programas mais eficientes de aproveitamento de água e de minimização do desperdício, inclusive com o desenvolvimento de mecanismos que resultem na poupança de água.

Na seqüência da Rio-92 a seguridade hídrica das populações foi um tema recorrente nas diversas reuniões e conclaves da comunidade internacional sobre meio ambiente e sustentabilidade no âmbito da ONU (Cairo-94, Copenhagen-95, Roma-96 e Cúpula da Terra II). Algumas das principais metas internacionais estabelecidas desde então são:

- (a) redução até 2015 de 50% do número de pessoas vivendo em condições de extrema pobreza;
- (b) redução, até 2015, de dois terços da taxa de mortalidade infantil de crianças até 5 anos, com base nos níveis de 1990;
- (c) adoção e implementação de uma Estratégia Nacional de

Desenvolvimento Sustentável, até 2005, de forma a garantir a reversão efetiva da degradação ambiental, em níveis nacionais e global, até 2015;

- (d) redução do número de pessoas famintas e desnutridas pela metade até 2015.

Algumas metas propostas pela GWP – *Global Water Partnership* com relação à seguridade hídrica são apresentadas a seguir (BORN, 2000):

- (a) Implementação de estratégias e políticas para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos em 75% dos países até 2005 e 100% até 2015;
- (b) Padrões (com base em indicadores biológicos) de avaliação sanitária de ecossistemas aquáticos estabelecidos em todos os países até 2005 e implementação de programas para melhoria da saúde ambiental de tais ecossistemas até 2015;
- (c) Redução até um terço da proporção atual de pessoas sem acesso a estruturas sanitárias básicas até 2015;
- (d) Redução de 50%, até 2015, da proporção atual de pessoas sem acesso à água segura;
- (e) Redução de 50%, até 2015, de perdas humanas e prejuízos decorrentes de “acidentes” naturais hídricos.

A despeito do engajamento do Brasil na condição de signatário dos mais diversos acordos e programas internacionais e em que pese a grande disponibilidade hídrica bruta renovável existente no país, a intermitência no abastecimento de água é uma realidade nas grandes e médias áreas urbanas do país, em especial nas áreas peri-urbanas de baixa renda. A obtenção de água para o abastecimento público é uma tarefa cada vez mais cara e complexa do ponto de vistas tecnológico, seja pela distância cada vez maior dos mananciais, seja em função da poluição hídrica e a degradação ambiental dos corpos de água. O uso predatório se associa à degradação de mananciais como causas da escassez tanto nas áreas com pequena disponibilidade hídrica natural (semi-árido nordestino) como também nas micro-regiões, aglomerações urbanas e regiões metropolitanas (MARCKA, 2004).

Por Que Aumentar a Eficiência no Uso da Água?

Desnecessária seria uma discussão sobre a importância de se garantir a eficiência no uso de recursos estratégicos para o desenvolvimento do país. Pois não resta dúvida sobre o papel fundamental da água para o desenvolvimento sócio-econômico do Brasil, pelo seu aspecto estruturante no passado, no presente e no futuro do país. Alguns motivos para que se invista na conservação da água são relacionados a seguir:

- O Brasil, apesar da grande disponibilidade bruta de recursos hídricos, possui diversas regiões que se encontram atualmente sob *stress* hídrico. A escassez nesses casos pode ser de origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante, por exemplo, de modificações da qualidade da água pela poluição. Programas voltados para o incremento da eficiência no uso da água visam evidentemente à redução de vazões captadas e da poluição, contribuindo para a conservação da disponibilidade e das reservas estratégicas de recursos.
- No nível das empresas, água é um importante fator de produção de grande importância em numerosos setores de atividade econômica. A racionalização do seu uso resulta em aumento de competitividade, através de redução de custos operacionais e da minimização dos encargos.
- Para as empresas concessionárias dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, um melhor aproveitamento das infra-estruturas existentes e, conseqüentemente, sensíveis economias poderão ser atingidos através da racionalização do uso da água. Considerando-se o desenvolvimento urbano, investimentos em obras poderão ser evitados ou postergados ao se evitar, nos casos possíveis, a necessidade de ampliação dos sistemas de abastecimento água e de esgotamento sanitário.
- A conservação da água na escala residencial pode representar economia sensível de recursos financeiros, pela redução dos encargos devido à utilização da água e à produção de esgoto sanitário, sem que haja degradação da qualidade de vida.
- Do ponto de vista ambiental, a crescente conscientização da sociedade de que os recursos hídricos são finitos aumenta as exigências pela conservação.

Consumo de Água pela Sociedade

A circulação da água em uma área urbana, nos seus diversos usos e formas, na realidade é apenas uma etapa de um sistema muito maior representado pelo ciclo da água na natureza. A esse sub-sistema se atribui o nome de “ciclo urbano” da água, que compreende, na sua forma atual, os sistemas públicos de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de gerenciamento de águas pluviais.

A água é utilizada em todos os segmentos da sociedade e está presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. De maneira geral, pode-se dizer que a demanda resulta da soma do consumo com o desperdício. O desperdício é caracterizado pelo uso de quantidades de água além do requisito necessário para um determinado fim (exemplo: banhos prolongados) e pelas perdas (exemplo: vazamentos nas redes de distribuição).

Em linhas gerais, a maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, a qual é responsável pela utilização de aproximadamente 70% da mesma. O consumo doméstico está em segundo lugar com 23% e tem aumentado durante a última década numa média de 4% por ano (TERPSTRA, 1999). A indústria apresenta um consumo de água de cerca de 7% (IDEC, 2002). A agricultura está na dianteira no consumo de água principalmente devido à contínua expansão da fronteira agrícola, mas também devido ao desperdício. Segundo Rebouças (2003), o uso da água na agricultura ocorre de forma ineficiente, com um desperdício estimado de cerca de 60% de toda a água fornecida a este setor. Evidentemente, o consumo de água nas diferentes regiões do planeta é muito diversificado e depende de uma série de fatores, que vão desde variáveis comportamentais até variáveis físicas e econômicas.

No Brasil, dos 2.178 m³/s que representavam a demanda total de água do país em 2003, 56% da água eram utilizados na agricultura (irrigação), 21% para fins urbanos, 12% para a indústria, 6% no consumo rural e 6% para a dessedentação de animais (ANA, 2003). No que se refere à distribuição de consumo de água por bacia hidrográfica no Brasil, observa-se que, no ano 2000, o maior consumo ocorreu na bacia do Paraná, onde se concentra grande parte da população do país possui, seguido da

bacia do Atlântico do Leste. Segundo Tucci *et al.* (2000), a maior concentração industrial brasileira ocorre nas regiões Sudeste e Sul, sendo que cerca de 74% do total da demanda por água ocorre nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste, correspondendo a grande parte da Região Sudeste.

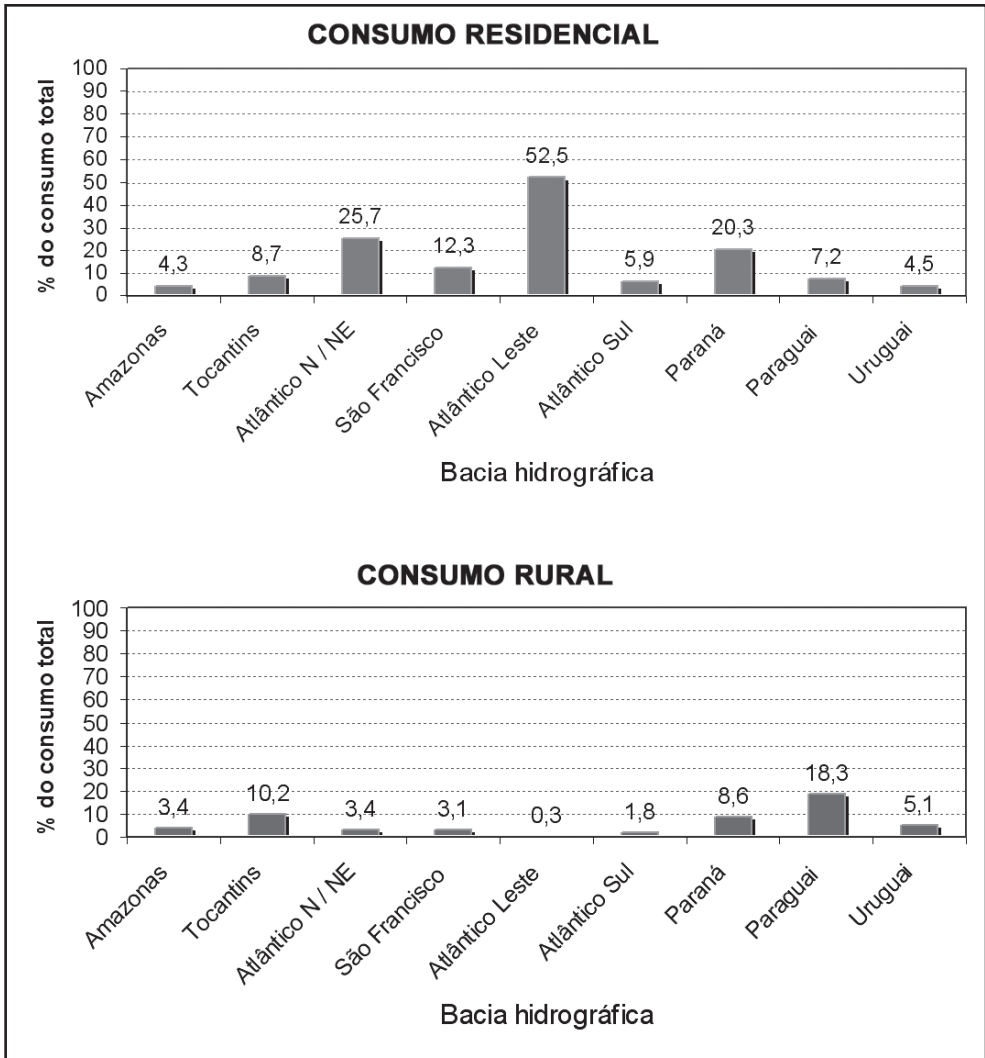


Figura 1.3a Distribuição percentual por tipo de consumo de água nas bacias hidrográficas do Brasil (Adaptado a partir de TUCCI *et al.*, 2000)

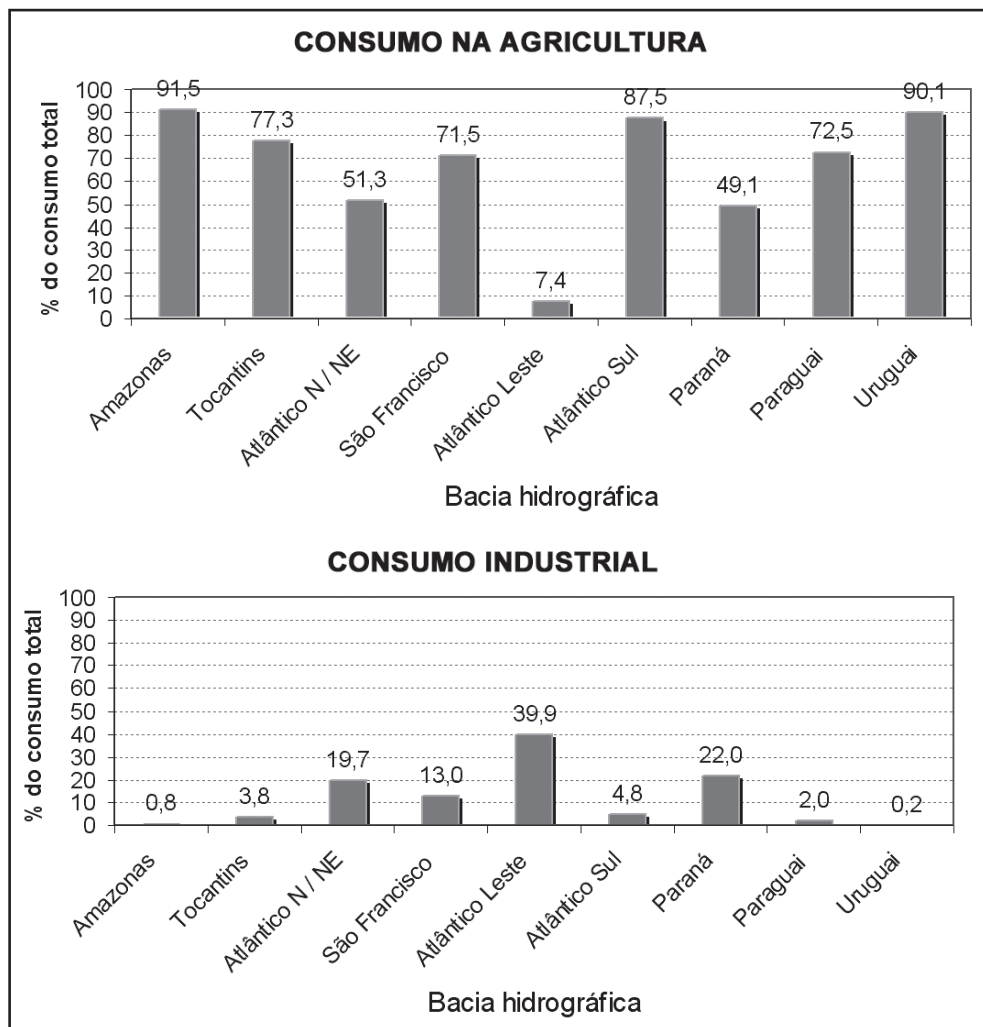


Figura 1.3b Distribuição percentual por tipo de consumo de água nas bacias hidrográficas do Brasil (Adaptado a partir de TUCCI *et al.*, 2000)

No que se refere às áreas urbanas, Tomaz (2000) sub-divide uso da água para consumo em três categorias:

- **Consumo residencial:** relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- **Consumo comercial:** relativo a restaurantes, hospitais, serviços de saúde, hotéis, lavanderias, auto-posto, lava-rápidos, clubes

esportivos, bares, lanchonetes e lojas;

- **Consumo público:** relativo aos edifícios públicos, escolas, parque infantil, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

O consumo de água em áreas urbanas também pode ser classificado nos seguintes segmentos: residencial, não residencial (comercial + industrial de pequeno porte + público) e grandes consumidores (SILVA, 2004). Assim como o consumo residencial, o consumo não residencial apresenta variação proporcional à variação populacional, acompanhando a expansão urbana. Por outro lado, os grandes consumidores industriais apresentam consumo de água intrinsecamente atrelado ao processo industrial, o que não possui relação direta com o crescimento demográfico ou a expansão urbana.

Consumo de água residencial

O consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo também o consumo em pequenas indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, correspondendo a aproximadamente 85% desse total (dados da CESAN de 2002 e 2003) (RODRIGUES, 2005).

O índice mais comum relativo ao uso da água em áreas urbanas é o “consumo diário per capita”, expresso em litros por habitante por dia (L/hab.dia). A agenda 21 propõe como meta de fornecimento de água tratada para 2005 consumo diário per capita de 40 litros (ONU, 1992). Esse valor possui ordem de grande semelhante ao proposto pelo Banco Mundial e pela Organização Mundial da Saúde: suprimento mínimo de 20 a 40 litros/pessoa.dia. Gleick (1999), considerando os consumos mínimos para usos diversos apresentados na tabela 1.2, sugere que a quantidade mínima per capita seja de 50 litros/pessoa.dia. 1.

Tabela 1.2 Quantidade mínima de água para diversos usos

| Consumo | Quantidade Mínima L/pessoa.dia |
|----------------------|--------------------------------|
| Água Potável | 5 |
| Serviços Sanitários | 20 |
| Banho | 15 |
| Preparo de Alimentos | 10 |

Fonte: Gleick (1999)

Tsutiya (2005) estima um consumo médio de água nas residências de 200 L/hab.dia, com oscilações que podem ir de 50 L/hab.dia a 600 L/hab.dia. Estudos realizados pelo Ministério das Cidades no âmbito do Programa de Modernização do Setor de Saneamento mostraram no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2003 que o consumo *per capita* médio no Brasil é de 141 L/hab.dia (PMSS, 2003). Naquele estudo, a região Sudeste apresentou um consumo *per capita* de 174 L/hab.dia, superior a média do país (Tabela 1.3). Os valores de consumo per capita médio das regiões Norte e Nordeste são muito inferiores, denotando que a melhoria do padrão de vida das populações traz como conseqüência um aumento na demanda de água. Tal fato é corroborado pelos dados apresentados na Tabela 1.4, que apresenta o consumo per capita médio total de água, que considera os consumos doméstico, agrícola e industrial, nos diferentes continentes.

Tabela 1.3 Consumo per capita médio de água e por economia em cada região do Brasil, sem considerar a parcela referente às perdas

| Região | Consumo médio de água | |
|--------------|---------------------------|---|
| | Por habitante (L/hab.dia) | Por economia (m ³ /economia.mês) |
| Norte | 111,7 | 16,1 |
| Nordeste | 107,3 | 12,5 |
| Sudeste | 174,0 | 15,9 |
| Sul | 124,6 | 11,7 |
| Centro-Oeste | 133,6 | 13,4 |
| Brasil | 141,0 | 14,1 |

Fonte: PMSS (2003)

Tabela 1.4 Consumo per capita total de água nos diferentes continentes

| Continte | Consumo per capita (l/hab/dia) |
|-------------------------|--------------------------------|
| América do Norte | 1680 |
| América Latina e Caribe | 402 |
| Europa | 626 |
| Ásia | 542 |
| África | 202 |
| Oceania | 586 |

Fonte: Margat (1998)

Distribuição de consumo de água residencial

O conhecimento dos consumos específicos de água que ocorrem nos diversos pontos de utilização de uma residência é de fundamental importância para se saber onde devem ser priorizadas as ações de conservação do uso da água em edificações. O consumo de água em uma residência é influenciado por diversos fatores, tais como:

- Clima da região,
- Renda familiar,
- Número de habitantes da residência,
- Características culturais da comunidade,
- Desperdício domiciliar,
- Valor da tarifa de água,
- Estrutura e forma de gerenciamento do sistema de abastecimento.

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo uso interno, enquanto que o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos, piscinas, entre outros.

Segundo Terpstra (1999), os usos da água dentro de uma residência podem ser separados em quatro categorias:

- Higiene pessoal,
- Descarga de banheiros,
- Consumo,
- Limpeza.

De acordo com essa classificação, a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos:

- **Usos potáveis** - higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos, que exigem água de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação.
- **Usos não potáveis** - lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, etc.

Esses usos podem prever a utilização de fontes alternativas de água, independentes do sistema público de abastecimento de água.

Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram que dentro de uma residência os pontos de maior consumo de água são para dar descarga nos vasos sanitários, para a lavagem de roupas e para tomar banho (Figuras 1.4 e 1.5).

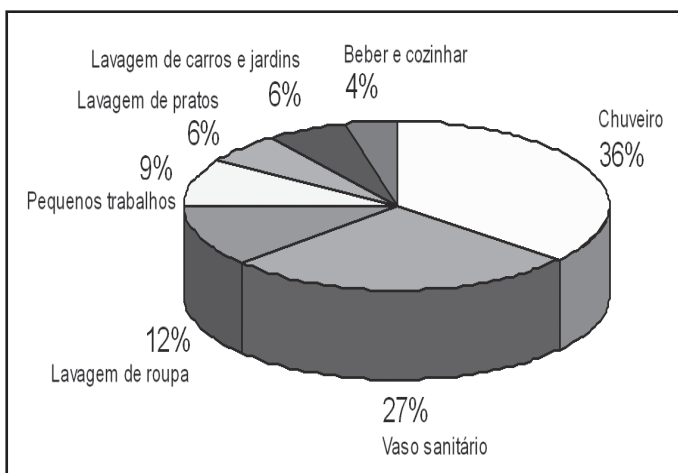


Figura 1.4 Distribuição do consumo de água nas residências na Alemanha.

Fonte: The Rainwater Technology Handbook, 2001 apud Tomaz, 2003.

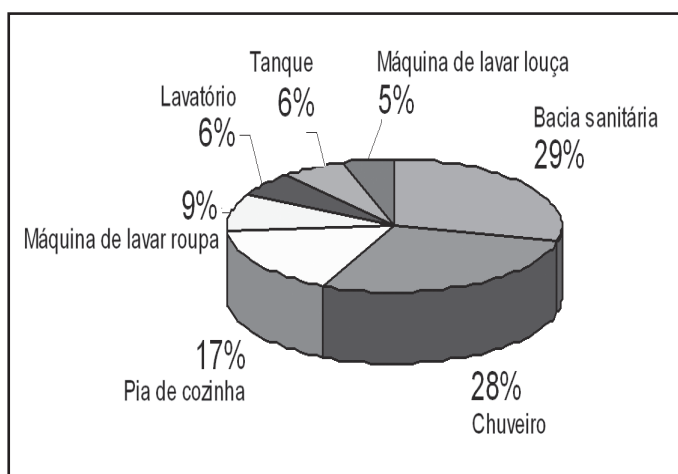


Figura 1.5 Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo.

Fonte: Uso racional da água - USP, 1995.

Pela análise da tabela 1.5, é possível identificar que o banheiro é o ponto de maior consumo de água independente da região onde se encontra a edificação, representando mais da metade do consumo de água nas residências. A bacia sanitária e o chuveiro, em alguns locais, possuem um consumo relativamente semelhante, justificando a necessidade de se investir esforços e recursos em pesquisas sobre práticas de reúso.

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Desta forma, estabelecendo um modelo de abastecimento de rede dupla de água, sendo uma rede de água potável e outra de água de reúso, a conservação da água, através da redução do consumo de água potável, seria garantida.

Tabela 1.5 Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares

| Setor da residência | Simulação Deca * | Prédio USP* | PNCDA (BRASIL, 1998) | Austrália (NSWhealth, 2000) | Dinamarca (Jensen,1991)** | EUA (USEPA, 1992) |
|------------------------|------------------|-------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Banheiro | 72% | 63% | 68% | 70% | 50% | 74% |
| Bacia sanitária | 14% | 29% | 5% | 32% | 20% | 41% |
| Pia | 12% | 6% | 8% | 5% | 10% | - |
| Chuveiro | 47% | 28% | 55% | 33% | 20% | 33% |
| Banheira | - | - | - | | - | - |
| Cozinha | 15% | 22% | 18% | 7% | 25% | 5% |
| Pia de cozinha | 15% | 17% | 18% | 7% | 5% | 5% |
| Máq de lavar louça | - | 5% | - | | 20% | - |
| Área de serviço | 13% | 15% | 14% | 23% | 15% | 21% |
| Máq de lavar roupa | 8% | 9% | 11% | 23% | 15% | 21% |
| Tanque | - | 6% | 3% | - | - | - |
| Torneira de uso geral | 5% | - | - | - | - | - |
| Limpeza | - | - | - | - | - | - |
| Outros | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% |
| Outros | - | - | - | - | - | - |
| Lavagem de carro | - | - | - | - | 10% | - |
| Vazamentos | - | - | - | - | - | - |

* Disponível na Homepage da Deca

** Citado em Tomaz (2000)

Segundo a SABESP (2006), uma família com 4 pessoas, com mudança de hábitos de desperdício nas atividades diárias, pode vir a consumir no máximo 15m³/mês. Esse valor tem por base a estimativa de consumo per capita diário apresentada na tabela 1.6.

O uso de fontes alternativas de suprimento para o abastecimento dos pontos de consumo de água não potável é uma importante prática na busca da sustentabilidade hídrica. Dentre as fontes alternativas pode-se citar o aproveitamento da água da chuva, o reúso de águas servidas e a dessalinização da água do mar.

Tabela 1.6 Estimativa de consumo per capita diário com base no uso racional da água

| Atividade | Número de Vezes | Consumo |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Lavar Roupa | 2/semana | 486 L = 16,7 L/dia |
| Escovar os Dentes | 2/dia | 1,0 L |
| Tomar Banho com Chuveiro Elétrico | 2/dia | 30,0 L |
| Lavar as Mãos | 2/dia | 1,0 L |
| Lavar Louça | 2/dia | 40,0 L |
| Acionamento de Descarga | 3/dia | 30,0 L |
| Total | | 120,0 L / habitante / dia |

Fonte: Contrato SABESP/USP Projeto de pesquisa Sabesp, programa de economia de água de consumo doméstico/Usos Racionais da Água (Site: www.sabesp.com.br)

Programas de Conservação de Água

As soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão dos métodos e sistemas relacionados com o uso da água pelas populações, tendo como meta a sua conservação. Segundo o WUCB (1999), a conservação de água pode ser definida como qualquer ação que:

- Reduza a captação de água dos mananciais,
- Reduza os usos consuntivos,
- Reduza o desperdício ou as perdas de água,
- Aumente a eficiência do uso da água,
- Aumente a reciclagem ou o reúso,
- Previna a poluição da água.

Conseqüentemente, os programas de conservação da água potável constituem-se em importante ferramenta para assegurar a oferta de água potável, por evitar o desperdício e por racionalizar o uso. Para Marcka (2004), trata-se de uma medida complementar ou alternativa à ampliação da oferta de água a médio e longo prazos, bastante viável do ponto de vista técnico e econômico e que experimenta crescente aceitação social pelo seu caráter ecológico. Sua implementação por parte das instituições responsáveis pelos serviços de saneamento básico e o gerenciamento de recursos hídricos deve ser permanente nas esferas federal, estadual e, sobretudo, local e regional. Ressalte-se ainda que, além de economizar água, um programa de conservação de água bem sucedido resulta em

conservação de energia, menor produção de esgoto sanitário e na proteção dos mananciais de água.

Os programas de conservação de água compreendem ações que resultam em economia de água, incidindo não somente sobre os domicílios, as redes de distribuição e em outras partes do sistema de abastecimento, mas também sobre os mananciais, através da criação de áreas de preservação, do combate à poluição na origem e ao desmatamento. Na prática, busca-se a racionalização do uso através de técnicas e procedimentos que resultem na conservação do recurso, sem que haja comprometimento dos usos fundamentais que mantêm a vida nas áreas urbanas. Objetivamente, a conservação de água atua de maneira sistêmica sobre a demanda e a oferta de água.

Para Oliveira (1999), o gerenciamento do recurso “água” deve ser realizado nos seguintes níveis:

- **Nível macro:** as ações de gerenciamento atingem a escala das bacias hidrográficas.
- **Nível meso:** refere-se aos sistemas urbanos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.
- **Nível micro:** relativo às edificações de uma maneira geral.

A conservação de água compreende o uso racional da água, que pressupõe o uso eficiente, e o uso de fontes alternativas de água. O reaproveitamento ou reúso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indireta, decorrentes de ações planejadas ou não. A utilização de fontes alternativas de água é, portanto, uma importante medida de racionalização, por evitar a utilização das fontes convencionais de suprimento (mananciais subterrâneos ou superficiais). Para a efetiva redução do consumo de água, são práticas particularmente eficientes a eliminação ou a redução extrema de água potável como meio de transporte para os dejetos humanos e, num segundo momento, sua substituição por águas menos nobres provenientes, por exemplo, de componentes não sanitários da edificação. Soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão do uso da água nas residências, tendo como meta a redução do consumo de água potável e, concomitantemente,

da produção de águas residuárias. Nesse contexto, as fontes alternativas de água e o reúso de água na escala das residências são opções que despertam o maior interesse, considerando-se que o consumo nesta escala em áreas densamente urbanizadas pode atingir 50% do consumo total.

Como formas de reúso pode-se destacar:

- Irrigação agrícola, que no Brasil é certamente um campo a explorar. Na Califórnia, EUA, cerca de 110 milhões de m³/d são reutilizados como água para agricultura.
- Irrigação de parques públicos, áreas verdes de grandes condomínios, campos de golfe.
- Reúso para fins industriais, incluindo água de serviço e água de processo. O custo da água motiva um grande número de indústrias no Brasil a praticar o reúso da água.
- Recarga do aquífero, que em alguns países, como Israel, é matéria de alta prioridade.
- Uso como água de serviço nas cidades. Em São Paulo a SABESP fornece efluente tratado de estação de tratamento de esgotos para a lavagem de ruas pela Prefeitura e para limpeza e desobstrução das canalizações de esgoto.
- Uso como água não potável nas residências para lavagem de pisos, de roupa, de banho e de descarga de vasos sanitários. Este é o enfoque principal desta publicação, caracterizando uma aplicação extremamente útil e viável.
- Uso como água potável em residências, apenas recomendado quando a fonte pública for altamente deficiente.

Em qualquer destas formas, a preocupação com a questão da proteção da saúde e a saúde pública está na origem das ações, devendo as diversas formas de reúso estar compatibilizadas com os fins a que se destinam. Nesse sentido, os custos da água reusada serão tanto maiores quanto melhor a qualidade a se obter, sendo este aspecto fundamental e requerendo uma rigorosa avaliação econômica do projeto a implantar.

Experiência Brasileira sobre a Conservação de Água

Algumas das principais experiências brasileiras no sentido da conservação de água são apresentados a seguir.

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA

O principal programa brasileiro voltado para a conservação de água potável é Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, coordenado pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Foi instituído no ano de 1997, através de uma articulação institucional entre o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, o Ministério das Minas e Energia e o Ministério do Planejamento e Orçamento - por meio do Departamento de Saneamento da SEPURB. Como uma das medidas iniciais do programa foi firmado um convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental (FUPAM), envolvendo a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo na realização de estudos específicos e a organização de uma documentação técnica para dar suporte às atividades do Programa.

Os Documentos Técnicos de Apoio (DTA) podem ser obtidos diretamente da Internet (site: www.pncda.gov.br) e abordam temas sobre planejamento das ações de conservação, de tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e esgoto. Na primeira fase do programa foram produzidos um total de 16 documentos. Na segunda fase do Programa, ocorrida entre os anos de 1998 e 1999, foram realizadas a publicação de mais 4 DTAs, a publicação de todo o conjunto e a implantação de um sistema de acesso via Internet. A partir de 1999 foi implementado o primeiro Projeto Piloto do PNCDA na cidade de Juazeiro – BA, em uma iniciativa conjunta com o Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS, também da Secretaria de Política Urbana da Presidência da República.

O objetivo principal do PNCDA é promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, como suporte às ações de saúde pública, de saneamento ambiental e de eficiência dos serviços. Busca permanentemente definir e implementar um conjunto de ações

e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, que contribuam para a conservação de água nas áreas urbanas.

Programa de Uso Racional de Água (PURA - SABESP)

As estimativas realizadas pela Secretaria de Recursos Hídricos e Obras do Estado de São Paulo, dão conta de que a disponibilidade hídrica para a bacia do Alto Tietê é de 201 m³/ habitante/ ano (SABESP, 2006). Para suprimento adequado da demanda (usos diretos e indiretos), a disponibilidade per capita deveria ser de pelo menos 2000 m³/ habitante/ ano, segundo estudos realizados pela ONU. O investimento em infra-estrutura para ampliar a capacidade de captação, reserva e distribuição, bem como o desenvolvimento de programas de redução de perdas, de reúso da água e de uso racional da água, são as estratégias adotadas pela SABESP para garantir o abastecimento das áreas urbanas. A empresa adotou uma política de incentivo ao uso racional da água, buscando a conscientização da população, através de um programa denominado PURA (Programa de Uso Racional da água). Informações mais detalhadas sobre esse programa podem ser obtidas no site: www.sabesp.com.br. O Programa de Uso Racional da Água - PURA tem como principal objetivo garantir o fornecimento de água e a qualidade de vida da população. Seus principais objetivos específicos são:

- Mudar vícios de uso abusivo de água no cotidiano das pessoas.
- Implementar leis, regulamentos e normas para a utilização racional da água e uso dos equipamentos economizadores em prédios de órgãos públicos.
- Implementar normas sobre o desenvolvimento tecnológico e padronização de equipamentos economizadores de água.
- Mudar projetos de instalações prediais de água fria e quente, de parâmetros hidráulicos e de código de obra.
- Introduzir o programa no currículo das escolas das redes de ensino estadual e municipal de São Paulo, através de programas específicos, como o kit do projeto água, o teatro de fantoche Nave Mãe e outros programas regionalizados, como o Projeto Caracol.

Desde 1995, o PURA vem sendo implementado pela SABESP,

em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Numa primeira fase, foi montada a estrutura e depois, foram desenvolvidos os projetos-pilotos para criação da metodologia de ação, em Hospitais, Escolas Estaduais, Cozinhas Industriais, Prédios Comerciais e Condomínios, entre outros, com resultados surpreendentes. As soluções para a diminuição do consumo de água são compostas de diversas ações, como detecção e reparo de vazamentos, campanhas educativas, troca de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água e estudos para reaproveitamento de água.

Programa de Conservação de Água da Unicamp (Pró-Água UNICAMP)

O aumento da eficiência do uso da água nos edifícios localizados na Cidade Universitária Professor Zeferino Vaz, Campinas foi o objetivo que deu início ao Programa de Conservação de Água da UNICAMP, em 1999. Um projeto de melhorias da infra-estrutura de pesquisa foi financiado pela FAPESP, denominado PRÓ-ÁGUA/UNICAMP, tendo sido implementado a partir de então em duas fases:

- **Fase I:** Levantamento cadastral, Detecção e Conserto de Vazamentos, Implantação de telemedição, Instalação de componentes economizadores e avaliação do desempenho pelos usuários.
- **Fase II:** Análise de tecnologias economizadoras para usos específicos e implantação de sistema de gestão dos sistemas prediais no campus. Etapa 1: Análise de tecnologias economizadoras para usos. Etapa 2: Implantação de sistema de gestão dos sistemas prediais

Segundo as informações prestadas no site do programa, o resultado foi uma economia de aproximadamente 20% no consumo mensal da Unicamp. O consumo médio mensal do campus como um todo, no ano de 1998, foi de cerca de 98 mil metros cúbicos. Em 2001, este número foi reduzido para cerca de 80 mil metros cúbicos. No âmbito do PRÓ-ÁGUA foram investigados 11.483 pontos de consumo do campus, tendo sido observado que os aparelhos com mais vazamentos foram as bacias

sanitárias (cerca de 26% das bacias sanitárias com válvula e 29,3% das com caixa de descarga). Entre as medidas ainda em andamento do programa está a implementação de micro-medição do consumo de água dos edifícios com leitura remota, sendo que já estão instalados no campus mais de cem hidrômetros eletrônicos, os quais estão interligados a uma central de medição por meio de cabos telefônicos. Um diagnóstico dos pontos de consumo específico, para indicação de dispositivos sanitários economizadores, está sendo elaborado. Finalmente, o programa prevê a implementação de um sistema de gestão dos sistemas prediais.

Programa de Uso Racional de Água da UFBA (ÁGUAPURA UFBA)

O Programa ÁGUAPURA, implementado Pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tem como principais objetivos:

- (1) Reduzir o consumo de água na UFBA através da minimização das perdas e desperdícios;
- (2) Difundir em toda a comunidade UFBA conceitos do uso racional da água;
- (3) Implantação de Tecnologias Limpas.

A sua implementação teve como motivo as despesas com o consumo de água e energia elétrica da UFBA, que em 1998 atingiram o montante de R\$ 5.300.000,00, comprometendo o orçamento da instituição. Cerca de 69% desta despesa foi com o pagamento da conta de água nos diversos Órgãos e Unidades da Universidade, correspondendo a R\$ 3.526.153,00 para 465.850 m³. A sua implementação está sendo realizada de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 1 (Ação Emergencial): Minimização das Perdas e Desperdícios:

- Consolidar e ampliar o trabalho da equipe de campo.
- Redução do consumo de água e valores pagos a Embasa para 70% do valor 2003 até o final da etapa (dezembro/2005);
- Implantação e acompanhamento dos sistemas de informação “Águapura Vianet” , “De Olho na Água” e “Disque Água”;
- Consolidar e ampliar o trabalho da equipe de campo.

Etapa 2: Manutenção e Aprimoramento da Redução Obtida:

- Redução do consumo de água e valores pagos a Embasa para 50% do valor 2003 até o final da etapa (Dezembro/2006);
- Inserção do programa nas Unidades;
- Consolidação do sistema “Águapura Vianet” , “De Olho na Água” e “Disque Água”;
- Redução do tempo de atendimento a chamadas para conserto de perdas para metade do atingido na Etapa1;
- Captação de financiamentos para pesquisa / projetos cooperativos.

Etapa 3: Implantação de (TL & P+L)

- Consolidação e manutenção dos programas implantados nas etapas 1 e 2;
- Redução do consumo de água da UFBA para 25% do consumo de 2003 (até Dezembro/2007);
- Implantação de Tecnologias Limpas:
 - Tratamento de efluentes e reúso da água recuperada;
 - Implantação de redes duplas de água;
 - Aproveitamento da água de chuva;
 - Uso de água de poço.

Além da Universidade Federal da Bahia participam do Programa de Uso Racional da Água - ÁGUAPURA, o Governo do Estado da Bahia, através da Secretaria da Infra-Estrutura a Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. - EMBASA, a empresa responsável pelo fornecimento dos hidrômetros com telemetria e software para o sistema remoto de medição e a Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão - FAPEX que se responsabilizará pelo gerenciamento dos recursos financeiros do programa.

PROAGUA / Semi-árido

Esse programa, implementado pela Agência Nacional de Águas (ANA), incentiva a captação de água de chuva no semi-árido brasileiro, objetivando o desenvolvimento sustentável da região através da ampliação da oferta de água de qualidade e da promoção de seu uso racional. Maiores informações sobre o programa podem ser obtidas no

site da ANA (www.ana.gov.br). Seus objetivos específicos são:

- Promover o uso racional e sustentável dos recursos hídricos, com ênfase na gestão participativa;
- Prover com água a unidade doméstica, de forma confiável e sustentável, com prioridade para o abastecimento de áreas rurais com alta concentração de famílias de baixa renda

Ações do PROSAB no Sentido da Conservação de Água

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), implementado por FINEP, CNPq e Caixa Econômica Federal, constitui-se desde 1996 no principal programa brasileiro de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia que tem como objetivo o desenvolvimento de soluções para os problemas das populações menos favorecidas.

Originariamente estruturado em 4 redes temáticas de pesquisa, o programa desenvolveu ao longo dos últimos anos inúmeras tecnologias para potabilização de água (rede temática 1), tratamento de esgoto sanitário (rede temática 2), gerenciamento de resíduos sólidos (rede temática 3) e gerenciamento de lodos do saneamento (rede temática 4).

No editais 3 e 4, entre os anos de 2001 e 2005, o programa enfatizou no âmbito da rede temática 2 o desenvolvimento de tecnologia para tratamento de esgoto sanitário objetivando o reúso para fins produtivos tais como agricultura, aquíicultura e hidroponia.

O Edital 4, implementado a partir do ano de 2004, criou a rede temática 5, intitulada: “Desenvolvimento de alternativas de saneamento ambiental para separação, tratamento de dejetos humanos na origem e sua disposição final, com vistas à redução do consumo de água e das infra-estruturas convencionais de coleta, especialmente nas periferias urbanas”. A criação desta linha específica de pesquisa foi incentivada pelo CT-Hidro e pela Agência Nacional de Águas, levando o programa PROSAB a contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico sobre conservação de água no país.

Integraram a Rede de pesquisa cooperativa 5 do Edital 4 do PROSAB as seguintes instituições: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES),

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT-SP). A rede contou ainda com consultores da Universidade de São Paulo (USP), Prof. Sydney Seckler Ferreira Filho (USP), e da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Prof. Eduardo Pacheco Jordão (UFRJ).

Os projetos de pesquisa tiveram como foco principal o desenvolvimento de tecnologia para aproveitamento de fontes alternativas de água para uso não potável nas edificações, mais especificamente voltados para o uso em descargas sanitárias. Houve também o desenvolvimento de pesquisa sobre dispositivos sanitários economizadores. Tendo em vista as fontes alternativas de água, os processos de tratamento considerados nos projetos são descritos a seguir:

Águas azuis: Água de chuvas

- UFES: filtração granular e desinfecção UV
- UFSC: filtração granular e desinfecção UV

Águas cinzas: Águas servidas provenientes de pias, chuveiros, etc.

- UFES: UASB modificado, BFs, UV
- UFSC: decanto-digestor + filtração em leitos arenosos
- IPT: Desenvolvimento de dispositivo de coleta e avaliação do impacto ambiental devido a infiltração no solo

Águas amarelas: Urina

- UFES: precipitação química de estruvita e hidroxiapatita

Águas marrons ou negras: Águas fecais

- UFES: UASB modificado, BFs, UV
- UNICAMP: UASB compartimentado, alagados, filtração lenta e desinfecção
- UFSC: decanto-digestor + filtração em leitos arenosos
- IPT: Avaliação do impacto ambiental devido a infiltração no solo

O presente livro realiza uma abordagem ampla dos principais conceitos relacionados com o tema conservação de água em edificações, tomando como base as pesquisas realizadas pela rede temática 5 do edital 4 do PROSAB. No capítulo 1 é realizada uma introdução ao tema, abordando aspectos relacionados com o ciclo urbano da água, os usos da

água em ambiente urbano, a disponibilidade x demanda, as técnicas de racionalização do uso (curto, médio e longo prazo) e as ações do PROSAB rede 5. No capítulo 2, os principais conceitos relacionados com o uso racional da água em áreas urbanas são apresentados discutidos. O capítulo 3 realiza uma abordagem atualizada sobre as modernas técnicas de gerenciamento da água de chuva em áreas urbanas, contemplando técnicas para seu aproveitamento nas edificações. O capítulo 4 é dedicado ao reúso de águas cinzas, envolvendo a caracterização quali-quantitativa desta água residuária, os riscos envolvidos com o reúso residencial, as técnicas de tratamento e a viabilidade econômica desta prática. O gerenciamento de águas negras e águas amarelas é o objeto do capítulo 5, que analisa as técnicas de segregação, a origem e as características das águas negras e amarelas, e as tecnologias de segregação e tratamento. O capítulo 6 discute os aparelhos sanitários economizadores. Finalmente, no capítulo 7, é realizada uma análise crítica da viabilidade técnica e econômica de utilização das fontes alternativas pesquisadas pela Rede Temática 5 do Edital 4 do PROSAB nas edificações.

Referências Bibliográficas

BORN, R.H. (2000) – Seguridade hídrica, comitês de bacia hidrográfica e cidadania R. CEJ, Brasília, n. 12, p. 63-70, set./dez. 2000

DECA. Uso racional de água. Disponível em: <<http://www.deca.com.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2005.

SAUTCHUK, C., FARINA, H., HESPANHOL, I., OLIVEIRA, L. H., COSTI, L. O., ILHA, M.S.O., GONÇALVES, O.M., MAY, S., BONI, S.S.N., SCHMIDT, W. (2005) – Conservação e reúso da água em edificações – Manual da FIESP. São Paulo. 151 p.

GHISI, E. (2005) - Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, 2005.

GLEICK, P. The human right to water. *Water Policy*, v. 1, p. 487–503, 1999. Disponível em: <<http://www.pacinst.org/>>. Acesso em 10 de março de 2002.

HINRICHSSEN, D; ROBEY, B.; UPADHYAY, U. D. (2005) - *Solutions for a Water-Short World. Population Reports*, Series M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, 1997. Disponível em: <http://www.infoforhealth.org/pr/m14/m14chap2_2.shtml>; Acessado em: 19 nov. 2005.

IDEC (2002) - Consumo sustentável: Manual de educação. Brasília: Consumers International/MMA/IDEC. Disponível em: http://www.idec.org.br/esp_ma_manualconsumo.asp>. Acesso: 21 jan. 2005.

MARCKA, E. (2004) - DTA - Documento Técnico de Apoio nº A5 Planos Regionais e Locais de Combate ao Desperdício de Água – Diretrizes. Disponível em: www.pncda.gov.br. Acesso em julho de 2006.

MARGAT, J. (1998). Conséquences de l'interdépendance des eaux de surface et eaux souterraines sur l'évaluation des ressources en eau. UNESCO/PHI International conference: Water: a looming crisis? Paris, June 1998. 5 pp.

OLIVEIRA, L.H (1999) - Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo.

ONU (1992) - The United Nations Program of Action from Rio, United Nations, New York, USA, 1992

PMSS (2003) - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos - 2003. Programa de Modernização do Setor de Saneamento, Ministério das Cidades. Brasília.

Programa de Uso Racional da Água da UFBA (ÁGUAPURA UFBA) (Site: <http://teclim.ufba.br/aguapura>, acesso julho de 2006)

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA (Site: www.pncda.gov.br, visitado em julho de 2006)

PURA (1995) - Uso racional da água - USP, 1995.

REBOUÇAS, A.C. (2003) - Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. Bahia Análise & Dados, v. 13, n. Especial, p. 341-345.

RODRIGUES, L. C. S. (2005) - Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória (ES).

SABESP (2006) - Programa de economia de água de consumo doméstico / Uso Racional da Água (Site: www.sabesp.com.br, acesso em julho de 2006)

SILVA, G.S. (2004) - Programas permanentes de uso racional da água em Campi Universitários: Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Departamento da Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

TERPSTRA, P. M. J. (1999) - Sustainable water usage systems: model for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. Water Science Technology, v. 39 n. 5, p. 65-72. The Rainwater Technology Handbook, 2001 apud Tomaz, 2003.

TOMAZ, P (2000) - Conservação da água. Guarulhos: Ed. Parma.

TSUTIYA, M. (2005). Abastecimento de água. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I. e CORDEIRO, O. (2000) - Relatório Nacional sobre o Gerenciamento da Água no Brasil. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UNEP (2002) - United Nations Environment Programme: Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives. London: Earthscan, 2002.

UNICAMP (2006) - Programa de Conservação de Água da UNICAMP (PRÓ-ÁGUA)- <http://www.fec.unicamp.br/~milha/proagua.htm>

WUCB (1999) A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users, Ed. Water Use and Conservation Bureau, New Mexico Office of the State Engineer, July 1999, EUA, 108 pgs.)

Capítulo 2

Conservação de Água no Meio Urbano

Ricardo Franci Gonçalves, Wolney Castilho Alves e Luciano Zanella

Nesse capítulo são abordados alguns conceitos relacionados com a temática da conservação de água, com enfoque específico nas áreas urbanas. Assuntos relacionados com o ciclo natural da água na natureza, o ciclo urbano da água e a sustentabilidade dos sistemas urbanos de água são discutidos. O conceito de saneamento ecológico é apresentado. Os principais fundamentos dos programas de conservação de água nas escalas das bacias hidrográficas, dos sistemas urbanos e das edificações são discutidos. Ao final do capítulo se discute as medidas de conservação de água em edificações com base na redução do consumo e na utilização de fontes alternativas de água.

O Ciclo Urbano das Águas

O ciclo da água na natureza sofre cada vez mais a interferência das ações causadas pela presença humana na Terra. A crescente ocupação territorial e o vertiginoso crescimento populacional de centros urbanos interferem neste ciclo. Na terminologia consagrada na área dos recursos hídricos a utilização da água é abordada sobre a forma dos usos múltiplos que se faz desse recurso natural. A Figura 2.1 ilustra contextos de usos múltiplos das águas, onde fica patente a natureza indissociável entre os diversos usos.

Dentre os usos múltiplos das águas destacam-se:

Usos antrópicos:

- Uso humano para ingestão, higiene e usos domésticos em geral,
- Irrigação de culturas agrícolas,
- Uso industrial, em comércio, em serviços e outros setores,

- Usos urbanos em regas de jardins, lavagens de ruas, etc.
- Manejo urbano de águas pluviais,
- Produção de energia,
- Pesca,
- Aqüicultura e hidroponia,
- Diluição de esgotos,
- Controle de inundações,
- Regularização de escoamento,
- Navegação,
- Recreação,
- Paisagismo,
- Turismo,
- Contemplação.

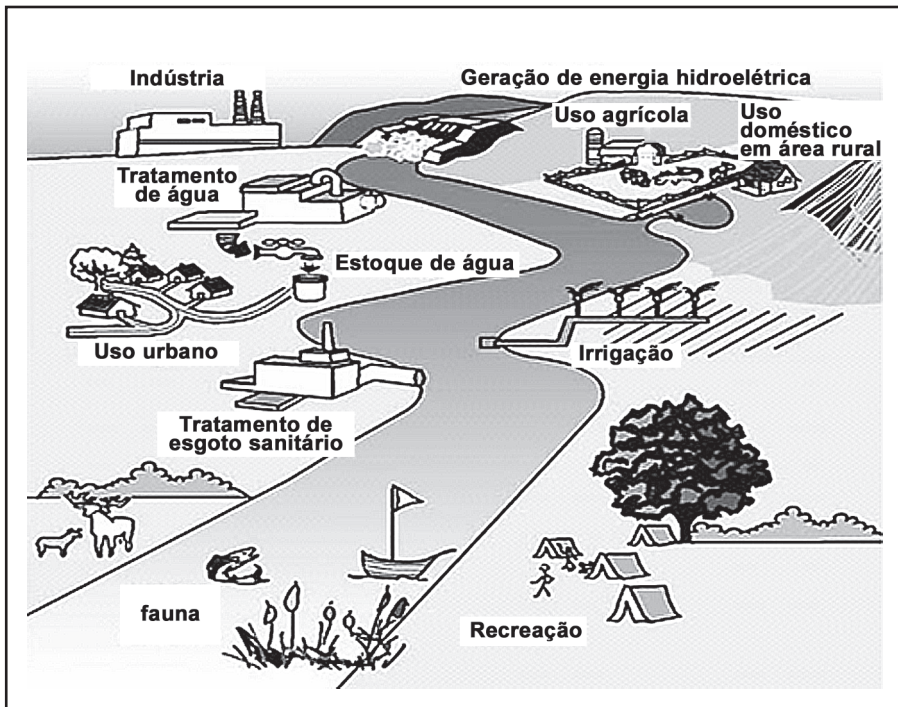


Figura 2.1 Usos múltiplos da água

Usos naturais:

- Manutenção de ecossistemas e biodiversidade,
- Regulação climática.

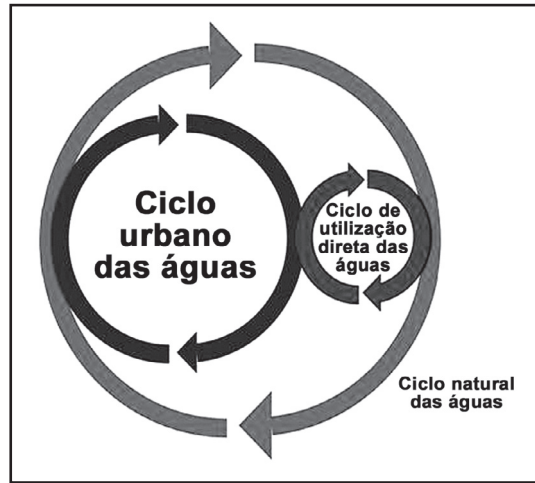


Figura 2.2 Esquema dos ciclos da água

A intervenção humana no ciclo natural da água deu origem a um ciclo menor, de natureza antrópica, que acontece dentro das cidades, denominado ciclo urbano das águas (SPEERS e MITCHELL, 2000). A Figura 2.2 esquematiza a correlação entre os ciclos. O ciclo menor, de utilização direta das águas, corresponde às formas individualizadas do uso da água, ou seja, que não dependem de estruturas físicas urbanas, como redes de distribuição ou coleta de água, por exemplo.

Na verdade, podem-se considerar sub-ciclos antrópicos diversos vinculados ao uso urbano da água. Esses sub-ciclos, de forma integrada, constituem o ciclo urbano global resultante da intervenção humana. Em geral, ele se associa às ações estruturais do homem visando o uso da água. Dentre esses sub-ciclos destacam-se o de abastecimento público de água, o de coleta, afastamento, tratamento e disposição de águas residuárias, o de geração de energia elétrica, o de manejo das águas pluviais, entre outros.

Um dos sub-ciclos urbanos mais importantes para a existência do meio urbano é formado pela captação da água nos mananciais, adução de água bruta, tratamento para potabilização, distribuição de água na área urbana, uso da água potável e geração de águas residuárias, coleta das águas residuárias, tratamento dessas águas em estações de

tratamento de esgotos e disposição das águas residuárias tratadas no corpo receptor, fechando o ciclo. Uma variante desse ciclo ocorre com as águas tratadas que são lançadas para infiltração no solo e se incorporam aos lençóis subterrâneos de água que, eventualmente, podem contribuir com o escoamento de águas superficiais. O ciclo pode ainda incorporar processos de reciclagem interna de água. Nesses processos a água potabilizada, uma vez utilizada, passa por tratamento (como água residuária) em seguida é reutilizada sem voltar ao manancial natural, configurando um ciclo de reuso que pode se repetir, teoricamente, um número infinito de vezes.

A Figura 2.3 ilustra a inserção do sub-ciclo urbano de abastecimento de água potável e coleta, tratamento e disposição final de esgotos no meio ambiente.

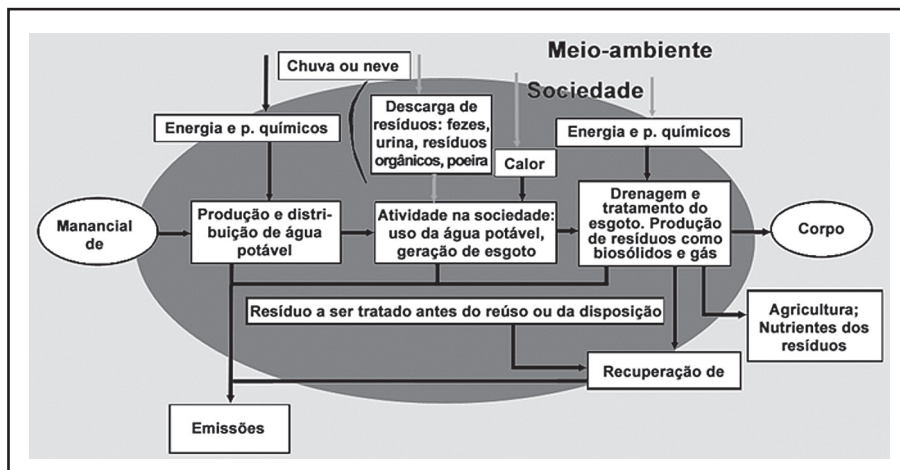


Figura 2.3 Representação do ciclo urbano da água como um sub-sistema do meio ambiente e da sociedade. Fonte: Daniel Hellström Mattias Hjerpe Denis Van Moeffaert Urban Water Chalmers University Of Technology, 2004

Com referência aos sistemas públicos urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, há que observar que embora a experiência tenha comprovado que esses sistemas são capazes de cumprir, mesmo que de forma não universalizada, as funções relacionadas com a oferta e a demanda de água, não faltam críticas quanto à sua capacidade em manter a sustentabilidade ecológica do planeta (e.g. HARREMÕES, 1997; OTTERPOHL *et al*, 1997; BUTLER e PARKINSON, 1997).

Deve-se também considerar o manejo de águas pluviais nas áreas urbanas que, segundo o novo paradigma instaurado internacionalmente, visa adequar os fenômenos de precipitação e escoamento ao novo meio físico criado pela ocupação urbana, incluindo entre seus objetivos a prevenção ou minimização de danos causados por inundações, bem como a manutenção de condições adequadas aos ecossistemas aquáticos e outros a eles associados.

Sustentabilidade e o Ciclo Urbano da Água

O modelo de serviços públicos associados ao abastecimento e manejo de águas residuárias e pluviais, originado basicamente a partir da primeira revolução industrial, tem sido desenvolvido com base no atendimento das necessidades humanas e, de certa maneira, ignorando que o ciclo urbano é apenas um sub-ciclo do ciclo da água na natureza (COOMBES e KUCZERA, 2000).

Tendo em conta o ciclo urbano da água e suas relações com os recursos hídricos em geral, cabe destacar que a gestão desses recursos no Brasil conta com moderna legislação que incorpora a observância aos princípios de conservação de água. A lei 9433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, orienta o estabelecimento de sistemas de gestão integrada, hoje em fases diferenciadas de implantação e consolidação por todo o país. Embora todo o sistema de gestão dos recursos hídricos se baseie na visão integrada de usos múltiplos por bacia hidrográfica, resguardando a quantidade e qualidade do recurso, a justiça social, a preservação ambiental e outros princípios consagrados. Observam-se nos sistemas urbanos de utilização das águas algumas características cuja natureza é subjacente à própria lógica da formação dos centros urbanos modernos nos últimos dois séculos, lógica que, em grandes linhas, abriga dinâmicas conflitantes com a gestão de recursos hídricos tal como prevista na lei. A apreciação mais simplificada e direta sobre essa lógica, mostra que a ocupação urbana se apresentou como o meio mais adequado ao atendimento das necessidades humanas sem correspondência, no entanto, ao atendimento de preceitos de sustentabilidade, tema emergente e obrigatório na atualidade.

Sob essa ótica de atendimento às necessidades humanas criaram-se, entre outros, os sistemas públicos de abastecimento de água potável, o de

esgotamento sanitário e o de manejo urbano das águas pluviais. Esses sistemas, na sua concepção clássica, obedecem primordialmente a critérios de manutenção e melhoria da saúde pública, do conforto, da economicidade e da provisão de bases para o desenvolvimento econômico. Entretanto, a insuficiência desses critérios, ou de outra forma, as limitações de sua natureza intrínseca, induziram ao estabelecimento de estruturas físicas e práticas de funcionamento de sistemas públicos urbanos que não respeitam, ou respeitam apenas parcialmente, os requisitos necessários à sustentação ambiental. A fragilidade estrutural dessa concepção, historicamente desenvolvida, se apresenta hoje como obstáculo ao próprio desenvolvimento do meio urbano, através dos problemas de escassez de água, degradação de mananciais, disseminação de doenças, prejuízos crescentes causados por inundações, altos custos para o desenvolvimento econômico, entre uma série de problemas que fazem parte do cotidiano de um grande número de cidades brasileiras e de outros países.

Impactos do ciclo urbano da água

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, o ciclo urbano da água mais comumente difundido hoje em dia é imperfeito. Seus principais impactos envolvem:

- a escassez ou a extinção local do recurso, devido à captação de grandes quantidades de água bruta;
- a degradação da qualidade do manancial em função do lançamento de esgoto sanitário e de água de drenagem pluvial nos corpos receptores;
- a utilização de recursos naturais para a produção de energia e insumos como produtos químicos;
- a emissão atmosférica de compostos gerados direta ou indiretamente nos sistemas de urbanos de água;
- o desperdício de importantes quantidades de nutrientes necessários à produção de alimentos, etc.

A Tabela 2.1 apresenta um conjunto de impactos sobre os corpos d'água decorrentes de atividades humanas. Esses impactos afetam de maneira direta o ciclo natural das águas colocando tanto o ambiente quanto as próprias atividades humanas em risco.

Tabela 2.1 Impactos decorrentes das atividades humanas sobre os corpos d'água

| Atividade humana | Impacto potencial | Função ameaçada |
|---|---|---|
| Crescimento populacional e do consumo | Aumenta a captação de água e a superfície de áreas cultiváveis através da drenagem de áreas alagadas; aumenta a demanda para todas as outras atividades, com conseqüentes riscos. | Virtualmente todas as funções dos ecossistemas, inclusive habitat, produção e regulação. |
| Desenvolvimento de infra-estruturas (barragens, diques, represas, derivações, etc.) | A perda de integridade altera o regime de vazões (quantidade e tempo), a temperatura da água, nutrientes e transporte de sedimentos, causando assoreamento dos estuários e bloqueando a migração de peixes. | Quantidade e qualidade da água, habitats, fertilidade do solo, pesca e economia dos estuários. |
| Conversão de terras | Elimina elementos chave dos ambientes aquáticos; perda de funções; integridade, biodiversidade e habitat; altera o escoamento; inibe a recarga natural de aquíferos; assoreamento de corpos d'água. | Controle natural de inundações; abastecimento de água; quantidade e qualidade de água. |
| Exploração excessiva | Escasseia os recursos vivos, as funções dos ecossistemas, e a biodiversidade (esgotamento da água subterrânea, colapso da ictofauna). | Produção de alimentos, abastecimento de água, quantidade e qualidade de água. |
| Introdução espécies exóticas | Competição entre espécies; alteração da produção e da ciclagem de nutrientes; perda de diversidade entre as espécies naturais. | Produção de alimentos; habitat da fauna, recreação. |
| Descarte de poluentes no solo, no ar e na água | Poluição dos corpos d'água altera a química e a ecologia dos rios, lagos e alagados. O efeito estufa modifica dramaticamente o comportamento das chuvas e do escoamento. | Abastecimento de água, qualidade de água; produção de alimentos; modificações climáticas podem impactar a produção de energia hidroelétrica, capacidade de diluição, transporte e controle de inundações. |

Fonte: UNESCO (2003) - Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report (WWDR).

Princípios alternativos para o uso urbano das águas

Os requisitos de sustentabilidade apontam para a necessidade de uma série de modificações referentes à relação do homem com os recursos

hídricos, em especial nos centros urbanos. O aumento da eficiência do uso da água nas áreas urbanas é um dos principais desafios que se colocam para a engenharia sanitária e, porque não, para os setores relacionados com o urbanismo e o meio ambiente (MICHEL ROUSSET, 2005)

A busca pela sustentabilidade no ciclo urbano da água compreende o uso das mais variadas práticas possíveis de conservação e novas medidas orientadas por critérios que confirmam sustentação ambiental. Um esforço recente vem sendo empreendido no sentido de se adaptar os conceitos de produção mais limpa, originados no setor industrial, ao ciclo urbano da água. Esses princípios quando aplicados à utilização de recursos hídricos balizam algumas das formas possíveis de intervenção positiva no ciclo urbano da água, que podem ser resumidas da seguinte forma:

Minimização

- Utilizar a água de melhor qualidade para os usos que a exijam.
- Buscar fontes alternativas de água, tais como águas residuárias para reúso ou aproveitamento de águas pluviais.
- Utilizar menor quantidade de água para executar as mesmas atividades, quer seja por mudança de processos ou formas de uso como pelo emprego de aparelhos economizadores ou tecnologias apropriadas.

Separação

- Não misturar águas que exijam graus diferenciados de tratamento como águas contendo gorduras, águas contendo material fecal e águas contendo nutrientes. Sob esse princípio vislumbram-se possibilidades diversas de simplificação do tratamento, diminuição de custos de tratamento, reaproveitamento facilitado de substâncias, realocação de recursos para investimentos, etc.
- Não misturar efluentes de origem doméstica com efluentes de origem industrial, medida que se apóia no fato de que as características do esgoto doméstico variam em faixas bem mais delimitadas que aquelas observadas para os esgotos industriais.

Reutilização

- Exploração das diversas formas de reúso de esgotos, desde as formas mais simples, como utilização direta da água residuária gerada até o reúso após tratamento e pós-tratamento de esgoto. Um simples exemplo ilustra o princípio: a água utilizada na máquina de lavar roupas pode

ser utilizada na lavagem de pátios e veículos e após algum grau de tratamento servir à descarga de bacias sanitárias. Ou seja, a mesma quantidade de água é usada diversas vezes.

- Tirar vantagem das possibilidades de utilização dos efluentes em usos que requeiram características nele presentes. Por exemplo: utilização de esgotos ricos em nutrientes para irrigação controlada.
- Hierarquizar ciclos de utilização da água, separando-os segundo a qualidade e quantidade exigidas em cada um deles. Dessa forma é possível estabelecer procedimentos para tratar e dispor corretamente no próximo ciclo, apenas a água que não puder ser utilizada em um ciclo de grau superior de exigência.

O saneamento ecológico (ECOSAN)

Segundo Otterpohl et al (1997), os sistemas tradicionais de saneamento produzem um fluxo linear de materiais, causando acumulação e mistura do ciclo da água com o ciclo de alimentos (Figura 2.4). Esse sistema adota a premissa de que os nutrientes eliminados nas excretas humanas não têm valor significativo, e devem ser descartados (ESREY *et al*, 1998).

Outra desvantagem desse sistema são os grandes volumes de água utilizados para o transporte dos resíduos nas redes coletoras. O sistema mistura quantidades comparativamente pequenas de substâncias potencialmente prejudiciais (0,08% a 0,1% de sólidos no esgoto doméstico, por exemplo), com grandes quantidades de água, aumentando a magnitude do problema. Se por um lado os problemas urgentes relacionados à higiene são solucionados, por outro, os impactos ambientais nos recursos hídricos utilizados para o suprimento de água potável são enormes (OTTERPOHL *et al*, 2002).

O saneamento ecológico é um caminho alternativo para evitar as desvantagens dos sistemas convencionais de saneamento que integram a concepção atual do ciclo urbano da água. O paradigma do Eco Saneamento (ECOSAN) é baseado nos caminhos naturais dos ecossistemas e no ciclo fechado de materiais (Figura 2.5). As excretas humanas (fezes e urina) bem como as demais águas residuárias domésticas são reconhecidas como um recurso (não como um resíduo)

que pode ser disponível para o reúso (LANGERGRABER e MUELLEGGER, 2005). O reúso de águas residuárias bem como a racionalização do uso de água potável é parte integrante e importante desse ciclo, pois promove a preservação de águas de melhor qualidade para fins potáveis e reduz a poluição no meio ambiente.

O saneamento ecológico prevê a separação das diferentes formas de águas residuárias nas suas origens, com o objetivo de valorizá-las. A segregação de águas residuárias na escala residencial permite soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (OTTERPOHL, 2001). Embora esta prática experimente aceitação crescente em vários países, não há soluções de consenso consolidadas e um amplo espaço para o desenvolvimento de tecnologia de separação e tratamento de fezes e urina persiste atualmente.

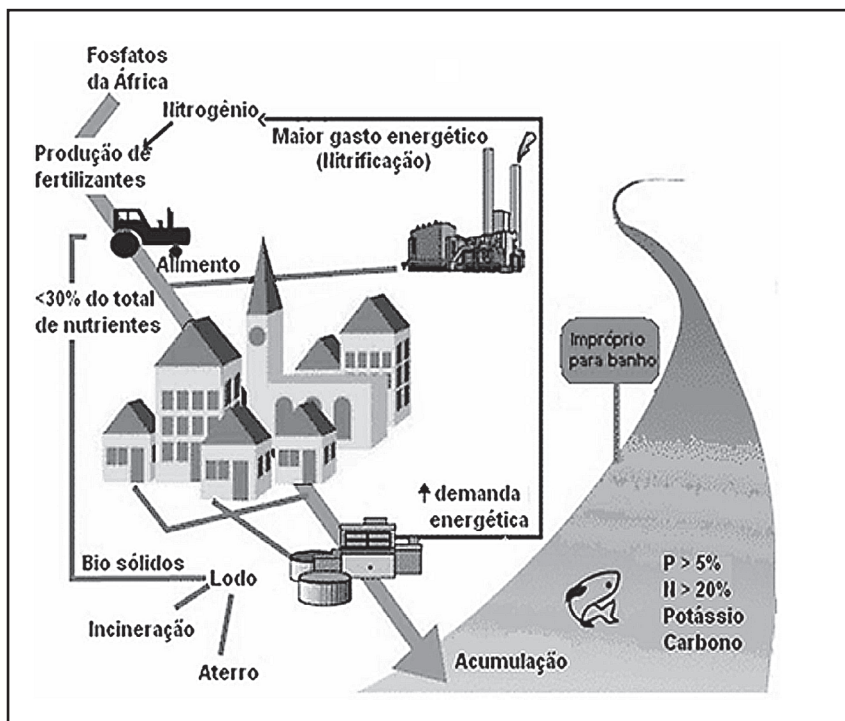


Figura 2.4 Fluxo linear de massa em um sistema sanitário tradicional em países industrializados. Fonte: Adaptado de Otterpohl et al, 1997

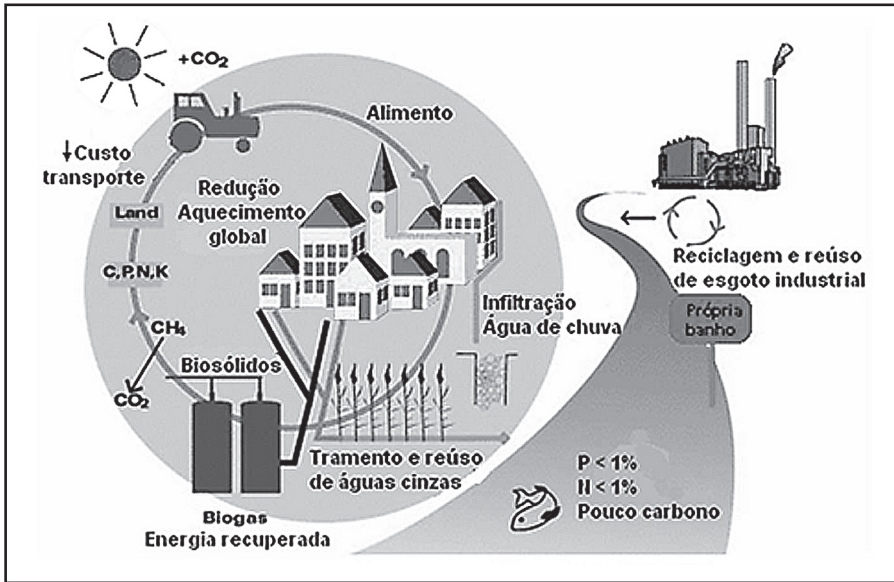


Figura 2.5 Fluxo circular de massa em um possível sistema sanitário sustentável.

Fonte: Adaptado de Otterpohl et al, 1997

A Figura 2.6 mostra um modelo de gerenciamento das águas em escala residencial, com linhas de suprimento e de produção de águas residuárias diferenciadas conceitualmente umas das outras (GONÇALVES, 2004).

O modelo prevê linhas de suprimento de água diferentes para fins potáveis e para fins não potáveis. O suprimento de água potável (convencional) é assegurado pela empresa concessionária do serviço de abastecimento público de água (nº 1 no desenho). Como fontes alternativas de água para fins não potáveis prevê-se a utilização de água de chuva (nº 2) e o reúso de águas cinzas, de maneira consorciada ou não. A água de chuva é coletada no telhado da edificação e encaminhada para uma cisterna, para posterior utilização. Finalmente, o modelo prevê o aproveitamento de águas amarelas, das águas negras tratadas e de lodo na agricultura (OTTERPOHL, 2001). Uma descrição das linhas de produção de águas residuárias nas residências é apresentada a seguir:

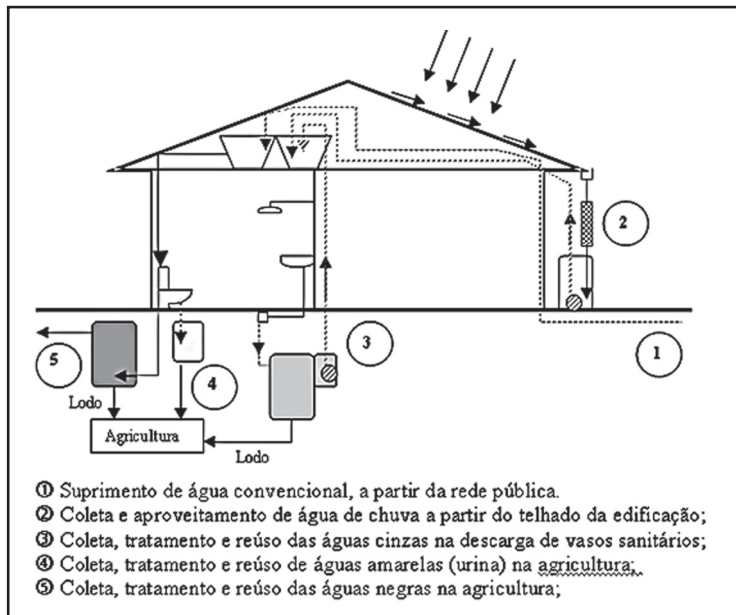


Figura 2.6 Esquema de um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação

- **Águas negras:** água residuária proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Águas negras segregadas das demais resultam em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos. Os lodos podem ser aproveitados na agricultura e o biogás valorizado do ponto de vista energético.
- **Águas cinzas:** águas servidas provenientes dos diversos pontos de consumo de água na edificação (lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque), excetuando-se água residuária proveniente dos vasos sanitários (JEFFERSON *et al*, 1999; ERIKSSON *et al*, 2002; OTTOSON & STENSTRÖM, 2003). Alguns autores como Nolde (1999) e Christova-Boal *et al* (1996) não consideram como água cinza, mas sim como água negra, a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes.

- **Águas amarelas:** água residuária proveniente de dispositivos que separam a urina das fezes. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura.

A matéria fecal também pode ser tratada por compostagem em vasos sanitários especiais que dispensam o uso de água para a descarga. Neles existe um compartimento de compostagem no fundo com drenagem de urina e uma chaminé para suprir o ar necessário ao processo para evitar mau cheiro e proliferação de insetos. O sistema funciona muito bem nas regiões rurais e produz um ótimo adubo, mesmo em clima frio.

Para Esrey (2001), o saneamento ecológico é uma nova concepção de saneamento que se enquadra dentro do conceito de sustentabilidade, sendo a única solução com futuro nas regiões metropolitanas do planeta. As experiências ainda são incipientes, havendo projetos pilotos em andamento em países tais como Escandinávia, Holanda, Suécia e na Alemanha (SKJELHAUGEN, 1999; OTTERPOHL, 2000). Os resultados obtidos até o momento indicam que, além dos critérios econômicos e ambientais, os aspectos de natureza sociológica e cultural são determinantes do sucesso de experiências dessa natureza (OTTERPOHL, 2000).

Conservação de Água nas Áreas Urbanas

Considerações relativas aos conceitos e terminologias aplicáveis ao uso da água se fazem necessárias, tendo em vista a construção de um cenário de entendimento uniforme.

Conceitos e terminologias relativas à conservação de águas

A introdução da temática conservacionista da água no meio urbano no Brasil deu-se no início da década de 80. Nessa ocasião, alguns aspectos terminológicos e conceituais mereceram destaque para a abordagem inequívoca do tema. Inicialmente, os técnicos do setor do saneamento, bem como o público em geral, tendiam para o emprego da expressão

“economia de água”, embora o termo “conservação” fosse conhecido, mas, principalmente, por sua aplicação aos recursos energéticos.

Em revisão realizada em meados da década de 80, Baumann *et al* (1984) e Califórnia (1984) *apud* Montenegro e Silva (1987), mostram que os termos “conservação” e “economia”, embora associados, dizem respeito a conceitos distintos. Economia de água se refere à contenção do uso consumptivo enquanto a conservação de água diz respeito aos usos consumptivos e não consumptivos, embora ambos os termos se apliquem à contenção do uso pela redução da demanda. Segundo os autores “diz-se que o uso é ‘consumptivo’ quando a água após a utilização não é devolvida à bacia direta ou indiretamente (por infiltração), não possibilitando sua eventual reutilização, a exemplo da parcela da água usada em irrigação que se evapora ou dos esgotos lançados no mar.” Dessa forma a economia de água pressupõe ações que preservem uma dada quantidade de água na bacia, aplicando-se, portanto, à contenção de usos consumptivos. Já a conservação de água aborda ações sobre as duas parcelas (consumptivas e não consumptiva) e são dirigidas ao campo mais amplo das possibilidades alternativas de aproveitamento da água na bacia, incluindo o reúso, aproveitamento de fontes alternativas, etc. Subjacentes a esses conceitos e terminologias, residem questões relativas à gestão dos recursos hídricos segundo diferentes níveis de abrangência territorial ou institucional. Essas questões são importantes, por exemplo, na avaliação dos ganhos obtidos com os programas de conservação, segundo a ótica de cada setor ou área de interesse. O cômputo de ganhos é diferenciado segundo se considerem as óticas dos usuários dos serviços urbanos de água e esgoto, dos prestadores desses serviços ou do comitê de bacia hidrográfica em que o meio urbano se situa.

De uma forma mais direta e simples a conservação de água é definida como “qualquer redução de uso ou de perda de água que implique benefícios líquidos positivos” (BAUMANN *et al*, 1984 *apud* MONTENEGRO e SILVA, 1987). Segundo os mesmos autores, a referência a benefícios positivos contempla a preocupação com duas situações. O benefício líquido é positivo quando a agregação de todos os ganhos de uma ação ou de um programa de redução do uso ou da perda excede a agregação de todos os efeitos adversos (custos e benefícios negativos) ocasionados por ela. Além disso,

considera-se que a conservação de água não pode ser enfocada de forma unilateral, a despeito dos demais recursos. Dessa forma, se a conservação de um recurso implica dilapidação de outro, não existe uma ação verdadeiramente conservacionista.

A *Environmental Protection Agency* (USEPA) define a conservação de água de maneira simples e concisa, porém abrangente na sua aplicação. Segundo essa agência, conservação de água é entendida como qualquer redução benéfica nas perdas de água, desperdício ou uso (USEPA, 1998). Observa-se que os termos “perda”, “desperdício” e “uso” podem se constituir em categorias de enquadramento da forma sob a qual a água é empregada em situações reais, servindo, assim, à classificação das medidas de conservação a serem adotadas.

É importante considerar, ainda, os conceitos de gestão de oferta e de demanda. Tais conceitos tiveram papel central nas políticas de serviços públicos de saneamento e corresponderam a significativas mudanças ocorridas nas décadas de 70 e 80.

Para o prestador do serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a gestão pela oferta corresponde ao retorno financeiro adequado quando do incremento de oferta dos serviços prestados. Uma situação típica exemplifica bem esse tipo de gestão. Dada uma certa área de expansão urbana, em fase de implantação, que deve ser abastecida com água, consideram-se duas formas simplificadas de abordagem que a prestadora do serviço pode adotar para abastecer essa população adicional. Uma delas, a mais tradicional, é aumentar sua capacidade de produção de água, o que pode ser feito mediante o aumento da quantidade de água bruta captada, bombeada, tratada, reservada e distribuída. Em geral esse aumento de capacidade corresponde à implantação de novas estruturas ou da ampliação das existentes, situações nas quais a prestadora deverá empregar um montante de investimentos financeiros que será amortizado com participação dos recursos das contas de água cobradas aos usuários.

A gestão da oferta foi praticada durante muito tempo pelos serviços públicos de abastecimento de água e correspondeu ao crescimento

generalizado das companhias ou serviços públicos de saneamento e, eventualmente, de seus ganhos, dependendo da política adotada. Um fator ambiental deu suporte a essa prática durante um longo período: a disponibilidade de água, próxima e em quantidades suficientes para abastecer os centros urbanos. Entretanto, em certo momento as situações da disponibilidade hídrica começaram a se alterar. Mananciais tornaram-se impróprios, dada à poluição e outros mais adequados situavam-se a distâncias muito grandes. Dessa forma, o investimento necessário ao crescimento da oferta tornou-se muito maior, ou seja, ficou mais caro ofertar água adicional. Nessas circunstâncias, ficaram aparentes as possibilidades e vantagens de exercitar a gestão da demanda. Essa ótica explora as possibilidades de ampliação do uso da quantidade de água já existente. Referem-se às tecnologias adequadas à redução do consumo, das perdas e ao uso mais eficiente das águas, às mudanças de comportamento dos usuários e do prestador de serviço, bem como à aplicação de tarifas que provocam a contenção do consumo.

O Documento Técnico de Apoio (DTA) A1 do Programa Nacional do Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) considera que a gestão da demanda residencial e não residencial de água é “toda e qualquer medida voltada a reduzir o consumo final dos usuários do sistema, sem prejuízo dos atributos de higiene e conforto dos sistemas originais.” (SILVA *et al.* 1999). As mudanças de hábitos são esperadas a partir das ações de educação ambiental e por meio dos estímulos forçados pela política tarifária. No que se refere à adoção de aparelhos poupadores, o mesmo DTA considera duas situações: a adoção auto-estimulada e a externamente incentivada, por meio de subsídios à substituição.

As expressões gestão da oferta e da demanda também podem ser utilizadas por outros agentes. No caso do usuário doméstico, por exemplo, os termos correspondem às noções de satisfação de suas necessidades, pela maior oferta de água ou o uso mais eficiente controlando a demanda. Entretanto, cabe uma reflexão sobre o significado dessas expressões, à luz dos interesses dos agentes envolvidos.

Os conceitos relativos à gestão da oferta e da demanda, bem como outros conceitos relativos às ações no campo da conservação de água, especialmente aqueles que implicam no cômputo de benefícios líquidos,

variam significativamente segundo a abordagem ou, de maneira mais direta, ótica de interesses dos diversos grupos ou setores. A moderna legislação brasileira de recursos hídricos envolve todos os agentes sociais em um sistema participativo e integrado de gestão, onde os diversos interesses podem ser confrontados em um mesmo nível de igualdade. Sob a égide da lei 9433/97, encontra-se em curso de implantação todo o arcabouço institucional tendo como base as bacias hidrográficas. Observa-se, em decorrência da aplicação da lei, que o campo institucional se amplia, tornando necessário o aprimoramento do entendimento dos conceitos até aqui apresentados sob óticas particulares que levem em conta os interesses dos agentes. Tem-se pelo menos quatro grupos de atores institucionais envolvidos: os usuários, os prestadores de serviços, a agência reguladora dos serviços e o órgão responsável pela gestão de recursos hídricos em cada bacia hidrográfica. Embora a legislação brasileira no nível federal não tenha ainda sido definida no que se refere à forma de regulação dos serviços de saneamento, alguns estados brasileiros já contam com leis prevendo a regulação desse serviço.

Para permitir uma breve análise sobre as possíveis diferenças na tomada de posição dos agentes envolvidos, serão consideradas ações conservacionistas hipotéticas de iniciativa de um dos agentes e verificados os impactos causados sobre os demais agentes. A tabela 2.2 ilustra as ações e os impactos em cada grupo de agentes.

A conceituação sobre gestão de demanda e de oferta, anteriormente apresentada, levou Gonçalves (2003) à formulação de uma terminologia associada a esses conceitos e que se mostra útil na denominação de ações conservacionistas em geral, segundo visem somente à gestão da demanda ou a gestão da demanda e da oferta. Assim, segundo o autor, define-se:

- **Uso racional de água** – objetiva o controle da demanda, através da redução do consumo, preservando a quantidade e a qualidade da água para as diferentes atividades consumidoras.
- **Conservação de água** – prevê o controle da demanda juntamente com a ampliação da oferta, através do uso de fontes alternativas de água, tais como o aproveitamento da água de chuva e o reúso de águas cinzas.

Tabela 2.2 Análise dos impactos de ações conservacionistas segundo a abordagem de interesse dos agentes institucionais

| Agentes institucionais | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Usuários residenciais | Prestador do serviço de saneamento | Agência reguladora do saneamento | Órgão gestor dos recursos hídricos na bacia hidrográfica |
| Ação conservacionista | | | | |
| Gestão da demanda mediante elevação tarifária por parte do prestador do serviço | Impacto negativo sobre as finanças e o conforto, embora esse quadro possa ser revertido se a elevação tarifária levar ao combate do desperdício e da perda na edificação, respeitados níveis de endividamento familiar adequados. | Impacto positivo caso a medida tenha sido tomada sobre análise consistente, incluindo a capacidade de pagamento dos usuários e as reais possibilidades de contenção do consumo. Entretanto, exemplos reais de elevação e progressividade tarifária resultaram em queda acentuada de receita geral do prestador. | Impacto positivo se a medida tiver sido tomada no bojo de um conjunto que tornem a ação publicamente defensável. Por exemplo, se a elevação se der a despeito da inatividade com relação às perdas no sistema público, a elevação tarifária poderá gerar conflito insolúvel. | O impacto pode ser positivo caso ocorra redução do uso do recurso sob forma harmônica ao Plano de Bacia. A redução de consumo de água pode gerar impacto negativo caso a medida seja conflitante com outras ações previstas no Plano de Bacia. A redução, não prevista, do pagamento pelo uso da água é um exemplo de impacto negativo. |
| Contenção do consumo mediante combate às perdas, desperdícios e adoção de práticas conservacionistas, sob iniciativa dos usuários domésticos. | Impacto potencialmente positivo caso tenha sido adequadamente planejado. | O impacto poderá ser negativo sobre a situação financeira do prestador se a medida for adotada por um grande número de usuários e de forma independente. Entretanto a ação pode ter impacto se liberar volumes para o atendimento de demandas reprimidas por ex. | A instabilização financeira do prestador do serviço pode significar um impacto negativo para o ente regulador. O fenômeno pode implicar em deterioração da qualidade da prestação do serviço. No entanto, o sucesso da iniciativa pode abrir espaço para expansão da cobertura. | Aplicam-se as mesmas considerações que no caso anterior. |

Tabela 2.2 Análise dos impactos de ações conservacionistas segundo a abordagem de interesse dos agentes institucionais (cont.)

| Agentes institucionais | | | | |
|--|--|---|--|---|
| Ação conservacionista | Usuários residenciais | Prestador do serviço de saneamento | Agência reguladora do saneamento | Órgão gestor dos recursos hídricos na bacia hidrográfica |
| <p>Reúso de águas cinzas tratadas para a descarga de bacias sanitárias e lavagem de pisos e veículos por iniciativa dos usuários com suporte do fundo financeiro do órgão gestor dos recursos hídricos.</p> | <p>Impacto positivo que será tanto mais significativo quanto maior for a participação dos usos no consumo global de água na residência.</p> | <p>Impacto negativo sobre a receita de água e problemas técnicos com relação à receita do esgoto. Impacto positivo pela liberação de volumes a serem entregues a outros usuários sem a necessidade de investimentos onerosos. Embora seja improvável, uma redução de grande magnitude pode levar à necessidade de recursos de natureza compensatória.</p> | <p>Impacto negativo em função do eventual abalo financeiro do prestador e positivo no caso de redirecionamento dos volumes liberados. Há possibilidades de impactos positivos relativos à mobilização dos usuários em torno de práticas conservacionistas que elevem o nível de eficiência no uso, bem como do prestador do serviço.</p> | <p>Da mesma forma que nos casos anteriores, a medida deve ser harmônica ao Plano de Bacia resultando em ganho global para o sistema de recursos hídricos. Ações dessa natureza devem contar com recursos financeiros originados do fundo de investimento da bacia formado pela arrecadação pela captação e lançamento de efluentes.</p> |
| <p>Redução das perdas de água por vazamento nas redes públicas pelo emprego de válvulas redutoras/ reguladoras de pressão sob iniciativa do prestador do serviço e do fundo de recursos financeiros do órgão gestor da bacia</p> | <p>Impacto potencialmente positivo se a elevação da eficiência do sistema público levar à melhoria do serviço prestado ao usuário residencial. A redução de tarifas seria uma consequência lógica.</p> | <p>Medida que leva a impactos reconhecidamente positivos quando implantada sob os devidos requisitos técnicos. Leva à diminuição do volume perdido que pode ser entregue em locais com demanda reprimida. O investimento financeiro realizado tem rápido retorno.</p> | <p>Impacto positivo pela elevação do nível de eficiência do prestador e possibilidades de melhor gerenciamento da operação do sistema público associado ao emprego de válvulas. Possibilidade de redução de tarifas a ser negociada com o prestador e usuários.</p> | <p>Impacto positivo, pois o recurso aplicado pelo fundo financeiro da bacia terá retorno rápido em termos de liberação de volumes para outros usos. No entanto, se a liberação de volumes no sistema público não tiver a contrapartida do pagamento pelo uso de outro setor, poderá ocorrer descapitalização do fundo.</p> |

A conservação de água pode ser definida como um conjunto de práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, incidindo de maneira sistêmica sobre a demanda e a oferta de água. Para Hespanhol e Gonçalves (2005), as iniciativas de racionalização do uso e de reúso de água se constituem em elementos fundamentais para a ampliação da eficiência do uso da água, resultando em:

- Aumento da disponibilidade para os demais usuários,
- Flexibilização dos suprimentos existentes para outros fins,
- Atendimento ao crescimento populacional,
- Suporte à implantação de novas indústrias,
- Preservação e conservação do meio ambiente.

Diferentes classificações para as ações de conservação de água

O Documento Técnico de Apoio A5 (MARCKA, 2004) do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) classifica as medidas de conservação e uso racional da água conforme mostra a tabela 2.3.

Além da classificação apresentada na tabela 2.3, pode-se acrescentar outra categoria para abordar a natureza de ações conservacionistas. Nessa abordagem, considera-se que o consumo de água é realizado integrando dois campos de natureza distinta. O primeiro campo se refere à tecnologia do aparelho sanitário, ou seja, as características intrínsecas de construção e funcionamento que determinam, por exemplo, a vazão ou volume de água associados ao funcionamento de um aparelho. É o caso típico da bacia sanitária. A operação da bacia, ou seja, o acionamento de sua descarga independe de eventuais variações desejadas pelo usuário. O volume consumido é constante uma vez acionado o mecanismo de descarga. No segundo campo, a natureza comportamental é determinante, ou seja, as formas de uso estão associadas ao meio cultural consagrando hábitos típicos. O exemplo mais importante para a realidade brasileira é dado pelo banho em chuveiros elétricos. O volume de água consumida em chuveiros elétricos depende, essencialmente, do tempo de banho praticado pelo usuário. Em item posterior deste capítulo essa questão é retomada.

Oliveira e Gonçalves (1999), também abordando a classificação das ações conservacionistas, apresentam a seguinte proposição:

Tabela 2.3 Classificação das medidas de conservação de água

| Grupo | Tipo | Descrição |
|--|--------------------------|---|
| Função | Estrutural | Modificam as características tecnológicas dos sistemas mediante obras e/ou equipamentos com horizonte de eficácia correspondente à vida útil remanescente |
| | Não estrutural | Atuam sobre as condições de trabalho do sistema, sem alterar significativamente suas especificações anteriores e são, de maneira geral, reversíveis ou temporárias. |
| Caráter | Ativa | Medidas passíveis de controle unilateral por parte dos agentes que a promovem, sejam elas estruturais ou não. Por exemplo, uma ação de manejo operacional no sistema adutor. |
| | Passiva | Sua observância ou não independe do agente que a promove. É o caso das campanhas de educação, das estruturas tarifárias crescentes e outras cujo sucesso vincula-se a uma expectativa de resposta da parte de outros agentes - os usuários - que não os promotores. |
| Grupo de Interesse | Gestão da oferta | Refere-se à disponibilidade de água bruta e, conforme o caso, em que mananciais, ou à oferta de água tratada no sistema de abastecimento. |
| | Gestão da demanda | Refere-se à demanda residencial estratificada em faixas ou à demanda não residencial, considerados separadamente os consumidores comerciais, institucionais e industriais, também estratificados. |
| | Bacia hidrográfica | Têm objetivo ambiental de médio a longo prazo, cujos benefícios não são imediatamente realizáveis por cada usuário ou mesmo por cada sistema urbano abrangido. |
| | Sistema de abastecimento | Motivadoras internas dos prestadores de serviços, em função dos benefícios imediatos e tangíveis de sua aplicação. As reduções de perdas físicas e não físicas nos sistemas de produção e distribuição atendem ao duplo objetivo de melhoria de eficiência no uso da água e de maior rentabilidade do serviço. |
| Inserção no Ciclo da Água (local de incidência da ação) | Sistemas prediais | Dependem de uma convergência mais complexa de objetivos e motivações. O apelo à economia na conta de água é bastante limitado ante a baixa elasticidade de demanda da água em relação a várias condições sociais e culturais e em face do relativamente baixo valor da conta de água no conjunto das despesas domésticas correntes. |

Fonte: Marcka (2004)

- **Econômicas** – Consistem na aplicação de incentivos ou de desincentivos econômicos. Os incentivos podem, por exemplo, se constituir em diferentes formas de subsídio à aquisição e implantação de sistemas e de dispositivos economizadores de água. Os desincentivos podem ser constituídos, por exemplo, por tarifas mais elevadas para os maiores consumos.
- **Sociais** – Têm como foco principal a conscientização dos usuários, através de campanhas educativas que buscam a adequação de procedimentos e modificações nos padrões de comportamento individual a cerca do uso da água.
- **Tecnológicas** – São ações que interferem na infra-estrutura, como, por exemplo, a substituição de sistemas e dispositivos convencionais por outros economizadores de água. Outros exemplos são a implantação de sistemas de medição setorizada do consumo de água, a detecção e a correção de vazamentos e o uso de fontes alternativas de água.

Considerando a abrangência das ações, Oliveira (1999) considera as seguintes escalas de classificação:

- **Nível macro** – Ações na escala de países e dos organismos internacionais, portando sobre os sistemas hidrográficos, tais como: aprimoramento do arcabouço político, institucional, jurídico e legal. Em se tratando do abastecimento urbano, essas ações são orientadas por estudos de previsão da disponibilidade hídrica, incluindo desde medidas abrangentes de gestão da demanda até a proteção dos mananciais.
- **Nível meso** – Refere-se às ações na escala dos sistemas urbanos de água, que contemplam, por exemplo, o controle de perdas nos sistemas de distribuição. Têm como foco principal a redução de perdas físicas e não físicas, sendo realizadas no âmbito de programas regionais que apóiam diretamente a prestação do serviço. No Brasil, nesse nível podem ser citados os programas PASS, PMSS e Pró-Saneamento.
- **Nível micro** – Composto por ações que se concentram nos sistemas prediais, voltadas para o aumento da eficiência no uso da água. Tais ações visam à melhoria do conjunto das instalações de água e esgoto, diretamente implicadas no consumo predial. Envolvem fabricantes de peças e dispositivos economizadores,

desenvolvimento de normalização técnica específica e programas de qualidade industrial. As medidas passivas de gestão da demanda (educação e uso de tarifas para inibição do consumo) são contempladas nesse nível.

No documento de apresentação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), Documento Técnico de Apoio (DTA) A1, Silva (1999), classifica as ações conservacionistas segundo sua natureza e progressividade. A progressividade diz respeito à complexidade dos contextos objeto das ações a serem encetadas, considerado o estágio de progresso já alcançado pelo sistema de abastecimento.

Nos EUA, o documento que estabelece as diretrizes da USEPA (1998) para programas de conservação de água, recomenda a aplicação de níveis progressivos de complexidade de ações conservacionistas, segundo a população do centro urbano sob intervenção, ou seja, o grau de complexidade das ações é tanto maior quanto maior e mais complexo for o centro urbano. No entanto, na realidade brasileira esse critério não é totalmente válido, pois ocorrem casos de sistemas cobrindo grandes contingentes populacionais que não tem condições operacionais de implementar ações conservacionistas mais complexas. Dessa forma, Silva (1999) defende que deve ser considerada a capacidade do sistema em absorver os benefícios potenciais de medidas mais sofisticadas, tendo em conta a observação do pleno emprego de medidas menos sofisticadas que antecedem a mais sofisticada de mesma natureza, em uma escala acumulativa.

Os níveis de complexidade propostos para o PNCDA é apresentado na Tabela 2.4, vinculando as variáveis definidoras do porte do sistema a condições prévias de eficiência. Com referência ao enquadramento apresentado na Tabela 2.4, Silva (1999) alerta para que o mesmo não seja adotado de forma rígida. Medidas de conservação de nível mais avançado poderão ser adotadas em casos onde a gravidade ou a escala de demandas requeira tais medidas. Ressalva, no entanto, o autor, que a ordem de precedência das medidas deve ser observada, no sentido de que ações mais complexas sejam adotadas desde que as ações de menor

complexidade, de mesma natureza, tenham tido sido efetivamente implementadas.

Tabela 2.4 Enquadramento de sistemas em graus de complexidade segundo conjunto de condições a eles associadas (SILVA, 1999).

| Nível | Porte | Abrangência | Agente gestor | Condições prévias de eficiência |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|---|---|
| Básico | Até 20.000 hab. | Municipal | qualquer habilitado | - |
| Intermediário | Acima de 20.000 a 100.000 hab. | Municipal ou Regional | Serviço de água Prefeitura Entidade reguladora Entidade regional | Medidas básicas já implantadas Confiabilidade alta nos indicadores de perdas físicas |
| Avançado | Acima de 100.000 hab. | Regional | Agência de bacia Entidade regional Regulador estadual | Medidas intermediárias implantadas Previsão completa de demanda |

A Tabela 2.5 apresenta as atividades de conservação e uso da água nos sistemas públicos e prediais que se constituem em referência para o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA).

Programas de conservação e reúso de água (PCRA) em edifícios

Agrupando-se a utilização da água segundo as categorias “uso”, “perda” e “desperdício”, o consumo de água em uma edificação, ou seja, a quantidade consumida, pode ser descrita pela expressão:

$$\text{Consumo} = \text{uso} + \text{perda} + \text{desperdício}$$

Observa-se, enfaticamente, que essa expressão é inapropriada para uma abordagem mais abrangente sobre a situação do uso da água, pois não considera a variável qualidade. Em sistemas prediais a avaliação sobre a utilização de água deve compreender obrigatoriamente o binômio (quantidade - qualidade). Assim, a validade mais extensiva da expressão acima se daria para uma condição de águas de mesma qualidade ou de qualidade equivalente, segundo critérios técnicos empregados na análise.

Tabela 2.5 Síntese de medidas em níveis crescentes de complexidade

| Natureza da Atividade | Nível Básico | Nível Intermediário | Nível Avançado |
|---|---|---|---|
| Produção de informações sobre eficiência do sistema | Indicadores confiáveis de perdas físicas e não físicas combinadas (ANF e ANC) | Indicadores confiáveis de perdas físicas somente Indicadores de eficiência hídrica dos segmentos | Fatores de ponderação de pressão na rede Indicadores de perda física linear incl. ramais prediais |
| Previsão de demanda | Índices de consumo per capita estatisticamente controlados | Consumos residenciais monitorados por classe Consumos n. residenciais monitorados por tipo | Previsão de demanda integrada com normas e planos urbanísticos Consumos residenciais associados a elasticidade de demanda Modelos de previsão por múltiplas variáveis |
| Gestão integrada de recursos | Enquadramento em diretrizes regionais /GRH | Articulação com normas regionais e urbanísticas Articulação com produção de aparelhos poupadores Articulação c/ conservação de energia e produtos químicos | Planos regionais e locais integrados c/ usos não urbanos da água Normas restritivas de uso da água Normas de preservação de mananciais Incentivo à produção de aparelhos poupadores Planos conjuntos com áreas de energia e outros recursos |
| Gestão da demanda | Contas explicativas do consumo Campanhas de esclarecimento junto a população diretamente beneficiária de medidas ativas de conservação Grandes consumidores - incentivo à conservação auto-gerida | Adoção de aparelhos poupadores em novas instalações Campanhas públicas de esclarecimento Campanhas educacionais em escolas isoladas Grandes consumidores – parcerias isoladas Intensificação de progressividade na tarifa | Incentivos diretos à troca de aparelhos Campanhas educacionais na rede escolar Grandes consumidores - ações setoriais Paisagismo poupador de água p/ parques e jardins Estrutura tarifária baseada em elasticidades medidas |

Tabela 2.5 Síntese de medidas em níveis crescentes de complexidade (cont.)

| Natureza da Atividade | Nível Básico | Nível Intermediário | Nível Avançado |
|---|---|---|---|
| Manejo de cadastros | Cadastramento da rede primária Correção / complet. do cadastro de consumidores | Cadastramento completo da rede de distribuição Integração dos cadastros comercial e operacional Implantação de SIG | Cadastro dos ramais prediais Integração do SIG com aquisição automática de dados operacionais |
| Macromedição | Macromedição principais unidades prod / reserv | Macromedição usos públicos Aferição medidores e unificação de leituras c/ micromedição | Telemetria Registro contínuo em unidades estratégicas |
| Micromedição | Implantação de medidores / maioria das ligações residenciais | Substituição / reparo de medidores antigos ou de capacidade inadequada Micromedição em favelas e assemelhados | Leitura c/ emissão automática de contas |
| Deteção e reparo de vazamentos na rede | Deteção e reparo de todos os vazamentos aflorantes Geofonamento nas áreas de maior pressão | Geofonamento de toda a rede Estratégia de reparo para toda a rede | Programa de manutenção preventiva das redes |
| Controle de pressão na rede | Setorização seletiva Instalação experimental de VRPs em zonas de maior pressão | Setorização abrangente Sistema seletivo de VRPs | Sistema de válvulas telecomandadas Integração com SCADA Programas avançados de análise B/C |
| Redução de consumo operacional | | Gerenciamento de limpeza e teste de pressão na rede | Redução de consumo em ETAs |
| Sistemas prediais - manut. e aparelhos poupadores | Monitoramento de consumo predial Reparo de vazamentos Regulagem de válvulas e registros | Adoção de aparelhos poupadores existentes Substituição de aparelhos em instalações públicas Desenvolvimento tecnológico de novos aparelhos poupadores | Programas setoriais de recuperação de sistemas prediais e substituição de aparelhos Revisão de critérios de dimensionamento das instalações Rotinas especiais de manutenção [por setor] |
| Sistemas prediais - gestão da qualidade de produtos e processos | Normalização técnica - especificações e métodos de ensaio Programas isolados de melhoria de qualidade Calibração de ensaios laboratoriais | Certificação de aparelhos poupadores Laboratório institucional Programas setoriais de qualidade | Programas inter-setoriais de qualidade |

A categoria “uso” compreende a quantidade de água necessária à realização de determinada atividade. Não se entra no mérito, a princípio, se essa forma de uso se dá sob um grau maior ou menor de eficiência. Trata-se de uma classificação para um dado momento, ou para uma particular condição de uso. Em momento posterior, poder-se-á verificar que aquele uso estava se dando sob uma forma pouco eficiente e que ganhos podem ser obtidos com o aprimoramento da tecnologia ou do procedimento sob o qual se dá o uso, por exemplo. Não cabe, nesse caso, classificar como desperdício ou perda a diferença da quantidade de água usada sob a forma inicial e final. Assim, trata-se de ineficiência intrínseca a um dado contexto.

Sob a categoria “perdas” enquadram-se as deficiências de um sistema que levam à perda física da água. São águas não utilizadas, reconhecidas como pertencentes a essa categoria, mas que não podem ser aproveitadas ou reaproveitadas em um dado momento, dadas limitações ou impossibilidades. Para reforço da terminologia, poderiam ser designadas por “perdas inevitáveis” em um dado momento. Exemplos típicos são os vazamentos conhecidos que não podem ser suprimidos ou minimizados em função da impossibilidade de acesso, da inexistência ou insuficiência de recursos financeiros, entre outros motivos. As perdas podem também estar incorporadas no uso sob baixa eficiência, conforme consideração do parágrafo anterior.

Finalmente, a categoria “desperdício” compreende basicamente as perdas evitáveis, ou seja, correspondem claramente à negligência do usuário que não tem consciência sobre o valor da água. Podem estar vinculadas ao uso propriamente dito ou ao funcionamento geral dos sistemas prediais de água. Exemplo típico do desperdício é uma torneira, em estado normal de funcionamento, que permanece aberta a despeito de não estar sendo utilizada, ou a existência de um vazamento que pode ser estancado por simples manutenção disponível ao usuário.

As parcelas de perdas e desperdícios representam custos para os usuários e para a sociedade, sem aportar benefícios. Portanto, a sua eliminação ou redução a níveis razoáveis resulta em consideráveis benefícios ambientais e econômicos.

Cumprir destacar enfaticamente que as categorias acima adotadas são fortemente associadas a valores pessoais de natureza diversa, expressão da cultura marcada temporal e espacialmente. Assim, a aplicação dos adjetivos adotados pode levar a interpretações equívocas e conflituosas. Recomenda-se que a conceituação se refira, o máximo possível, a características técnicas cujos princípios e terminologias sejam de aceitação uniforme.

A despeito do estágio de consolidação em que se encontra a terminologia, observa-se que os trabalhos práticos de conservação em edifícios vêm crescendo. Os trabalhos pioneiros de medição do consumo em uso real foram realizados entre 1983 a 1989 em banheiros e outras instalações do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (ROCHA, 1987). Em seguida, as intervenções de implantação prática, tiveram lugar através do PURA – Programa do Uso Racional da Água inicialmente nos refeitórios das áreas administrativas da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e, em seguida, com ações de grandes proporções nos edifícios do Hospital das Clínicas no estado de São Paulo, no final da década de 90. Também nessa época foram iniciados os primeiros programas de cunho mais abrangente como o Programa de Economia de Água de Santo André (ALVES, 1999). Por volta de 1997 foi criado o PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, hoje sob a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. Na atualidade, inúmeras intervenções se sucedem por iniciativa de empresas, condomínios residenciais, administração pública e de outras naturezas.

A emergência da temática e os ganhos efetivamente observados na atualidade pela adoção de práticas conservacionistas, impulsionaram o desenvolvimento de abordagens e procedimentos completos visando a implantação de sistemas de gestão das águas, às vezes associado a outros sistemas de gestão (de energia, de meio ambiente, de segurança, e de saúde, dentre outros) em edifícios de diversos tipos de uso. Tais sistemas vêm sendo implantados em velocidade crescente, principalmente em indústrias, edifícios de prestação de serviços e edifícios públicos (MARQUES, 2006).

Um Programa de Conservação e Reúso de Água – PCRA pode ser definido como um conjunto de ações específicas de racionalização do uso da água nas edificações. Tendo como objetivo direto a conservação de água, os PCRA's devem realizar uma análise de demanda e oferta de água, em função dos usuários e atividades consumidoras, com base na viabilidade técnica e econômica de implantação das mesmas (HESPANHOL e GONÇALVES, 2005).

A fundamentação dos PCRA's decorre do fato de que, tal como ocorre nas áreas urbanas, nem toda a água potável que abastece uma edificação é efetivamente utilizada para satisfazer à demanda resultante das atividades que ali acontecem. Conforme já foi discutido anteriormente, parcelas da água são perdidas ou desperdiçadas no sistema hidro-sanitário. Enquanto os desperdícios estão associados a procedimentos irresponsáveis por parte dos usuários, as perdas podem ser originadas por desempenho defeituoso do sistema ou por vazamentos e outras anomalias (OLIVEIRA, 1999).

Os procedimentos preliminares à definição de programas de conservação e reúso da água (PCRA) prevêm geralmente um estudo completo sob a oferta e demanda de água no edifício como um todo, bem como nas suas partes. Esse estudo compreende o levantamento das quantidades e qualidades das águas requeridas. Na indústria, por exemplo, é usual proceder-se ao balanço hídrico com base no fluxograma do processo produtivo. Esse levantamento permite estabelecer a quantidade e qualidade de água necessária em cada operação ou processo unitário, bem como no âmbito do sistema de água da instalação predial em questão. Esse quadro, detalhadamente elaborado, constitui usualmente o diagnóstico de situação da gestão da água e será a peça básica para o estabelecimento de um programa de conservação e do correspondente sistema de gestão.

Os programas de conservação se assentam sobre um conjunto de diretrizes que orientam sua formulação. A primeira delas diz respeito ao princípio da progressividade das ações, considerados os ganhos de cada etapa e as possibilidades concretas da implantação de cada uma delas, tendo em conta os investimentos necessários, a mobilização de

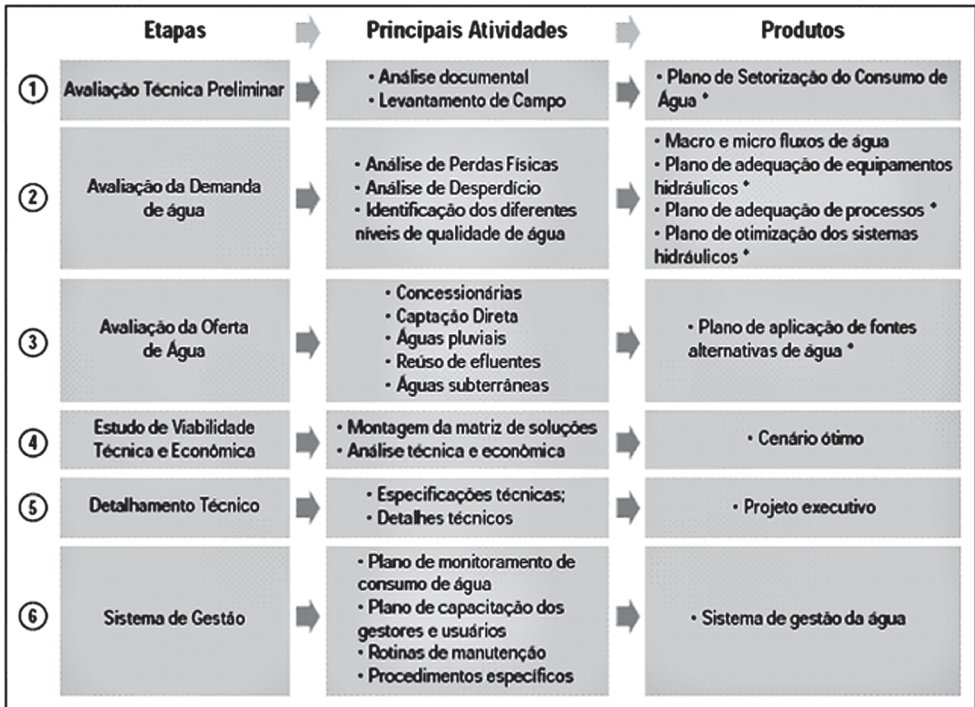
recursos humanos e materiais, as eventuais alterações de estruturas físicas, entre outras.

As etapas e ações correspondentes que compõe o programa de conservação podem ser sistematizadas da seguinte forma:

- (a) Supressão ou minimização de perdas e desperdícios;
- (b) Adequação do manejo do sistema operacional;
- (c) Minimização do volume consumido nas partes e no sistema como um todo;
- (d) Compatibilização da qualidade da água requerida em cada parte do sistema às fontes disponíveis incluindo fontes alternativas de fácil implantação como a resultante do aproveitamento de água de chuva;
- (e) Separação das águas de qualidades muito diferentes em sistemas que permitam o manejo específico de cada qualidade ou grupos de qualidade;
- (f) Remodelação do fluxograma do processo produtivo com respeito ao suprimento de água visando à otimização do aproveitamento das águas disponíveis, considerado o binômio quantidade e qualidade;
- (g) Substituição de equipamentos visando à diminuição do consumo;
- (h) Implantação do reúso de águas residuárias do próprio sistema;
- (i) Substituição de equipamentos e instalações para tornar operações ou processos unitários específicos mais eficientes no que respeita ao uso da água;
- (j) Substituição da base tecnológica geral.

Observe-se que a gestão do sistema e, em particular, os procedimentos de manutenção, devem ser permanentemente atualizados segundo as etapas de implantação do programa de conservação e devem contar com pessoal responsável, especificamente designado.

Hespanhol e Gonçalves (2005) desenvolveram um quadro orientativo às implantações de programas de conservação e reúso, relacionando as etapas, atividades e produtos associados, conforme ilustra a Figura 2.7.



*Especificação e detalhamento de sistemas e componentes, custos e expectativas de economia.

Figura 2.7 Etapas, atividades e produtos de um programa de conservação de água

Fonte: Hespagnol e Gonçalves (2005)

Uso de Fontes Alternativas de Água em Edificações

O uso de fontes alternativas de água nas edificações é uma ação de conservação de água que pode ser classificada como estruturante e não convencional. Esta medida contribui tanto em termos de uso eficiente da água como de redução de vazões de águas residuárias. As fontes alternativas de água são fontes opcionais àquelas normalmente disponibilizadas às habitações (água potável), destacando-se dentre elas a água cinza, a água de chuva, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões pipas. Os estudos de caracterização do consumo de água potável em residências brasileiras autorizam uma estimativa de economia de água variando entre 15 a 30%, caso se implemente o aproveitamento de fontes alternativas.

Os usos considerados como mais viáveis para as águas de fontes alternativas são descargas sanitárias, descargas de mictórios, lavagem de pátios, lavagem de carros e irrigação de jardins. Via de regra é necessário tratamento adequado, cujos níveis de sofisticação e de eficiência dependem da qualidade da água e do uso a que esta se destina. Ademais, para que a utilização de fontes alternativas de água nas edificações se consolide como uma prática usual de conservação no Brasil, necessita-se:

- Regulamentação técnica adequada, para minimizar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente.
- Divulgação permanente de experiências e dos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos.
- Disponibilização de serviços e equipamentos compatíveis com o mercado habitacional brasileiro.

Embora aporte um impacto significativo na redução dos consumos de água e de produção de águas residuárias, o aproveitamento de fontes alternativas em uma edificação demanda um investimento significativo para instalação dos componentes do sistema. Devem ser considerados uma rede de abastecimento dupla, dois reservatórios de água (um potável + um não potável) e um sistema para tratamento da água não potável antes do uso. Os custos de investimento, de operação e de manutenção dependem do tipo de instalação e das condições locais. No que se refere à funcionalidade da edificação, o uso de fontes alternativas não implica em grandes modificações, a não ser a manutenção dos sistemas de tratamento e de armazenamento.

Outro aspecto muito importante refere-se à aceitação social da medida, que pode não ser muito positiva devido à resistência natural que as pessoas experimentam quando se trata de contato direto ou indireto com águas residuárias de qualquer natureza. A sensação de asco experimentada pelas pessoas frente à possibilidade de utilização de resíduos de outras pessoas é definido como o fator “PUF!” por MICHAUD (2005). A aceitação social do reúso de água é inversamente proporcional à probabilidade de contacto humano e ingestão.

Em um estudo elaborado em Portugal pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC, 2001), no âmbito do PROGRAMA NACIONAL PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA, as seguintes ações foram

sugeridas no sentido de se incrementar o uso de fontes alternativas de água naquele país:

- Sensibilização, informação e educação, devendo ser dirigida aos responsáveis por instalações domésticas, coletivas e comerciais, não só promovida pela alta instância hierárquica do edifício em questão, mas também pelos gestores dos sistemas de abastecimento de água e pelos responsáveis por unidades de comércio, indústria e instalações coletivas; dentre as várias possibilidades sugere-se a elaboração de um guia não especializado para divulgação das aplicações e tecnologia apropriada;
- Documentação, formação e apoio técnico, principalmente através da elaboração de manual técnico especializado para utilização de água de qualidade inferior para usos não potáveis, dirigido essencialmente aos profissionais na área de saneamento básico;
- Normalização, notadamente pelo desenvolvimento de normas portuguesas relativas aos procedimentos e critérios a utilizar na reutilização ou uso de água de qualidade inferior em instalações prediais, incluindo as várias alternativas, tais como água captada não tratada, águas cinzas ou água pluvial, mas excluindo as águas negras;
- Rotulagem de produtos, que deve ser obrigatória após um período de transição. Este mecanismo dirige-se aos fabricantes, distribuidores e comerciantes de equipamentos para este fim. A rotulagem deve incluir a informação necessária para a caracterização dos sistemas em termos do uso de água e de energia;
- Certificação, homologação e verificação de conformidade com normas de produtos de iniciativa de fabricantes de equipamentos que existam ou venham a ser colocados no mercado com a finalidade de serem utilizados para a reutilização de água na habitação ou outras instalações.
- Implementação de projetos de demonstração, que pode ser promovida voluntariamente pelos responsáveis por instalações domésticas, coletivas e comerciais eventualmente em colaboração com os fornecedores de equipamentos.
- A responsabilidade da implementação é essencialmente da tutela do ambiente, sugerindo-se o envolvimento de entidades gestoras de sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais, de associações de utilizadores nas áreas afins e de organizações não governamentais.

Redução do Consumo de Água em Aparelhos Sanitários no Uso Doméstico

O uso doméstico se refere à utilização de aparelhos sanitários normalmente encontrados em residências. São os usos realizados nas bacias sanitárias, lavatórios, chuveiros, pias, tanques, lavadoras de roupas, etc. Dessa forma a expressão “uso doméstico” pode ser estendida a edifícios outros não destinados à moradia, mas que contem com áreas dotadas daqueles aparelhos sanitários.

Aspectos tecnológicos e comportamentais na redução de consumo

Retomando os campos de natureza sob os quais as ações conservacionistas podem ser tomadas, i.e., tecnológica ou comportamental, refere-se ao caso de uma torneira que tem suas características fixadas em norma técnica e que, dependendo da pressão disponível na tubulação onde está instalada, dará lugar a um escoamento com certo valor de vazão dependendo do número de voltas que se imprime ao volante que a abre. As torneiras podem ser dotadas de um arejador na extremidade de saída e a introdução desse pequeno dispositivo poderá modificar substancialmente a vazão de água que sai da torneira para o mesmo número de voltas do volante de acionamento. Observa-se em condições reais de uso que uma torneira dotada de arejador implica numa menor quantidade de água consumida em lavatórios, por exemplo. Isso ocorre porque o usuário satisfaz suas necessidades com o jato “sólido” de uma torneira sem arejador no mesmo tempo de uso que com o jato “arejado” originado na torneira com o dispositivo. Essas características são apresentadas em maior detalhe no capítulo 6.

No campo de ações de natureza comportamental, ou seja, aquele decorrente dos hábitos pessoais associados ao meio cultural, o exemplo do uso da torneira mostra que o consumo será maior ou menor em função da vazão que o usuário escolher, ou seja, do número de voltas que ele imprimir ao volante, e do tempo que ele mantiver a torneira aberta. Obviamente, ocorrem variações no procedimento de uso, considerados aspectos individuais. Percebe-se, no entanto, que o grau de consciência sobre o valor da água e a problemática associada, dada a sua escassez e degradação, vêm crescendo e podem levar a modificações de padrões de comportamento.

Pode-se também afirmar que essa divisão de abordagens – tecnológica e comportamental – não é absoluta. Frequentemente elas se compõem e um exemplo bastante significativo é que a escolha de aparelhos sanitários economizadores já incorpora um novo valor cultural onde as abordagens estão associadas e tanto mais essa convergência se manifesta quanto maior for o nível de consciência sobre o valor da água.

As considerações sobre as duas vertentes simplificadas de abordagem mostram que o uso da água se materializa através do aparelho sanitário. Seja economizador ou não, será através dele que a água se tornará disponível ao uso no ambiente construído. Há aparelhos que, na prática, levam à economia de água quase que de forma compulsória, dadas suas características construtivas e possibilidades de uso. É o caso da descarga em mictórios masculinos controlados por aparelhos sensores de presença. Não há alternativa para o usuário aumentar ou diminuir a quantidade de água descarregada após o uso normal. Afastando-se do mictório a quantidade de água descarregada estará pré-determinada pelo ajuste dos equipamentos instalados. Pode-se argumentar, no entanto, que o usuário poderá se aproximar e se afastar do mictório para provocar mais descargas. Nesse caso, em princípio, pode-se considerar o comportamento como anômalo, devendo ser considerado como exceção para tratamento à parte.

A bacia sanitária moderna também se constitui em exemplo onde o caráter tecnológico foi predominante. Trata-se de aparelho que obedece aos critérios e especificações estabelecidas na normalização brasileira (NBR 15.097, ABNT, 2004) e que é comercializada em todo o Brasil na atualidade. O volume de água por descarga nessa bacia é de 6,8 L e o usuário ao acionar a descarga, em princípio, não terá alternativa de ação pessoal para aumentar ou diminuir o volume de água naquela descarga. Existem bacias que recebem a água descarregada de uma caixa de descarga e outras que recebem de tubulação dotada de válvula de descarga. Nesse último caso, foram desenvolvidas válvulas cuja descarga atende ao volume preconizado na norma brasileira de bacias independente do tempo em que o usuário mantenha o botão de acionamento apertado. Essas válvulas somente podem ser adquiridas sob encomenda ao fabricante.

Analogamente aos mictórios, pode-se objetar que o usuário poderá acionar mais de uma vez o dispositivo que proporciona a descarga. Nesse

caso, no entanto, pode se tratar de comportamento pessoal caracterizado como anômalo. O usuário poderá fazê-lo por uma razão objetivamente justificável ou por uma motivação subjetiva sem respaldo generalizado. No primeiro caso poderá ter ocorrido a permanência de uma quantidade de material fecal e de papel no poço da bacia, por exemplo. Isso teria ocorrido se o usuário anterior tivesse acionado a descarga uma só vez em uma condição em que a bacia contivesse uma quantidade excepcionalmente grande de dejetos. Nessa situação a descarga pode não proporcionar a limpeza esperada e uma segunda descarga se fará necessária. Entretanto, o usuário pode acionar mais de uma vez a descarga por uma motivação subjetiva vinculada a padrões estéticos ou vinculada a princípios higienistas próprios da pessoa e que não se vinculam ao funcionamento objetivamente caracterizado como normal para o aparelho.

A vertente comportamental é bastante expressiva no caso do uso para banhos com chuveiros elétricos, o que parece ser algo bastante vinculado à uma especificidade cultural brasileira. Os dados dos tópicos seguintes confirmam a tendência observada em medições e levantamentos já realizados.

Desenvolvimento de ações de redução do consumo no uso doméstico

A redução do consumo de água no uso doméstico teve forte impulso a partir da década de 80 e firmou-se no presente momento. Na atualidade, têm continuidade os estudos relativos ao funcionamento dos aparelhos sanitários e do comportamento do usuário. Encontram-se em desenvolvimento novos modelos de gestão das águas por parte do setor industrial, a consolidação de normalização técnica, bem como as ações em consideração no âmbito dos sistemas de gestão do setor do saneamento e dos recursos hídricos.

Paralelamente ao desenvolvimento de estudos e consolidação tecnológica observa-se um forte impulso de ações conservacionistas no uso doméstico, especialmente no caso de edifícios de usos públicos (shopping centers, aeroportos, estações rodoviárias, edifícios públicos e outros), bem como em edifícios novos de moradia de alto padrão que incorporam programas de conservação de espectro razoavelmente amplo. A medição individualizada, o aproveitamento de água de chuva, a

utilização de aparelhos sanitários economizadores e o reúso têm sido observados em edifícios de apartamentos dessa faixa de renda.

Na área de pesquisa sobre o consumo de água em aparelhos sanitários, têm grande importância os trabalhos em curso visando estabelecer o perfil do consumo doméstico. Trata-se de estudo que visa determinar as quantidades de água usadas em cada aparelho sanitário e sua relação com o volume total consumido na residência. Estudos dessa natureza, realizados na década de 70 e 80, tiveram papel determinante no desenvolvimento de aparelhos sanitários economizadores.

Perfil do consumo de água no uso doméstico

Estudos realizados na Grã-Bretanha e nos EUA mostraram que o consumo de água nas habitações daqueles países tinha uma participação acentuada do uso das bacias sanitárias. As necessidades colocadas pela escassez e alto custo da água levaram ao desenvolvimento de aparelhos economizadores. Dada a alta incidência da bacia no consumo residencial, estabeleceu-se um amplo programa de desenvolvimento de alternativas para redução do consumo nesses aparelhos. Esse processo, iniciado em meados da década de 80, culminou com a adoção, de âmbito internacional, da bacia de descarga de baixo volume de descarga. Essa bacia opera com volume de aproximadamente 6 L por descarga em contraposição aos 12 L, 15 L ou mesmo 20 L a 25 L observados em alguns países na década de 70 e 80.

Por conta da incidência relativamente alta no consumo doméstico observado na Grã-Bretanha e nos EUA, a bacia tornou-se um dos principais exemplos de aparelhos sanitários para os quais se buscam soluções de racionalização do consumo trabalhando-se sobre a redução do volume de água descarregada em cada operação de uso.

No Brasil, os estudos e desenvolvimentos acompanharam, com participação intensa do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, o processo de evolução das bacias. Em meados da década de 80, o IPT e um conjunto de grandes fabricantes de louças sanitárias desenvolveram bacias cuja descarga variava entre 4 L e 5 L de água. Hoje a normalização brasileira contempla apenas a bacia de baixo volume de descarga. Aliás, não há menção ao “baixo volume”, pois

todas as bacias sanitárias fabricadas no Brasil devem operar normalmente com 6,8 L de descarga (ver capítulo 6).

O volume de água consumido nas bacias sanitárias em relação ao total do consumo na residência merece especial atenção. Em meados da década de 70, foram realizados estudos na Grã-Bretanha sobre o perfil do consumo residencial de água, ou seja, as magnitudes da distribuição do volume consumido segundo o uso ou o aparelho. Uma referência clássica é dada por Mackray *et al.* (1978) que mediram o perfil de consumo nas cidades de Malvern e Mansfield. Nesse estudo, os autores mostraram que nessas cidades, a bacia sanitária era responsável por 31% a 33% do consumo doméstico total. No entanto, é de suma importância mencionar que os autores mostram que as pessoas tomavam uma média de 1,8 banho/semana, principalmente de banheira, o que correspondia a aproximadamente 16% do consumo total da residência. Outros aspectos do estudo são igualmente importantes, especialmente para mostrar o risco de fazer transposição de resultados sem levar os fatores condicionantes de cada realidade: o consumo *per capita* diário era de aproximadamente 100 L/hab.dia, devido ao uso da água em rega de jardins e em trituradores de lixo, etc.

A incidência do consumo de bacias sanitárias no Brasil pode ser grosseiramente estimada, de forma genérica, com base em condições hipotéticas que, no entanto, incorporam valores médios bastante plausíveis. Nesse exercício, adotam-se os seguintes valores: consumo *per capita* de 150 L/hab.dia; 3 descargas de bacia sanitária por pessoa por dia; bacia sanitária mais ou menos antiga, ou seja, não conforme a atual norma brasileira, com consumo entre 9 L/descarga e 12 L/descarga. Nessas condições, a participação percentual da bacia no consumo total estaria entre 18% e 24%. O conhecimento da realidade do consumo doméstico segundo o uso depende de trabalhos de pesquisa. Estudos para a determinação do perfil do consumo doméstico na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), segundo diversos estratos amostrais, vêm sendo desenvolvidos pelo IPT sob patrocínio da SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Trabalhos prévios permitiram definir as metodologias de monitoramento necessário à determinação do perfil do consumo. Rocha *et al.* (1999) mostram as técnicas de medição e os resultados relativos ao perfil de consumo em um apartamento popular na periferia da cidade de São Paulo. A Figura 2.8

apresenta a distribuição do consumo por uso nesse apartamento.

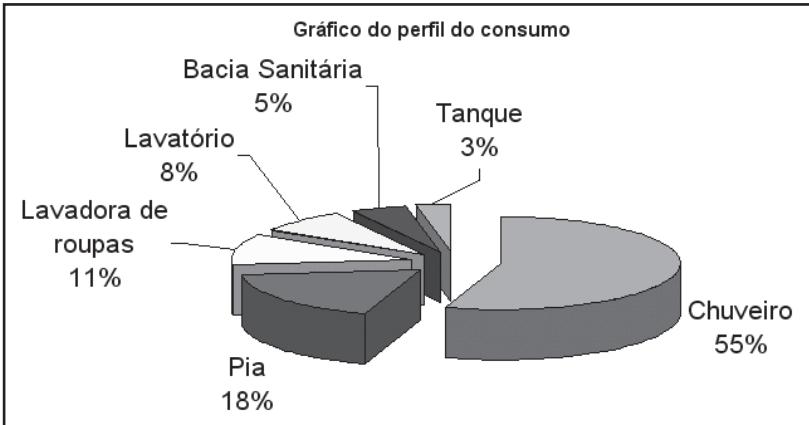


Figura 2.8 Perfil do consumo doméstico de água em um apartamento popular na periferia da cidade de São Paulo (ROCHA *et al.*, 1999).

Considerando-se chuveiros elétricos em habitações térreas ou assobradadas, dotadas de reservatório superior que alimenta o chuveiro, tem-se, na grande maioria dos casos, uma configuração onde a instalação predial proporciona um valor de vazão relativamente pequeno no chuveiro. Observe-se, por exemplo, que a norma brasileira de água fria (NBR-5626 – ABNT, 1998) exige que a pressão dinâmica mínima no ponto de utilização de qualquer aparelho seja de apenas 0,5 mca. Sob pressões dessa magnitude, o chuveiro elétrico operará com pequenas vazões, de aproximadamente 0,05 L/s (3 L de água por minuto de banho). Valores de vazão dessa ordem são observados com frequência em diversas tipologias construtivas e, o que é bastante importante, com boa assimilação, senão plena satisfação, por parte dos usuários. Observe-se também que, consoante os critérios estipulados na NBR-5626/1998, os chuveiros elétricos são dimensionados, fabricados e ensaiados para operar em observância àqueles critérios.

Retomando o exercício de cálculo estimativo, adotando o consumo *per capita* de 150 L/hab.dia e considerando que uma pessoa toma um banho por dia, de 15 minutos de duração, pergunta-se qual seria a participação percentual do banho no consumo total. O volume de água consumido em um banho de 15 minutos à vazão de 0,05 L/s (3 L por minuto) é de 45 L. Como o *per-capita* adotado é de 150 L/hab.dia, tem-se uma incidência de 30 % do consumo total diário, devida ao banho.

O banho em chuveiros corresponde a uma plataforma tecnológica largamente difundida no Brasil que permite concluir, sob a ótica conservacionista da água, que não será sobre a vazão do chuveiro elétrico de residências térreas e assobradas, com valores tão diminutos, que haverão de estar focalizadas as possibilidades de uso mais eficiente. As exceções estão nas duchas sob pressão e em edifícios de apartamentos onde a vazão do chuveiro é muito maior e que podem ser minimizadas.

No caso do banho em chuveiros elétricos com vazão na faixa 3 L/min a 5 L/min, fica patente que é sobre a vertente comportamental que se debruçam as possibilidades de redução do consumo. Nesses casos, o volume consumido para banho será função do tempo total em que o chuveiro permanece em funcionamento, ou seja, variável que está sob total controle dos usuários. Entretanto, a experiência sobre o papel dos valores culturais e os hábitos cotidianos não pode ser considerada como um fator de menor importância ou de fácil alteração. Valores transcendentais acham-se subjacentes a hábitos aparentemente banais, de tal forma que sua modificação pode requerer abordagem especializada, envolvendo, eventualmente, mudanças de paradigmas pessoais estimulados por novos contextos que permitam reformulações da identificação pessoal e, em conseqüência, dos hábitos cotidianos (CARDIA, 1987).

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.097 – Aparelhos sanitários de material cerâmico – Requisitos e métodos de ensaio, junho, 2004

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5626 – Instalação Predial de Água Fria, setembro, 1998

ALVES, W. C. ; COSTA, A. J. M. P. . Water Conservation in Brazil: the Santo André City Case. In: 25o International Symposium on Water Supply and Drainage For Buildings, 1999, Edinburgh. Proceedings of the 25o International Symposium on Water Supply and Drainage For Buildings. Edinburgh : CIB/HWU - Conseil International du Bâtiment/ Heriot-Watt University, 1999. v. único.

ALVES, W. C. ; SOBRINHO, A. ; COSTA, A. J. M. P. ; BASTOS, C. P. . Programa de

economia de água de Santo André: desenvolvimento de metodologias, planejamentos e procedimentos operacionais visando o combate as perdas de água em sistemas públicos de distribuição. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro : ABES, 1999. v. único.

BAUMANN, D.D. et alii. Water conservation: the struggle over definition. *Water Resources Research*, 20 (4): 428-434, 1984.,

BUTLER, D.; PAR-KINSON, J.; Towards sustainable urban drainage. *Water science technology*. v.53, n.9. Great Britain: Eslevier Science Ltd, 1997, p.53-63.,

CALIFORNIA, STATE OF, THE RESEARCH AGENCY (1984), DPARTMENT OF WATER RESOURCES. *Water conservation in California*. Sacramento, 1984, (Bull. 198-84).

CARDIA, N.G. O comportamento de conservação de água: subsídios teóricos para campanhas educativas de redução do consumo. In Anais do Simpósido Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo, IPT, 1987, pp. 177-195.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MCFARLANE, S.; An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. n.106, 1996, p.391-397.

COOMBES, P. J.; KUCZERA, G.; Integrated urban water cycle management: moving towards systems understanding. In: Anais da National Conference on Water Sensitive Urban Design – Sustainable Drainage Systems for Urban Areas, August 30th & 31st 2000 (Melbourne, Australia).

COOMBES, P.J.; KUCZERA, G.; Integrated urban water cycle management: moving towards systems understanding. In: Anais da National Conference on Water Sensitive Urban Design – Sustainable Drainage Systems for Urban Areas, August 30th & 31st 2000 (Melbourne, Australia)

DeOREO, W. B.; HEANEY, J. P.; MAYER, P. W.; Flow Trace Analysis to Assess Water Use. *Journal AWWA*, n.88 v.1, 1996, p.79-90.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. *Water Conservation - Guidelines*. Washington, 1998.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A.; Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, n.4 v.1, 2002, p. 85–104.

ESREY, S.; ANDERSSON, I.; HILLERS, A.; Sawyer R. Closing the loop Ecological Sanitation for food security. Stockholm (Sweden) 7 SIDA; 2001.

ESREY, S. A.; GOUGH, J.; RAPAPORT, D.; SAWYER, R.; SIMPSON-HÉBERT, M.; VARGAS, J.; WINBLAD, U.; Ecological Sanitation. SIDA, Stockholm, Sweden. 1998.

GONÇALVES, R. F. (2004) - Plano de integração – Rede 5. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Edital 4 (PROSAB 4). 12p.

HARREMOËS, P.; Integrated water and waste management. *Water Science and Technology*, n.35, 1997 p.11-20.

HELLSTRÖM, D.; HJERPE, M.; VAN MOEFFAERT, D.; Indicators to assess ecological sustainability in the Urban Water sector – An assessment of the Urban Water programs' criteria and indicators for analysis of ecological sustainability of urban water supply and wastewater systems. *Urban Water*. Chalmers University Of Technology Gothenburg, Sweden, 2004, Report 2004 n.3, 56 pp.

HESPAHOL, I.; GONÇALVES, O. M.; Conservação e reúso de água - Manual de Orientações para o Setor Industrial – v. 1 - Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo – Fiesp/Ciesp, 2005, 93 p.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S.; Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water* n.1 v.1, 1999, p. 285-292

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E.; Ecological Sanitation– a way to solve global sanitation problems? *Environmental International* n.31, 2005, pp 433-444

LNEC; Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA) (2001) - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água - Versão Preliminar

MARCKA, E.; Planos regionais de combate ao desperdício de água – Documento Técnico de Apoio DTA A5 – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. PNCDA. (2004)

MARQUES, A.C. Análise do uso da água em uma indústria de fundição de metais não ferrosos visando à otimização econômica e ambiental: um estudo de caso. Dissertação aprovada para obtenção do título de Mestre perante o Curso de Tecnologias Ambientais do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, maio de 2006.

MICHAUD, C. F.; Superando el Factor “¡PUF!”, *Agua Latino América*, v.5, n.3, 200X, p. 13 – 16.

MONTENEGRO, M.H.F. et SILVA, R.T. Economia de água: quadro de necessidades e linhas de ação. In *Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público*, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo, IPT, 1987, pp. 7-26.

NOLDE, E.; Greywater reuse systems for toilet flushing in multistory buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, n.1, 1999, p.275-284.

OLIVEIRA; GONÇALVES; Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios. *Boletim Técnico BT/PCC/247 da Escola Politécnica da USP*. São Paulo, 1999, 16p.

OLIVEIRA, L. H.; Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios – Tese de doutorado – Depto Engenharia, EPUSP, 1999, 344 p.:

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Water* 21. p. 37-41, out. 2001.

OTTERPOHL, R.; ALBOLD, A.; OLDENBURG, M.; Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources. *Water Science and Technology*, v.39, n.5, 1999, p. 153-160

OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J.; Sustainable water and waste management in urban areas. *Wat. Sci. Tech.*, v.35 n.9, 1997, p.121–133.

OTTOSSON, J.; STENSTRÖM, T. A.; Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Res.*, n.37 v.3, 2003, p. 645-55.

ROCHA, A.L. et MONTENEGRO, M.H.F. Conservação de água no uso doméstico: esforço brasileiro. In *Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público*, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo, IPT, 1987, pp. 289-315.

ROCHA, A.L., BARRETO, D. et IOSHIMOTO, E. Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de Água - Documento Técnico de Apoio DTA E1 – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. PNCDA. (1999)

ROUSSET, M.; L'environnement interpelle l'urbanisme? Journée SCOT TEMOINS du 28 sep 2005 relative à la prise en compte de l'environnement dans lês SCOT, site: www.urbanisme.equipement.gouv.fr/actu/scot/reunionsechanges/28092005/interv_mroutset.pdf

SILVA, R.T., CONEJO, J.G.L. ET GONÇALVES, O.M. Apresentação do Programa – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. PNCDA (1999).

SKJELHAUGEN, O. J.; Closed system for local reuse of blackwater and food waste, integrated with agriculture. *Wat. Sc. and Tech.*, n.39 v.5, 1999, p.161-168.

SPEERS, A.; MITCHELL, G.; Integrated urban water cycle. In: *Anais da National Conference on Water Sensitive Urban Design – Sustainable Drainage Systems for Urban Areas*, August 30th & 31st 2000 (Melbourne, Australia)

THACKRAY, J. E.; COCKER, V.; ARCHIBALD, G.; The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage. *Inst. Water Engineers and Sci. J.*, n.64, 1978, p.37-61.

UNESCO; Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report (WWDR). Ed. UNESCO, Paris, ISBN: 92-3-103881-8, 2003, 35p.

Capítulo 3

Aproveitamento da Água de Chuva

Luís Sérgio Philippi, Karla Ponzo Vaccari, Madelon Rebelo Peters e Ricardo Franci Gonçalves

Os principais conceitos, a caracterização quantitativa e qualitativa e as técnicas mais modernas para aproveitamento de água de chuva para diversos usos em regiões urbanas são apresentados e discutidos nesse capítulo. Os principais resultados obtidos nas pesquisas realizadas pelo PROSAB em Vitória (ES) e Florianópolis (SC) são apresentados.

Ciclo Hidrológico

Generalidades

Visando minorar os impactos causados pelas ações antrópicas sobre os recursos hídricos, a busca de fontes alternativas de abastecimento de água torna-se imperativo. E é neste contexto que se insere o aproveitamento da água da chuva. Para melhor compreender este fenômeno, serão abordados neste item alguns princípios básicos para ser considerados nos estudos relacionados aos recursos hídricos e ao meio ambiente.

Pode-se dizer que toda a água da terra participa deste imenso movimento gerado a partir da energia solar, que é o ciclo hidrológico, ilustrado na Figura 3.1.

O ciclo hidrológico não tem início ou fim. De uma forma ou de outra, a água ocorre praticamente em toda parte. Considera-se que grande parte da água contida no ciclo hidrológico tem sido virtualmente constante durante a história da humanidade. É um processo natural de dessalinização e purificação. A água que se evapora dos oceanos e o vapor tornam-se parte da atmosfera. O vapor de água é também transportado para a atmosfera através da evaporação dos corpos

d'água como lagos, rios e também de todas as superfícies terrestres úmidas (permanentemente ou ocasionalmente), a partir da precipitação e da transpiração das plantas. Através do processo de condensação, a água da atmosfera final retorna para a terra como precipitação sobre os oceanos e os continentes.

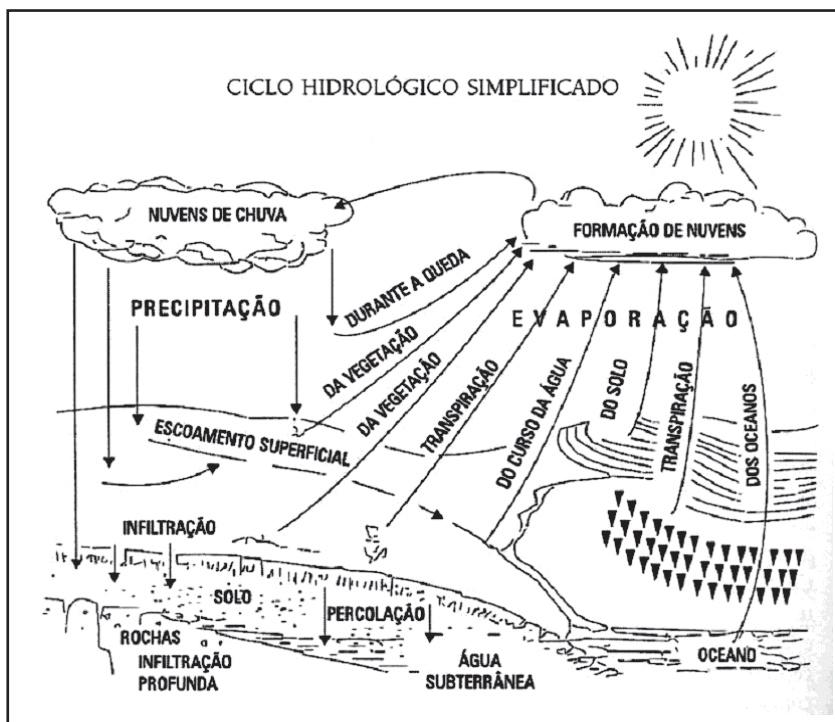


Figura 3.1 Ciclo hidrológico

Parte desta é interceptada pela vegetação e construções, enquanto uma parte pode escoar sobre a superfície, em córregos ou pode infiltrar no solo. A água infiltrada pode por sua vez percolar para zonas mais profundas para ser armazenada no subsolo, a qual cedo ou tarde escoará formando nascentes ou fontes, verterá num córrego ou será armazenada temporariamente num lago e ser transportada pelos rios até o oceano.

Desta forma, o ciclo hidrológico é submetido a vários processos como evaporação, condensação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação, armazenamento e escoamento superficial.

Precipitação atmosférica

Todo estudo hidrológico deve levar em consideração o macro clima de uma bacia hidrográfica. O tipo de precipitação, por exemplo, está diretamente associado às condições atmosféricas dominantes. Atualmente, quase todas as informações relacionadas a clima e hidrologia estão disponíveis nas redes oficiais de meteorologia (www.inmet.gov.br).

Dada a grande variabilidade de precipitação no interior de uma bacia hidrográfica, torna-se fundamental numa pesquisa ou projeto, ter-se dados pontuais. Estes podem ser obtidos numa estação meteorológica mais próxima, ou ser medidos diretamente no local, através de instrumentos adequados.

Medida de precipitação

A precipitação inclui a água da neve, granizo, geada e a procedente da chuva, de neblina e orvalho. No entanto, é a chuva a forma mais freqüente de precipitação e sem dúvida a mais fácil de medir. A quantidade de chuva é expressa pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Para medi-la, utilizam-se aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos, conforme sejam simples recipientes da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo. A altura pluviométrica medida nos pluviômetros é expressa em milímetros (mm) e o período de tempo entre o início e o fim da precipitação pode ser dado em horas ou minutos. Já a intensidade da precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, expressa geralmente em mm/h ou mm/min. É esta água que será objeto deste capítulo.

Para quantificar certos serviços como o abastecimento de água doméstico e industrial, necessidade de irrigação de culturas e o aproveitamento da água da chuva, por exemplo, o fator determinante é a disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano. As características principais da precipitação são o seu total, a sua duração e as distribuições temporal e espacial. Assim, a quantidade de precipitação total só tem significado se estiver associada a uma duração. Pode-se dizer, portanto, que 100 mm podem ser pouco em um mês, mas é muito em um dia ou numa hora. Como a ocorrência da precipitação é um processo aleatório, o tratamento dos dados na maioria das vezes é estatístico.

O objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitação ao longo dos anos. A partir da obtenção de séries históricas de chuva numa dada região, pôde-se estabelecer correlações entre disponibilidade e demanda, por exemplo, para o dimensionamento de obras hidráulicas, reservatórios de acumulação ou armazenamento de água.

Para os estudos de precipitação em geral são utilizados os pluviômetros isolados ou em redes. Eles são projetados para obter medidas diárias ou de períodos mais longos de tempo, ou seja, em intervalos podendo ser regulares ou irregulares (totalizador). Os pluviômetros totalizadores medem as chuvas acumuladas, caídas em certo intervalo de tempo conhecido. Os pluviômetros podem ser de diferentes materiais e com diferentes aberturas e volumes. A seleção de um pluviômetro deve considerar os seguintes aspectos: os objetivos da pesquisa ou estudo, a capacidade necessária, o tipo de precipitação, os problemas de evaporação e geadas, a freqüência de observações.

A precipitação é um dos fatores hídricos mais importantes. A exatidão dos cálculos sobre o balanço hídrico e sua relação com outras características hidrológicas (escoamento superficial e subterrâneo, evaporação, erosão do solo, etc.) dependerá do conhecimento mais ou menos preciso do volume caído, tipo de precipitação (chuva, orvalho, neve, granizo), origem (convecção, orográfica, ciclônica) e sua distribuição no tempo e no espaço.

Origem das precipitações

A origem das precipitações está ligada ao crescimento das gotículas das nuvens. Para que as gotas de água precipitem é preciso que elas tenham um volume tal que seu peso seja superior às forças que as mantêm em suspensão, resultando numa velocidade de queda maior do que as componentes verticais ascendentes dos movimentos atmosféricos. Dependendo do mecanismo principal pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, as precipitações podem ser classificadas em:

- **Convectivas:** características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão (tempestades violentas). Geralmente são chuvas de grande

intensidade e de pequena duração, restritas a pequenas áreas. Estas precipitações podem provocar fortes inundações em pequenas bacias.

- **Orográficas:** são chuvas de pequena intensidade e de grande duração e cobrem pequenas áreas. Geralmente são provocadas quando ventos quentes e úmidos soprando geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa.

- **Frontais ou ciclônicas:** são chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. Estas precipitações podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica e podem produzir inundações em grandes áreas. Resultam da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar mais quente e úmido é impulsionado para cima, resultando em seu resfriamento e na condensação do vapor de água, produzindo chuvas.

Novos Conceitos para Aproveitamento de Água de Chuva

Coleta e aproveitamento de água de chuva pelo mundo

Novos conceitos para o gerenciamento de água de chuva, seja em áreas urbanas ou rurais, estão surgindo praticamente em todas as partes do mundo. A escassez, a perda da qualidade dos mananciais pela crescente poluição, associadas a serviços de abastecimento públicos ineficientes, são fatores que têm despertado diversos setores da sociedade para a necessidade da conservação da água. Entre estas práticas está o aproveitamento da água da chuva.

O manejo e o aproveitamento da água de chuva tem sido uma prática exercida por diferentes civilizações e culturas ao longo do tempo. Passando pelo Oriente, Oriente Médio, Europa, e pelos Incas, Maias e Astecas na América Latina, relatos de dispositivos de coleta e armazenamento de água de chuva remontam a sistemas construídos e operados há mais de 2.000 anos. Países como a China, Índia, Sri Lanka, já se utilizavam da água da chuva para diferentes usos. Dillaha e Zolan (1985) relatam a existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva há 2.000 anos, no deserto de Negev, atualmente território de Israel. No período romano, esta prática também já era conhecida e utilizada em diversas regiões como na ilha da Sardenha e no norte da África. As vilas romanas

coletavam água da chuva das casas como fonte de água para beber e para uso doméstico (RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002). A Figura 3.2 mostra a foto do Abanbar, tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário do Irã.



Figura 3.2 Foto do Abanbar, tradicional sistema de captação de água comunitário do Irã. Fonte: Gnadlinger, 2005.

Estas práticas, como um conjunto de outras, pouco a pouco foram sendo substituídas e esquecidas pela população. Na medida em que novos e mais modernos sistemas de abastecimento público foram sendo disponibilizados, estas práticas de coleta e aproveitamento da água de chuva perderam força. Novas tecnologias para construção de barragens ou a implantação de sistemas de abastecimento contribuíram fortemente para o relativo abandono destas técnicas tradicionais.

A água da chuva faz parte atualmente da gestão urbana dos recursos hídricos. Vários países da Europa, Ásia, Oceania e da América utilizam água da chuva em residências, indústrias, comércios e irrigação de agriculturas. A literatura técnica internacional tem mostrado a ênfase de muitos países desenvolvidos em programas e pesquisas visando o melhor aproveitamento da água da chuva. Estes trabalhos apresentam experiências na Alemanha, Reino Unido, Japão, Singapura, Hong Kong, China, Indonésia, Tailândia, Índia, Austrália, EUA e muitos outros, além de alguns países da África.

Em muitos países, o armazenamento da água da chuva inicialmente objetivou a sua retenção na parcela, para controle de cheias e inundações, ou para mitigar a falta de um abastecimento regular de água; e

posteriormente seu uso foi sendo estendido para os mais diversos fins. Este é o caso do Japão onde em muitas cidades se pratica o aproveitamento da água da chuva em larga escala. Exemplos como os estádios e os gigantescos domos de ginásios com áreas de captação da ordem de milhares de m², utilizam esta água para descarga de sanitários e no sistema de ar condicionado (ZAIZEN *et al.*, 1999). Nesta mesma direção são os sistemas utilizados em Berlim, na Alemanha, onde o aproveitamento da água da chuva captada em praças e grandes edifícios é destinada a recompor a paisagem urbana, alimenta lagos artificiais resultando em melhora do micro clima local, além de ser usada nos edifícios para descarga de sanitários.

Kenyon (1929 apud MYERS, 1967) relata estudos sobre o aproveitamento de água de chuva através de cisternas para um sistema de armazenamento de água de chuva para consumo humano e animal em uma região com precipitação média anual de 350 mm. Dixon *et al.* (1999) identificaram que a utilização da água da chuva possui uma longa história e foi difundida mundialmente. Os autores apontam que atualmente muitas sociedades aplicam como uma importante fonte de água para irrigação e mais recentemente para suprir demandas de vasos sanitários e lavagem de roupa.

Procedente do Japão, o “Raindrops Group” edita um manual, que foi traduzido para o português: “Aproveitamento da Água da Chuva”. Neste país, dado as condições específicas de urbanização e de território, a coleta da água da chuva é uma prática corrente e muito difundida. A cidade de Tóquio em particular, por estar distante 190 km de seu ponto de captação, utiliza esta fonte alternativa. Segundo este manual, havia nas antigas comunidades japonesas, recipientes para coletar a água da chuva. A água da chuva coletada era geralmente armazenada em reservatórios que podiam ser tanto individuais como comunitários. Estes últimos denominados de “Tensuison” que significa, “respeito à abençoada água da chuva”, eram colocados apoiados no chão e a água armazenada era usada para irrigação de plantas e, em emergências, para combater incêndios e como alternativa nas estiagens. Eram equipados com bombas manuais e torneiras para que a água ficasse disponível para qualquer pessoa. A água excedente era direcionada para canais de infiltração, garantindo assim a recarga de aquíferos e evitando enchentes. Zaizen *et al.* (1999) descrevem a utilização da água da chuva em estádios visando a descarga de vasos sanitários e a rega de plantas. Exemplos são citados como os estádios de Tóquio, Nagoya e Fukuoka, com áreas de captação

de 16, 26 e 35 mil m² e reservatórios de armazenamento com capacidade de 1.000, 1.800 e 1.500 m³, respectivamente.

Estudos provenientes da Austrália denotam que os sistemas de aproveitamento da água de chuva proporcionam uma economia no consumo de água nas residências de 45% e até 60% na agricultura (HEYWORTH *et al.*, 1998). Este mesmo estudo mostra que no sul da Austrália, 82% da população rural utilizam a água da chuva como fonte primária de abastecimento, enquanto que apenas 28% da população urbana o fazem. Da análise da literatura disponível identifica-se, e alguns autores corroboram esta perspectiva que em muitos países existem incentivos financeiros para a construção e instalação de sistemas de coleta e aproveitamento da água da chuva. Tomaz (2003) cita o caso de Hamburgo na Alemanha onde se concede ajuda de US\$ 1.500,00 a 2.000,00 para quem utiliza água de chuva. Este incentivo apresenta como retorno ao poder público o controle dos picos de cheia durante períodos chuvosos. Fewkes (1999) em estudo realizado no Reino Unido sobre a utilização de água da chuva em descargas de vasos sanitários, relata que este uso é incentivado, uma vez que 30% do consumo de água nas residências é gasto nesta função.

Atualmente, algumas cidades, estados e países têm adotado legislação específica para a conservação da água, particularmente o reúso em grandes edificações e o aproveitamento da água da chuva. Exemplos notórios são as cidades de Tóquio, Berlim, Sidney, entre outras, estados como Califórnia, Flórida e Texas nos EUA ou ainda países como Austrália, Alemanha, Reino Unido e outros. Estes componentes, muitas vezes têm caráter de guia ou manuais, sendo disponibilizados para toda a sociedade e são apoiados em programas oficiais dos órgãos da administração pública local ou regional.

Percebe-se atualmente que diferentes setores da sociedade passam a ver o aproveitamento da água da chuva como rentável. Assim, indústrias, instituições de ensino, estádios, e até mesmo estabelecimentos comerciais como empresas de lavagem de carros, empresas de ônibus, supermercados, empresas de limpeza pública, buscam utilizar água da chuva visando o retorno na economia de água consumida, e ainda no apelo de 'marketing', uma vez que estas práticas

se inserem nos conceitos de empresas com responsabilidade social e ambiental ou ecológicas. Neste contexto, alguns destes estabelecimentos são bastante “ecoeficientes” promovendo a redução do consumo de água potável, diminuindo o volume de água nas galerias pluviais e a contaminação das águas de escoamento superficial.

Experiências no Brasil

Diferentemente de outros países e culturas, o aproveitamento da água de chuva no Brasil não acompanha o desenvolvimento do país, e só nas últimas décadas que esta prática tem ganhado destaque, principalmente na região do semi-árido nordestino. Mesmo considerando que os portugueses quando aqui chegaram já conhecessem técnicas de coleta e aproveitamento da água de chuva, dado sua proximidade com a península Ibérica e viagens aos países do Norte da África, com sua condição climática de extremo calor e baixa pluviometria. A não utilização desta tecnologia, talvez se deva a abundância de água encontrada principalmente em se considerando a ocupação litorânea do território, quase todo inscrito sobre o ecossistema da Mata Atlântica, e, portanto, de florestas ombrófilas úmidas, no qual a média de precipitação varia entre 2.000 a 2.500 mm/ano.

Ao se ampliar o recorte para todo o território brasileiro, identifica-se um significativo volume de chuvas que pode variar de 3.000 mm/ano na Amazônia e 1.300 mm/ano na região central do país, e isso se caracteriza pelo predomínio dos climas equatorial e tropical. Já no sertão nordestino este índice varia entre 250 mm/ano a 600 mm/ano (TOMAZ, 2003).

O primeiro relato de aproveitamento da água de chuva é provavelmente o da Ilha Fernando de Noronha. Este sistema foi construído pelo exército norte-americano em 1943. Mesmo atualmente a água da chuva é utilizada para o abastecimento da população. Mas foi apenas nas últimas décadas do século passado que a utilização da água da chuva passou a fazer parte de programas governamentais e de organizações não governamentais, como as religiosas, particularmente no nordeste brasileiro inscrito na região do semi-árido. Um destes esforços foi a criação em 1975 do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido (CPTASA), que tinha entre seus objetivos a coleta da água de chuva e a construção de cisternas para

armazenamento da água para posterior consumo. Dentre outros usos o sistema de aproveitamento de água da chuva proposto para o semi-árido é simples e consiste em aproveitar telhados das casas como área de captação para armazenar a água da chuva em cisternas, conforme a Figura 3.3.



Figura 3.3 Cisterna no semi-árido brasileiro. Fonte: ABCMAC, 2006.

Alguma destas experiências tem sido financiada e incentivada por Organizações Não Governamentais, ONGs, muitas delas em parceria com o governo. Exemplo disto é o trabalho desenvolvido pelo Cáritas, instituição de assistência social de âmbito internacional e criada no Brasil em 1957. Atualmente esta organização do 3º setor desenvolve projetos tais como o “Programa de Convivência com o Semi Árido”, orientando e incentivando a construção de cisternas para o armazenamento da água de chuva. Segundo relatos da EMBRAPA, mais de 50.000 cisternas foram construídas no semi-árido brasileiro nestes últimos anos (PORTO *et al.*, 1999).

Mais recentemente, o governo federal instituiu o programa 1 milhão de cisternas (P1MC) para o semi-árido, com o financiamento destas através de órgãos governamentais como o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) que viabilizou em 2004 a construção de 30 mil cisternas na região do semi-árido, destinando investimentos na ordem de R\$ 45,8 milhões para o programa. No mesmo período, o MDS contratou a construção de outras 20 mil unidades. Para 2005, o Ministério trabalhou com a construção de 50 mil novas cisternas, com investimentos de R\$ 77,4 milhões (MDS, 2006).

Por outro lado, em muitas cidades brasileiras a exemplo de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, tem sido adotadas legislações específicas sobre a coleta da água da chuva, visando à redução de enchentes. Nestas cidades, alguns novos empreendimentos passaram a ser obrigados a coletar a água da chuva, não apenas para reduzir o ‘pico de cheias’ como também visando sua utilização para fins não potáveis. Alguns estudos apontam para diferentes experiências com a finalidade de aproveitamento a água de chuva, seja em lavanderias industriais, indústrias e outras atividades comerciais (SICKERMANN, 2003). Além disso, ressalta-se no panorama nacional o 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de Chuva realizado em Teresina/PI em julho de 2005 (ABCMAC, 2005).

Mais do que uma tendência isolada, a utilização da água de chuva vem sendo considerada como uma fonte alternativa de água, para fins potáveis ou não potáveis, dependendo da necessidade e da qualidade desta. Pode-se inserir atualmente o aproveitamento da água da chuva nos sistemas de gestão integrada de águas urbanas. A utilização da água da chuva, por depender de condições locais e visando seu aproveitamento no próprio local de captação, se insere no conceito de sistemas de saneamento descentralizado, nos quais sua gestão é compartilhada com o usuário.

Sistemas de aproveitamento de água de chuva

Um sistema de aproveitamento da água da chuva, portanto, possui características próprias e individualizadas e atende ao princípio do saneamento ecológico, sendo na essência independente de um sistema centralizado. Quando se utiliza deste, está se promovendo auto-suficiência e ainda se contribui para a conservação da água.

Coletar água de chuva não é apenas conservar a água, mas também a energia, considerando o consumo necessário para a operação de uma estação de tratamento de água, o bombeamento e as operações correlatas de distribuição entre reservatórios. Estudos mostram que o custo energético tem se constituído num montante aproximado de 25% a 45% do custo total de operações de sistemas de abastecimento de água. Por outro lado ainda, o aproveitamento da água da chuva reduz a erosão local e as enchentes causadas pela impermeabilização de áreas como

coberturas, telhados e pátios, captando-a e armazenando-a.

Desta maneira, a água de chuva que escoaria e poderia causar uma enchente, com todo o risco de contaminação dos corpos d'água, está disponível para diferentes usos.

Pode-se dizer que um sistema de aproveitamento de água de chuva é um sistema descentralizado e alternativo de suprimento de água visando entre outros a conservação dos recursos hídricos reduzindo a demanda e o consumo de água potável.

Qualidade das Águas de Chuva

Qualidade da água de chuva atmosférica

A qualidade da água da chuva deve ser considerada nos três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de água da chuva, qual seja: a chuva atmosférica, a chuva após passagem pela área de captação e na cisterna ou reservatório de armazenamento. Para cada nível, a qualidade estará associada a fatores ambientais, tipo e condição da área de captação, material da cisterna e condições de manutenção desta última, minimamente.

Como foi visto, portanto, a qualidade do ar interfere na qualidade da água da chuva, dependendo das atividades desenvolvidas na região de influencia do projeto, sejam elas industriais, agrícolas, de mineração, de construção civil, ou ainda por fontes móveis, como veículos.

Além destes elementos, a própria utilização de superfícies para a coleta da água também altera as características naturais da mesma. Fenômenos de deposição seca dos compostos presentes na atmosfera são devidos a sedimentação gravitacional e interceptação de particulados ou ainda da absorção de gases por superfícies. Este é o caso dos períodos de estiagem. Assim, a qualidade da água da chuva, na maioria das vezes, diminui ao passar pela superfície de captação, o que leva a recomendação de descartar a água da primeira chuva, como será visto neste capítulo. Frequentemente, a contaminação da água pode se dar por fezes de pássaros e de

pequenos animais, ou por óleo combustível, no caso de superfície de captação no solo.

Por outro lado, o tipo de material utilizado para a cobertura das edificações pode interferir na qualidade da água da chuva. Preferencialmente, este revestimento não deve reter sujeira, não deve promover o crescimento de bactérias e parasitas e não ser decomponível. A literatura aponta em relação ao aspecto bacteriológico, que se deva dar preferência a telhados metálicos, seguidos pelos de plástico, e por ultimo os de cerâmica. A tabela 3.1 detalha alguns resultados sobre a qualidade da água da chuva atmosférica.

Deste modo, definir o uso que será dado à água da chuva, vai depender da qualidade da mesma. Em situações na qual esta será utilizada para fins potáveis, como em regiões de escassez de água, recomenda-se que a mesma passe por um processo de desinfecção por cloro ou mesmo por radiação ultravioleta.

Tabela 3.1 Comparação das concentrações de chuva atmosférica com dados da literatura. Fonte: Vázquez, 2003 - local: Galicia, Noroeste da Espanha

| Autores | Local da pesquisa | Parâmetros | | | |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| | | pH | Turbidez (NTU) | Cor (uC) | Dureza (mg/L) |
| Appan (1999) | Singapura | 4,1 | 4,6 | 8,7 | 0,1 |
| Pinheiro <i>et al.</i> (2005) | Blumenau, (SC) | 5,3 | 1,8 | - | 24,0 |
| PROSAB 4, Tema 5 | Vitória, (ES) | 6,1 | 0,9 | - | 8,4 |
| | Florianópolis, (SC) | 5,9 | 1,5 | 3,3 | 7,6 |
| (cont.) | | | | | |
| Autores | Local da pesquisa | Parâmetros | | | |
| | | Cloretos (mg/L) | Sulfato (mg/L) | N. Amoniacal (mg/L) | Coliformes Fecais (NMP/100mL) |
| Appan (1999) | Singapura | - | - | - | 6,7 |
| Pinheiro <i>et al.</i> (2005) | Blumenau, (SC) | 5,1 | - | - | - |
| PROSAB 4, Tema 5 | Vitória, (ES) | 4,1 | 3,9 | 0,5 | - |
| | Florianópolis, (SC) | 0,6 | 2,5 | 0,7 | 5,1 |

De maneira geral, e principalmente nas áreas urbanas, deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como lavagem de roupas, descarga de sanitários, rega de jardins, lavagem de pisos e automóveis, podendo inclusive ser aproveitada pela indústria.

De acordo com os dados encontrados na literatura e os decorrentes

desta pesquisa, a água da chuva caracteriza-se por apresentar baixos valores para a dureza, o que representa uma grande potencialidade de uso desta água para lavagem de roupas e em processos industriais, como por exemplo, nas torres de resfriamento.

Requerimentos de Qualidade Associados a Diferentes Usos

Até o presente momento, não existem no Brasil, normas técnicas para o aproveitamento da água da chuva, seja para fins potáveis ou não potáveis. No entanto, alguns estados e municípios brasileiros já instituíram legislações específicas sobre a coleta da água da chuva com o objetivo de controlar enchentes, conservar a água e fazer o uso racional da mesma. A tabela 3.2 apresenta algumas destas legislações e seus respectivos aplicativos.

Parâmetros de qualidade

Para que se possa fazer o aproveitamento seguro da água da chuva, é necessário estabelecer os padrões de qualidade que a mesma deve atender, sendo que estes devem estar de acordo com os usos que se pretende fazer da mesma.

Na ausência de uma legislação específica para o aproveitamento da água da chuva de maneira a estabelecer os padrões de qualidade que esta água deva atender em função dos diferentes usos, torna-se necessário adotar, mesmo em caráter temporário, a legislação disponível atualmente.

A legislação federal brasileira estabelece padrões de qualidade para a água tratada e destinada ao consumo humano, através da Portaria N° 518/04 do Ministério da Saúde (MS). Dois outros instrumentos legais podem servir de base para esta avaliação, quais sejam a Resoluções do CONAMA de N° 357/05 que estabelece os padrões de qualidade para corpos d'água e a de N° 274/00, a qual define os padrões de balneabilidade. Além destes instrumentos legais, pode-se ainda tomar como referência outro dispositivo normativo como a NBR 13.969/97 da ABNT.

Tabela 3.2 Requerimentos de Qualidade da Água no Brasil

| Parâmetros | Unidade | Portaria | Resolução CONAMA 357 – Classes dos corpos hídricos | | | | | Resolução CONAMA 274 – Balneabilidade | | |
|----------------------|------------|-----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|--------------|--|
| | | MS 518/97 | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Excelente | Muito Boa | Satisfatória | |
| Alcalinidade | mg/L | | | | | | | | | |
| Cloretos | mg/L | 250 | 250 | 250 | | | | | | |
| Cloro | mg/L | | | | | | | | | |
| E. Coli | NMP/100 ml | Ausente | | | | | ≤ 200 | ≤ 400 | ≤ 800 | |
| Coli Fecais | NMP/100 ml | | | | | | ≤ 250 | ≤ 500 | ≤ 1000 | |
| Coli Totais | NMP/100 ml | Ausente | | | | | | | | |
| Coli Termotolerantes | NMP/100 ml | | 200 | 1000 | 4000 | | | | | |
| Cor Aparente | uH | 15 | | | | | | | | |
| Cor Verdadeira | uH | | | 75 | 75 | | | | | |
| DBO | mg/L | | 3 | 5 | 10 | | | | | |
| DQO | mg/L | | | | | | | | | |
| Dureza | mg/L | | | | | | | | | |
| Fósforo Total | mg/L | | 0,025 | 0,05 | 0,075 | | | | | |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/L | | 3,7 | 3,7 | 13,3 | | | | | |
| Nitrato | mg/L | 10 | 10 | 10 | 10 | | | | | |
| Nitrito | mg/L | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| Nitrogênio Total | mg/L | | | | | | | | | |
| OD | mg/L | | ≥ 6 | ≥ 5 | ≥ 4 | ≥ 2 | | | | |
| Óleos e Graxas | mg/L | | | | | | | | | |
| pH | - | 6,0 - 9,5 | 6,0 - 9,0 | 6,0 - 9,0 | 6,0 - 9,0 | 6,0 - 9,0 | 6,0 - 9,0 | | | |
| Sulfato | mg/L | 250 | 250 | 250 | 250 | | | | | |
| Surfactantes | mg/L | | | | | | | | | |
| SST | mg/L | | | | | | | | | |
| SDT | mg/L | 1000 | 500 | 500 | 500 | | | | | |
| Turbidez | UNT | 5 | 40 | 100 | 100 | | | | | |

A utilização da água da chuva requer um controle de sua qualidade e a verificação da necessidade de tratamento, a fim de propiciar segurança à saúde do usuário e o não comprometimento da vida útil dos componentes do sistema de aproveitamento.

Diversos são os fatores que influenciam na qualidade da água da chuva e dentre estes se destacam a localização geográfica (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora. As atividades industriais e de processamento, veículos, a construção civil e pedreiras de maneira geral, liberam substâncias usualmente consideradas poluentes do ar com compostos de enxofre e nitrogênio, compostos orgânicos de carbono, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados e material particulado.

Em regiões próximas aos oceanos existe uma maior probabilidade de se encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva; já em regiões com grandes áreas não pavimentadas, estarão presentes na chuva atmosférica partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro, além de componentes de origem biológica, como nitrogênio, fósforo e enxofre.

A chuva atua na dispersão dos poluentes, posto que ao lavar a atmosfera, sedimenta o material particulado e auxilia na dissolução dos gases. Ela funciona também como agente agregador, capturando os particulados, que agem como núcleos de condensação ou são englobados pelas gotas de nuvens, que ao se colidirem aumentarão de dimensão, até precipitarem. A este processo de remoção dos poluentes por carreamento denomina-se deposição úmida (DANNI-OLIVEIRA e BAKONYI, 2003).

Ao promover a limpeza da atmosfera, a chuva traz consigo os contaminantes presentes na mesma e dependendo da sua natureza e concentração pode afetar as características naturais da água da chuva. Como exemplo disto, pode-se citar o fenômeno das chuvas ácidas que podem causar efeitos danosos aos rios e lagos, às florestas e vegetação, além dos materiais e estruturas. A

acidificação da chuva está associada, principalmente, a presença de compostos NO_x e SO_2 , provenientes de processos de combustão, que na atmosfera oxidam-se a nitrato e sulfato. Além disso, a radiação solar e as reações desses gases com a água da chuva formam o ácido nítrico e sulfúrico que respondem pela diminuição do pH da água da chuva. Segundo Jaques (2005) mesmo em áreas inalteradas pela ação do homem, o pH encontra-se próximo de 5,0 devido à presença de CO_2 e SO_4 que reagem com a água da chuva formando ácidos que diminuem o pH.

O valor normal do pH da água da chuva pode ser considerado 5,6, dado o equilíbrio com a concentração de CO_2 atmosférico (ANDRADE e SARNO, 1990). No entanto, medidas de precipitação sobre oceanos, em áreas remotas, demonstraram que nestes locais os valores de pH da água da chuva são extremamente ácidos, o que, segundo Tresmondi et al. (2003), não se pode generalizar que um valor de pH inferior a 5,6 seja evidência de atividades antropogênicas. Segundo Seinfeld e Pandis (1998), é razoável considerar a ocorrência da chuva ácida quando o pH for inferior a 5,0. Barcelos e Felizzato (2005) perceberam em seus estudos que a água da chuva bruta é levemente ácida e ao passar pela filtração com areia torna-se mais alcalina.

Na pesquisa realizada pelo PROSAB 4 na cidade de Vitória observou-se que apenas 11% das chuvas foram ácidas, ou seja, apresentaram pH inferior a 5,0. Em estudo semelhante realizado por Queiroz e Tavares (2003) em Ondina, Salvador (BA), verificou-se que, dos valores de pH obtidos, apenas 18% dos eventos chuvosos poderiam ser considerados ácidos. Segundo os autores, uma das explicações para esse baixo índice de chuva ácida é o efeito neutralizador do spray marinho, que contribui para a “limpeza” do ar removendo os n-alcenos, SO_2 , NO_x e HNO_3 , neutralizando parte da acidez da chuva. Pelo fato da região de estudo de Vitória também ser próxima ao oceano, este também pode ser um dos motivos pelo qual ocorreram poucos eventos caracterizados como chuva ácida nesta região.

A Tabela 3.3 mostra alguns resultados de caracterização da chuva atmosférica de Florianópolis (SC) e de Vitória (ES).

Tabela 3.3: Resultados médios \pm desvio padrão da água da chuva atmosférica obtidos no intervalo entre dezembro de 2004 a maio de 2005.

| Parâmetros | Chuva atmosférica de Florianópolis/SC | Chuva atmosférica de Vitória/ES |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Alcalinidade Total (mg/L) | 4,5 \pm 3,1 | 1,8 \pm 1,9 |
| Acidez (mg/L) | 2,7 \pm 4,0 | 3,7 \pm 1,2 |
| Cloretos (mg/L) | 0,6 \pm 1,3 | 4,1 \pm 5,1 |
| Coli Totais (NMP/100 ml) | 1,77E+03 \pm 9,02E+02 | - |
| E. Coli (NMP/100 ml) | 5,68E+00 \pm 1,28E+01 | - |
| Cor Aparente (UC) | 12,8 \pm 10,6 | - |
| Cor Verdadeira (UC) | 4,0 \pm 3,5 | - |
| Dureza (ppm) | 7,3 \pm 3,9 | 8,4 \pm 9,2 |
| DBO (mg/L) | - | 2,7 \pm 1,6 |
| DQO (mg/L) | 7,9 \pm 6,0 | 8,9 \pm 8,0 |
| pH | 5,8 \pm 1,1 | 6,1 \pm 0,9 |
| NTK (mg/L) | 3,4 \pm 2,4 | - |
| N. Amoniacal (mg/L) | 0,7 \pm 0,5 | 0,5 \pm 0,3 |
| Nitrito (mg/L) | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 |
| Nitrato (mg/L) | 0,1 \pm 0,2 | 0,2 \pm 0,2 |
| Turbidez (UNT) | 1,6 \pm 1,4 | 0,9 \pm 1,2 |
| Sulfatos (mg/L) | 0,6 \pm 0,5 | 3,9 \pm 3,3 |
| SST (mg/L) | 1,0 \pm 0,9 | 7,9 \pm 6,8 |
| ST (mg/L) | 31,9 \pm 26,8 | 47,3 \pm 15,2 |
| SV (mg/L) | 21,6 \pm 23,1 | - |

Parte da contaminação da água de chuva se dá após a passagem pela superfície de captação. Rebello (2004) aponta que entre os diversos materiais e substâncias presentes nestas superfícies, podem-se citar: fezes de aves e roedores, artrópodes e outros animais mortos em decomposição, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, fibras de amianto, resíduos de tintas, entre outros que ocasionam tanto a contaminação por compostos químicos quanto por agentes patogênicos. Isso reforça a ação de eliminar-se a primeira água de chuva ou água de descarte.

Na pesquisa realizada pelo PROSAB em Vitória, observou-se um aumento nos valores de pH e de alcalinidade na água da chuva após passar pela superfície de captação, ou seja, após passar pelo telhado. O pH médio da chuva da atmosfera que era de 6,1, foi para 6,8 após passar pelo telhado. Com relação à alcalinidade o aumento, valores médio de 1,8 mg/L da chuva da atmosfera passaram para 18,5 mg/L na chuva do telhado, esse aumento se deve às características do material depositado sobre o telhado durante o período de estiagem, carregado no momento da chuva. May (2004) também detectou o mesmo comportamento com relação ao pH na chuva de São Paulo.

Em seu estudo, as amostras da chuva da atmosfera apresentaram pH médio de 4,9 e as amostras de chuva coletadas do telhado apresentaram uma variação de pH de 5,8 a 7,6. Segundo May (2004), essa variação foi causada pela presença de limo e bactérias na água que passa pelo telhado e pela composição dos materiais da edificação.

A presença de sólidos em suspensão ou dissolvidos na água de chuva, em sua maioria, está associada à presença de poluentes atmosféricos, poeiras e fuligens que entram em contato com a água através da superfície de captação. Segundo Rebello (2004) a cor é determinada por uma alteração na aparência da água provocada pelos sólidos dissolvidos como ocorre, por exemplo, quando existe a decomposição da matéria orgânica no meio líquido. Já a turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva a esta, conferida pelos sólidos em suspensão.

Na 1ª etapa de caracterização da água da chuva na cidade de Vitória, realizada pelo PROSAB comparou-se a qualidade da água da chuva da atmosfera com a água da chuva após passar pela superfície de captação sem receber nenhum tipo de tratamento. As Figuras 3.4 a e b, ilustram alguns dos resultados obtidos nesta etapa de caracterização, onde observam-se os valores médios encontrados para a água da chuva da atmosfera e para a água da chuva do telhado na cidade de Vitória (ES). Para todos os parâmetros descritos nestas figuras, os valores médios encontrados nas amostras da água da chuva coletada do telhado são maiores do que nas amostras da chuva da atmosfera, mostrando com isso que a água da chuva piora sua qualidade ao passar pela superfície de captação, neste caso o telhado.

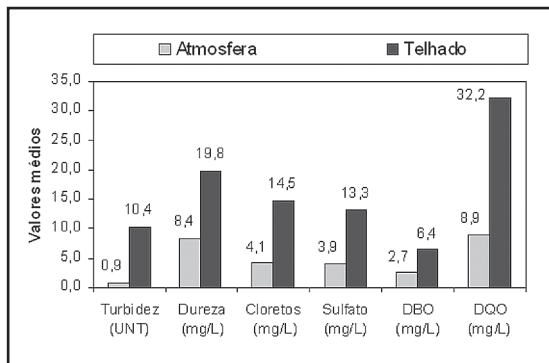


Figura 3.4 a Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado de Vitória (ES) (PROSAB 4).

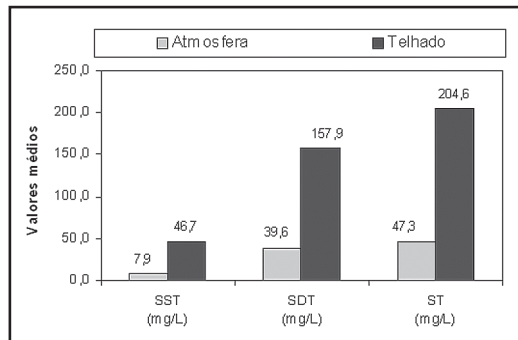


Figura 3.4 b Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado de Vitória (ES) (PROSAB 4).

Ainda com relação à pesquisa realizada em Vitória, com relação às análises microbiológicas, o valor médio obtido nas análises de *E. coli* para a chuva coletada do telhado foi da ordem de 10^1 NMP/100 ml e para coliformes totais o valor máximo obtido nas análises da água da chuva do telhado foi de $1,46 \times 10^2$ NMP/100 ml.

Componentes de um Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva

A utilização dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, além de propiciar a conservação do recurso, possibilita a redução do escoamento superficial diminuindo a carga nos sistemas de coleta pluviais que, conseqüentemente, diminui o risco de inundações. Para isso, é necessário que estes sistemas sejam bem elaborados e executados de forma prática e simples para que o seu funcionamento ocorra de forma eficiente.

Para a coleta da água de chuva são necessários calhas, condutores, dispositivo para descarte da água de lavagem do telhado e a cisterna para sua reservação conforme mostra a Figura 3.5.

De acordo com o manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005), a metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água de chuva envolve as seguintes etapas:

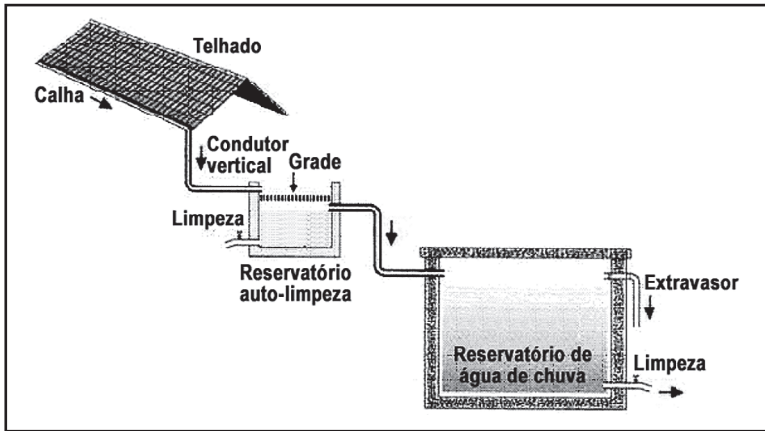


Figura 3.5 Esquema de coleta água de chuva. Fonte: May, 2004.

- Determinação da precipitação média local (mm/mês),
- Determinação da área de coleta,
- Determinação do coeficiente de escoamento,
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, etc.),
- Projeto do reservatório de descarte,
- Escolha do sistema de tratamento necessário,
- Projeto da cisterna,
- Caracterização da qualidade da água pluvial,
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade).

Dentre as possibilidades de coleta da água da chuva, as técnicas mais comuns e utilizadas são através da superfície dos telhados ou das superfícies no solo. O sistema de coleta da chuva através dos telhados é mais simples e quase sempre produz uma água de melhor qualidade.

A qualidade da água da chuva frequentemente supera as das águas superficiais e profundas; ela não entra em contacto com solos e rochas, os quais dissolvem sais e minerais, e não está sujeita a tantos poluentes como as águas superficiais, os quais podem contaminar as águas subterrâneas. Entretanto a qualidade da água da chuva pode ser influenciada pela qualidade do ar do local, seja esta área industrializada ou não. O tipo de telhado também vai influir na qualidade da água da chuva.

Independente do sistema de aproveitamento ser pequeno ou grande, ele é composto por:

- (a) Área de captação/telhado;
- (b) Tubulações para condução da água;
- (c) Telas ou filtros para a remoção de materiais grosseiros, como folhas e galhos;
- (d) Reservatório de armazenamento/cisterna.

Dependendo do uso que será dado à água coletada, pode-se ainda incluir como componentes de um sistema, o tratamento da água (filtração e desinfecção). A Figura 3.6 apresenta esquemas do aproveitamento da água em três configurações distintas: a) telhado; b) área impermeabilizada e c) telhado e pátio.

Ainda, segundo a necessidade ou disponibilidade no mercado, existem diferentes concepções de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Herrmann e Schmida (1999) destacam quatro formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva:

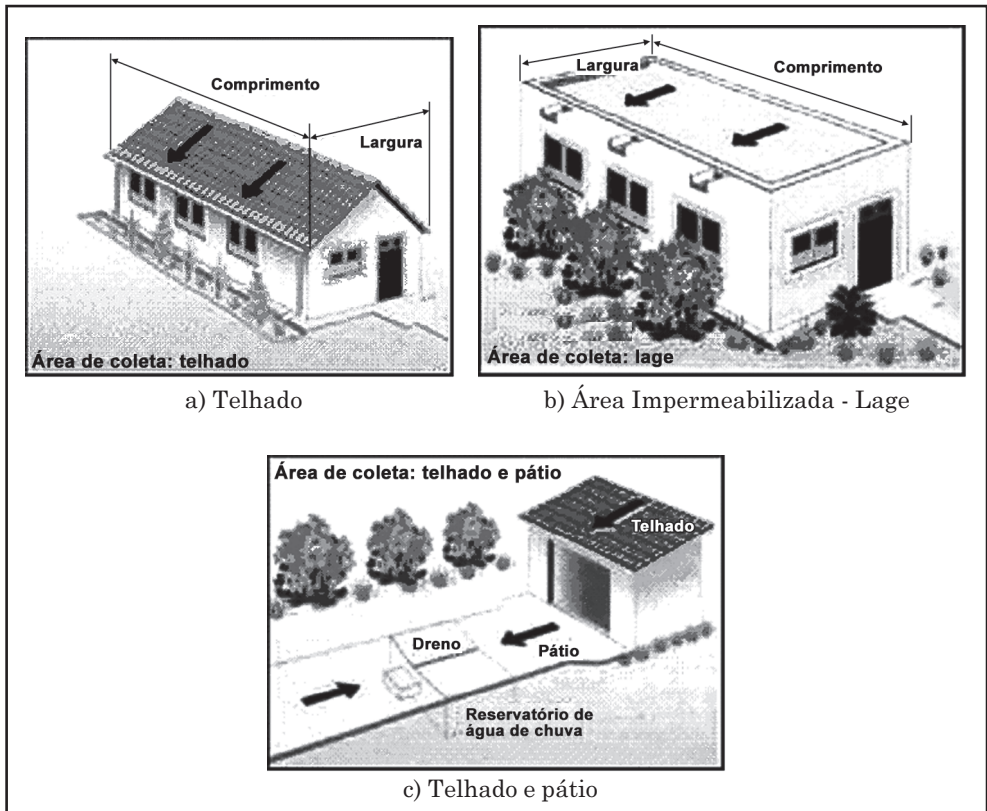


Figura 3.6 Áreas de captação de água de chuva. Fonte: Waterfall, 2002.

- (a) Sistema de fluxo total: toda a chuva coletada pela superfície de captação é dirigida ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou por uma tela. O escoamento para o sistema de drenagem ocorre quando o reservatório está cheio (Figura 3.7a).
- (b) Sistema com derivação: neste caso, uma derivação é instalada na tubulação vertical de descida da água da chuva, com o objetivo de descartar a primeira chuva, direcionando-a ao sistema de drenagem. Este sistema é também denominado de sistema auto-limpante (Figura 3.7b). Em muitos casos instala-se um filtro ou tela na derivação. A água que extravasa do reservatório é encaminhada ao sistema de drenagem.
- (c) Sistema com volume adicional de retenção: o reservatório de armazenamento é capaz de armazenar um volume adicional, garantindo o suprimento da demanda e a retenção de água com o objetivo de evitar inundações. Neste sistema uma válvula regula a saída de água correspondente ao volume adicional de retenção para o sistema de drenagem (Figura 3.7c).
- (d) Sistema com infiltração no solo: o volume de água que extravasa do reservatório é direcionado a um sistema de infiltração no solo (Figura 3.8d). A exemplo dos tipos de sistemas configurados em *a* e *c*, toda a água da chuva coletada é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou tela.

Segundo os autores deste trabalho (HERMANN e SCHMIDA, 1999), os sistemas *a* e *c* são mais eficientes quando se objetiva a retenção do pico de chuva.

Área de captação

Como já foi mostrado anteriormente a área de captação pode ser o telhado ou a superfície do solo. O mais comum é a utilização da captação nos telhados que podem ser de diferentes materiais, como de telha cerâmica, de fibrocimento, de zinco, de aço galvanizado, de plástico, de vidro, de acrílico, ou ainda de concreto armado ou manta asfáltica. Os telhados podem ser inclinados, pouco inclinados ou planos. O tipo de revestimento interfere no sistema de aproveitamento de água de chuva, devendo-se dar preferência, quando for o caso, para os de menor absorção de água, ou seja, as telhas que tenham um

coeficiente de escoamento (C) maior, para minimizar as perdas, uma vez que nem toda água precipitada é coletada. Este escoamento superficial resultante, também conhecido como “coeficiente de Runoff”, é o quociente entre a água que esco superficialmente pelo total da água precipitada. Esta ‘perda’ de água de chuva a ser considerada é devida à limpeza do telhado, à perda por evaporação, às perdas na auto-limpeza, entre outras causas. O coeficiente de escoamento superficial será melhor caracterizado no item sobre dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

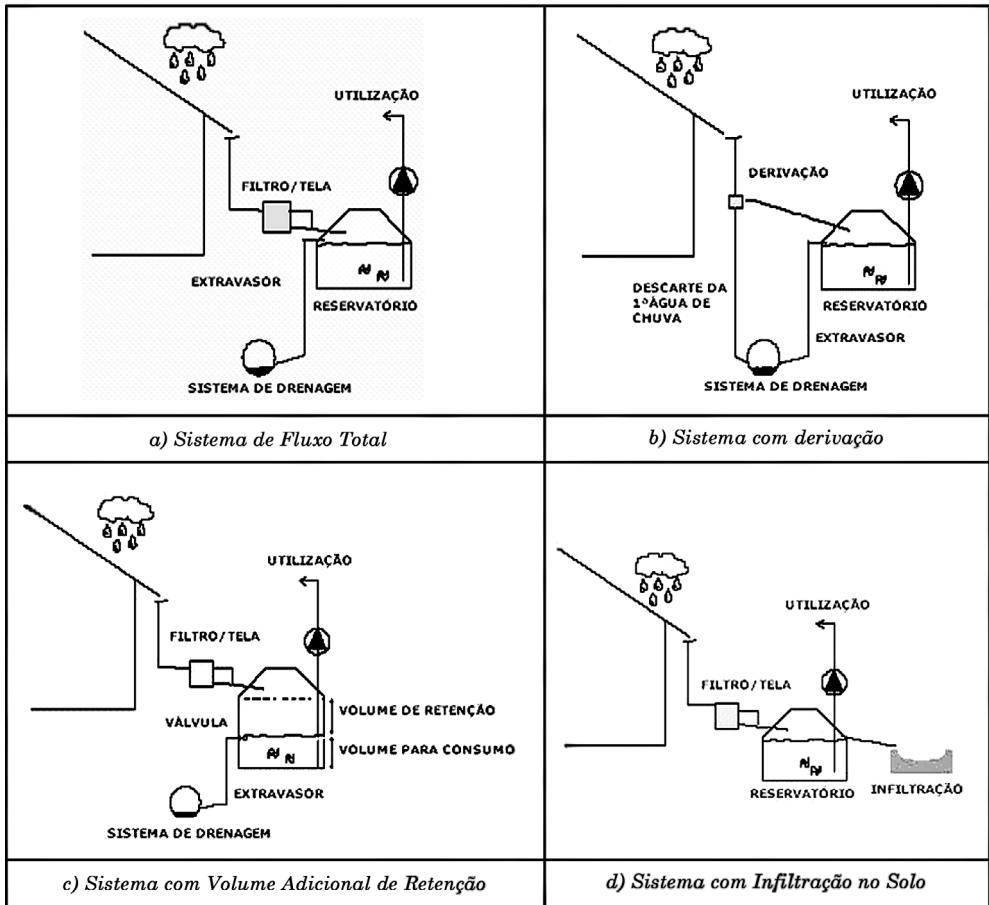


Figura 3.7 Formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva.
 Fonte: Herrmann e Schmida, 1999.

Para a utilização da água de chuva, é necessário que as edificações sejam dotadas de calhas coletoras e condutores verticais para o direcionamento da água da chuva do telhado ao reservatório. O dimensionamento adequado das calhas e condutores verticais, bem com sua instalação, são elementos importantes para o funcionamento de todo o sistema. Pode-se utilizar como referência para o dimensionamento desses componentes a NBR 10.844/89, Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT. As calhas e coletores de águas pluviais podem ser de PVC ou metálicos.

O sistema de coleta através da superfície do solo pode ser empregado em locais e situações com grande área superficial, sendo necessário que as mesmas apresentem uma pequena inclinação, para o escoamento da água. Nestes sistemas é comum a construção de rampas ou canais para direcionar a água da chuva para o reservatório.

Remoção de materiais grosseiros

Independente do sistema adotado para a coleta da água da chuva, deve-se evitar a entrada de folhas, gravetos ou outros materiais grosseiros no interior do reservatório de armazenamento final, uma vez que estes poderão se decompor prejudicando a qualidade da água armazenada. A instalação de telas ou grades é uma maneira bastante simples para a remoção deste tipo de material, conforme pode ser visualizado nas Figuras 3.8a, b e c.

Descarte da primeira água

Inúmeros estudos na literatura técnica têm evidenciado que a primeira chuva ou chuva inicial é mais poluída, por lavar a atmosfera e a superfície de captação, quer sejam telhados ou superfícies do solo. Esta água da chuva inicial pode ser desviada do reservatório de forma manual através do uso de tubulações ou ainda de forma automática através de dispositivos de auto-limpeza.

Segundo o Manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005), o reservatório de descarte destina-se à retenção temporária e posterior descarte da água coletada na fase inicial da precipitação e os volumes descartados são determinados em função da qualidade da água durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após diferentes períodos de estiagem.

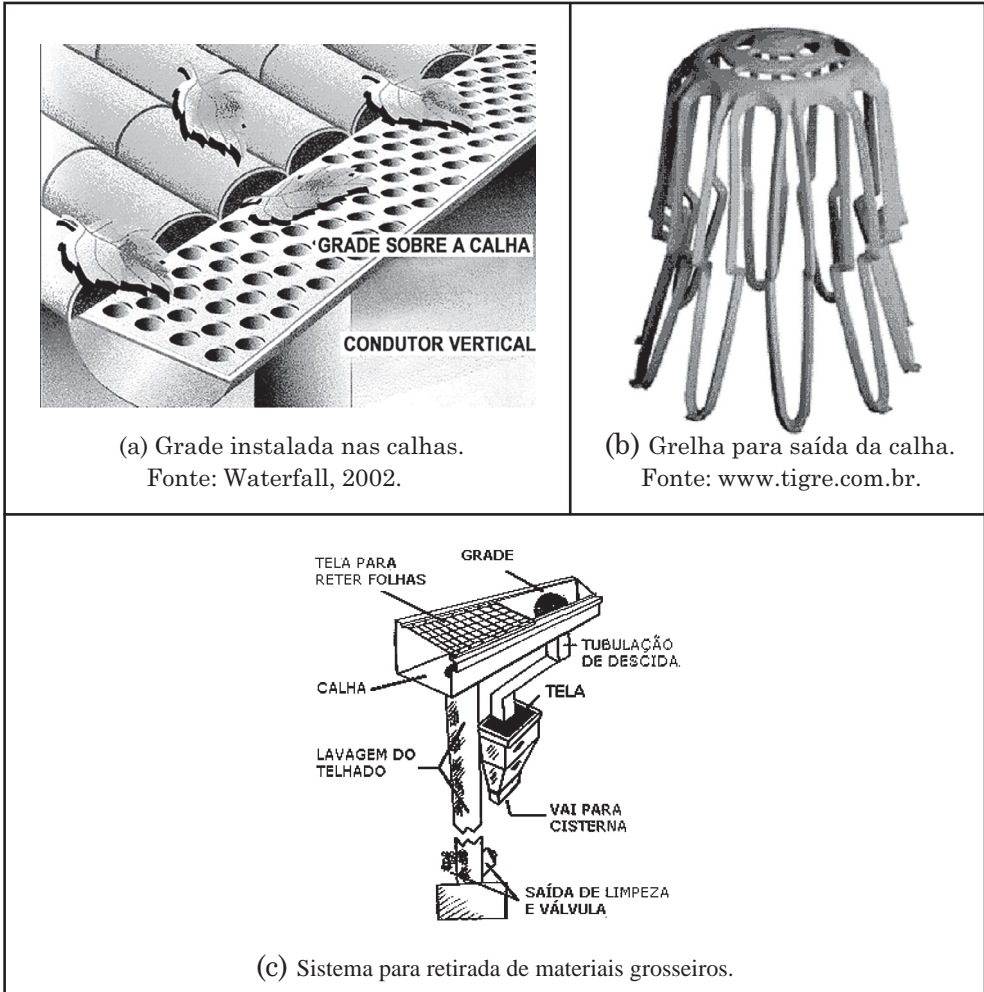


Figura 3.8 Dispositivos para remoção de materiais grosseiros
Fonte: Adaptado de Texas Guide to Rainwater Harvesting, 1997.

Várias técnicas são empregadas para o descarte desta água de lavagem do telhado. No estudo realizado por Dacach (1990), utilizou-se um tonel com capacidade para 50 litros que funcionava da seguinte forma: a água de chuva coletada pelo telhado passava pelas calhas e descia através de um condutor vertical chegando até o tonel que em sua parte inferior localizava-se um pequeno orifício (0,5 cm). Este orifício funcionava como um regulador de vazão, pois à medida que a água de chuva chegava ao tonel era descartada com uma vazão menor que a de entrada, fazendo

com que o nível de água no tonel aumentasse gradativamente chegando até a tubulação do reservatório de água de chuva (Figura 3.9).

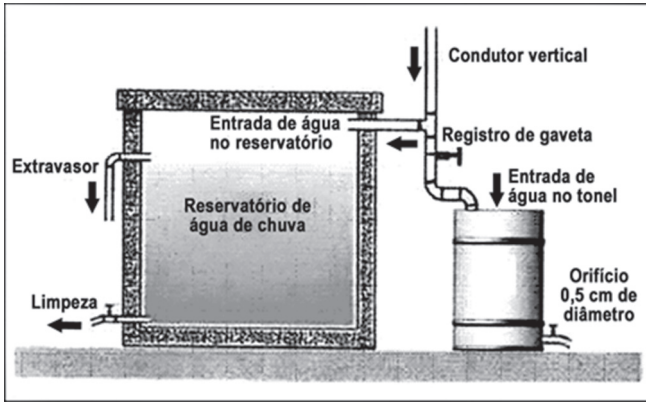


Figura 3.9 Descarte da 1ª água de chuva utilizando tonel. Fonte: Dacach, 1990.

Valle *et al.* (2005) utilizaram uma derivação nos condutores verticais, que encaminha a água para um reservatório (caixa de detenção) com capacidade de 1000 litros e um sistema de descarte de 20 litros da chuva inicial, como mostra a Figura 3.10.

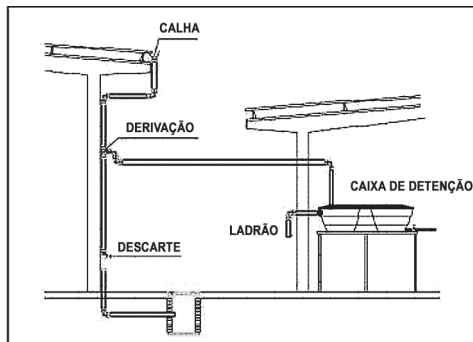


Figura 3.10 Desenho esquemático de aproveitamento de água de chuva.

Fonte: Valle *et al.*, 2005.

Os reservatórios de auto-limpeza com torneira bóia funcionam de forma que, ao chegar a um nível pré-estabelecido, a bóia fecha o condutor encaminhando a água de chuva captada para uma cisterna e retendo a primeira água de chuva em outro reservatório (Figura 3.11). Após o

término da precipitação, o registro deste reservatório deverá ser aberto para que retorne as condições iniciais de funcionamento.

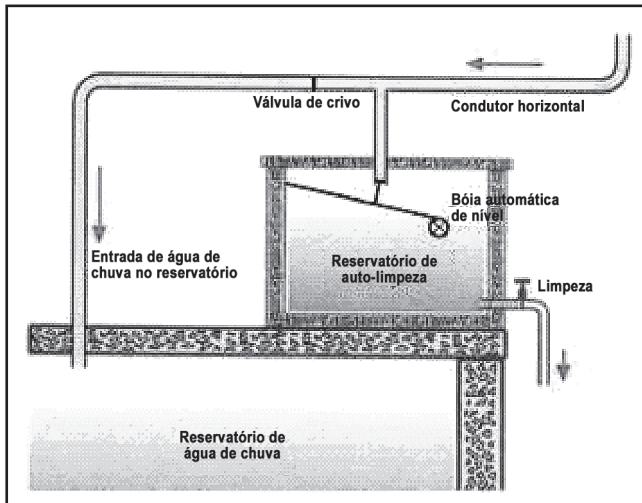


Figura 3.11 Reservatório de auto-limpeza com bóia de nível. Fonte: Dacach, 1990.

Para o dimensionamento do sistema de descarte utiliza-se uma regra prática. Por exemplo, na Flórida (EUA), para cada 100 m² de área de telhado, descarta-se 40 litros, ou seja, 0,4 l/m², entretanto, no Brasil, mais especificamente na região de Guarulhos usa-se 1,0 l/m² ou 1mm de chuva por metro quadrado (TOMAZ, 2003).

Na pesquisa realizada pela UFES na cidade de Vitória estudou-se três volumes de primeira chuva a serem descartados, sendo eles 0,5mm, 1,0mm e 1,5 mm de primeira chuva, caracterizando um volume de descarte pequeno, médio e grande. A água da chuva, após passar por um filtro de tela auto-limpante, era direcionada, primeiramente, ao Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva (REPC), cujo nível era regulado através de uma corda amarrada a uma bola leve, capaz de flutuar (Figura 3.22 d). Na parte superior do REPC instalou-se uma válvula de fechamento e direcionamento de fluxo, a qual era acionada quando a chuva atingia o volume determinado no interior do reservatório. Atendido o volume estabelecido no interior do reservatório, a bola flutuava acionando assim a válvula de fechamento e direcionamento de fluxo, fazendo com que a chuva passasse a seguir para o Reservatório de Armazenamento Final (RAC). Desta forma,

através desta válvula, foi possível garantir que a primeira chuva não entrasse em contato com a chuva mais limpa a ser armazenada no RAF.

Tratamento da água da chuva

Após o descarte da primeira chuva algumas substâncias ainda permanecem na água da chuva onde, em alguns casos, faz-se necessário a utilização de dispositivos para a sua eliminação. De acordo com o Manual da ANA/FIESP & SindusCon (2005), considerando os usos não potáveis mais comuns em edifícios, são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com radiação ultravioleta. Eventualmente podem-se utilizar sistemas mais complexos que proporcionem níveis de qualidade mais elevados. A qualidade da água de chuva pode variar de acordo com o local onde é feita a coleta (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 Variação da qualidade da água da chuva devido à área de coleta.

| Grau de purificação | Área de coleta de chuva | Observações |
|----------------------------|--|--|
| A | Telhados (lugares não ocupados por pessoas e animais) | Se a água for purificada pode ser consumida |
| B | Telhados (lugares freqüentados por pessoas e animais) | Usos não potáveis |
| C | Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento | Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento |
| D | Estradas | Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento |

Fonte: Group Raindrops (1995).

E segundo o Group Raindrops (1995), deve-se levar em conta estes requisitos de qualidade dependendo das aplicações que se fizer, como observado na Tabela 3.6.

O guia de aproveitamento de água de chuva do Texas, EUA, (Texas Guide to Rainwater Harvesting, 1997), propõe medidas de proteção para o uso da água da chuva antes de seu consumo (Tabela 3.7), sendo que uma filtração e alguma forma de desinfecção é o mínimo necessário quando esta água for utilizada para consumo humano (beber, escovar os dentes, cozinhar).

Tabela 3.6 Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações.

| Uso requerido pela água | Tratamento necessário |
|--|--|
| Irrigação de jardins | Nenhum tratamento |
| Prevenção de incêndio, condicionamento de ar | Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso |
| Fontes e lagoas, descargas de banheiros, lavação de roupas e lavação de carros | Tratamento higiênico, devido o possível contato do corpo humano com a água |
| Piscina/banho, consumo humano e no preparo de alimentos | Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente |

Fonte: Group Raindrops (1995).

Tabela 3.7 Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.

| Técnicas de tratamento | | |
|------------------------------------|---|---|
| Método | Local | Resultado |
| Telas e grades | Calhas e tubo de queda | Previne entrada de folhas e galhos no sistema |
| Sedimentação | No reservatório | Sedimenta matéria particulada |
| Filtração | | |
| Na linha de água | Após bombeamento | Filtra sedimentos |
| Carvão ativado | Na torneira | Remove cloro |
| Osmose reversa | Na torneira | Remove contaminantes |
| Camadas mistas | Tanque separado | Captura material particulado |
| Filtro lento | Tanque separado | Captura material particulado |
| Desinfecção | | |
| Fervura/destilação | Antes do uso | Elimina microorganismos |
| Tratamento químico (cloro ou iodo) | No reservatório ou no bombeamento (líquido, tablete/pastilha ou granulado) | Elimina microorganismos |
| Radiação ultravioleta | Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro | Elimina microorganismos |
| | Antes da torneira | Elimina microorganismos |
| Ozonização | | Elimina microorganismos |

Fonte: Texas Guide to Rainwater Harvesting (1997).

No estudo realizado por Barcelos e Felizzato (2005) para aproveitamento de águas atmosféricas para fins não potáveis, foi utilizado um filtro, confeccionado a partir de um tonel de ferro. Este tonel possui um comprimento de 3,66 m e diâmetro de 1,33 m e é preenchido com areia e brita com a finalidade de reter as impurezas. Já a filtração com carvão ativado é mais empregada, quando a finalidade é o uso potável. Neste contexto, Valle et al (2005) utilizaram um filtro composto por uma camada de seixo rolado (camada suporte), 50 cm de areia e carvão ativado.

Segundo Santos (2002), o filtro de areia é uma alternativa ao reservatório de auto-limpeza, pois contribui para remoção de cor e turbidez da água. Já a desinfecção é importante para a remoção dos microorganismos presentes, os quais são oriundos das áreas de captação ou dos próprios reservatórios, que são meios para o desenvolvimento destes microorganismos.

Entretanto, o Group Raindrops (2002) ressalva que, se a água de chuva não for utilizada para fins potáveis como beber, cozinhar e tomar banho, não é necessário a desinfecção da mesma. Este tipo de tratamento aumentaria os custos e exigiria do usuário uma permanente manutenção.

Conforme descrito anteriormente, a eliminação da primeira chuva, também denominada de auto-limpeza constitui um tratamento simplificado a água da chuva que também foi estudado pelo PROSAB em Vitória (UFES). Este estudo foi realizado em três etapas distintas denominadas 2^a, 3^a e 4^a etapas de caracterização, onde verificou-se as mudanças na qualidade da água da chuva após realizar o tratamento simplificado, composto pela remoção de materiais grosseiros e da primeira chuva, no volume de 0,5, 1,0 e 1,5mm, respectivamente. Foram coletadas amostras simples em dois pontos, sendo eles no Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva (REPC), onde todo o volume era coletado e homogeneizado para formar a amostra, e na superfície do Reservatório de Armazenamento Final (RAF).

Nos resultados ilustrados pela Figura 3.12, observou-se que em todas as etapas, a primeira chuva mostrou-se ser mais poluída, apresentado valor máximo de turbidez de até 70 UNT. Verificou-se que a partir da eliminação da primeira chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final é de melhor qualidade, apresentado valor máximo de turbidez de 1,2 UNT, para a chuva do reservatório após eliminar 0,5 mm de primeira chuva.

No tocante aos resultados de cor também observa-se a melhora na qualidade da chuva do reservatório com a eliminação da primeira chuva mais poluída. Verifica-se ainda que aumentando o volume de 1^a chuva eliminada, diminui a concentração da cor na chuva do reservatório, com resultados médios de 2,5, 2,1 e 0,7 uH para as chuvas do reservatório após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente (Figura 3.13).

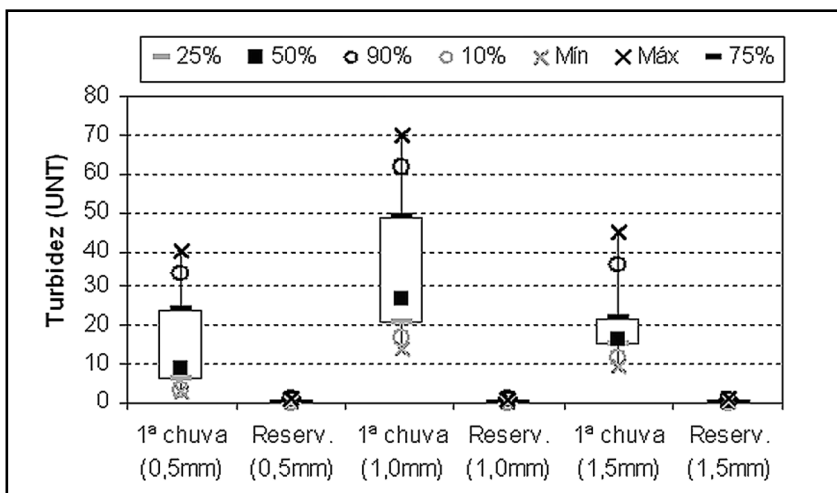


Figura 3.12 Turbidez das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas – UFES

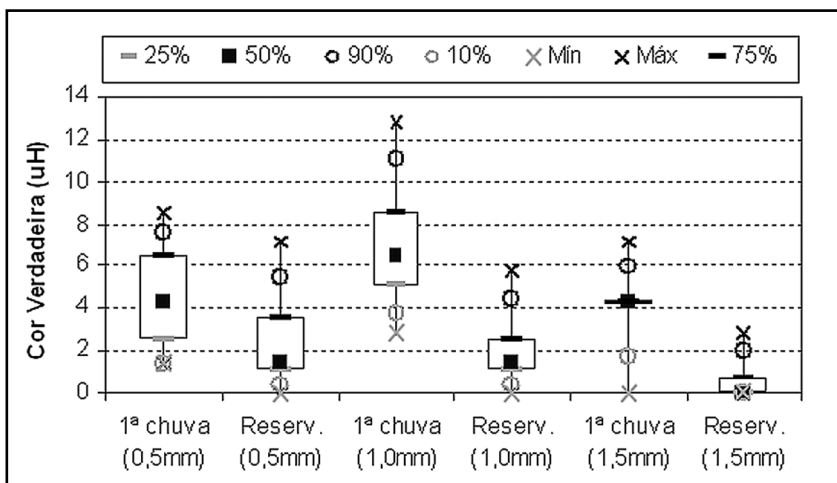


Figura 3.13 Cor verdadeira das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas – UFES

Em diferentes pesquisas publicadas, a água da chuva caracteriza-se por apresentar baixos valores de dureza (THOMAS e REES, 1999). Originariamente descrita como a capacidade da água em precipitar sabão, a dureza é um dos mais analisados parâmetros de qualidade da água. Dureza é a denominação genérica dada à soma das concentrações dos íons polivalente presentes na água, tais como: cálcio, magnésio, ferro, bário, estrôncio, etc.

Águas duras têm um reduzido potencial de formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão e podem provocar incrustações, principalmente, nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. Segundo a classificação corrente utilizada para descrever a dureza gerada por carbonatos e bicarbonatos (cálcio e magnésio), a água da chuva pode ser considerada como muito branda ou branda, conforme sua concentração seja < 15 (mg/L CaCO₃) ou entre 15 e 50 (mg/L CaCO₃), respectivamente.

Na pesquisa realizada na UFES este padrão também pôde ser observado, visto que os valores médios de dureza obtidos para a 1ª chuva foram de 15,0, 26,4 e 8,0 mg/L, enquanto que para a chuva do reservatório, os valores médios obtidos foram bem menores, com concentrações médias de 6,0, 5,2 e 2,0 mg/L, nas 2ª, 3ª e 4ª etapas respectivamente. Constatou-se que a água da chuva apresenta baixa concentração de dureza, ficando bem abaixo do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria N°518/04 do MS, que determina como valor máximo de dureza 500 mg/L para a água destinada ao consumo humano. Confirmando assim que a água da chuva pode ser utilizada para a lavagem de roupas e em processos industriais, como nas torres de resfriamento.

Com relação aos valores de cloretos e sulfato, verificou-se uma ligeira redução das concentrações desses elementos na chuva do reservatório à medida que se aumentou o volume de primeira chuva descartada. Os valores médios de cloretos para a chuva do reservatório foram de 2,4, 1,5 e 1,3 mg/L após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente. Para as análises de sulfato os valores médios encontrados para a chuva do reservatório após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva foram de 2,4, 1,8 e 0,5 mg/L, respectivamente.

As concentrações máximas de fósforo encontradas na água da chuva foram de 0,28 mg/L para a 1ª chuva e 0,14 mg/L para a chuva do reservatório, na etapa de eliminação de apenas 0,5 mm de primeira chuva.

Conforme previsto, foram encontradas bactérias do grupo coliforme na água da chuva coletada do telhado, obtendo-se resultados positivos tanto para *Escherichia coli* quanto para Coliformes totais, isso se deve pela presença de fezes de animais na superfície de captação da chuva.

Em média, os resultados foram da ordem de 10^1 NMP/100 ml para *Escherichia coli*, tanto para a 1ª chuva quanto para a chuva do reservatório. Já para o resultado de Coliformes totais, verifica-se uma diferença mais significativa se comparada a 1ª chuva com a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final, observando-se uma maior redução de coliformes totais após a eliminação de 1,5 mm de primeira chuva, onde a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final apresenta como resultado médio $4,68 \times 10^1$ NMP/100 (Figura 3.14).

Os resultados desta caracterização mostraram que a primeira chuva na cidade de Vitória é mais poluída, concentrando os poluentes presentes na atmosfera e os materiais depositados no telhado durante o período de estiagem. Verificou-se que ao se remover a primeira chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final apresenta qualidade superior se comparada a 1ª chuva.

Nota-se que, ao se aumentar o volume de descarte da primeira chuva, melhora-se a qualidade da chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final. Isso pode ser confirmado pelos resultados ilustrados na Figura 3.15, onde aumentando-se o volume de primeira chuva descartada de 0,5 para 1,5 mm diminui-se a concentração de ST na chuva do reservatório de 62,6 para 15,5 mg/L, respectivamente. Verifica-se uma redução considerável no teor de SST, SDT e ST a partir da eliminação de 1,0 mm de primeira chuva.

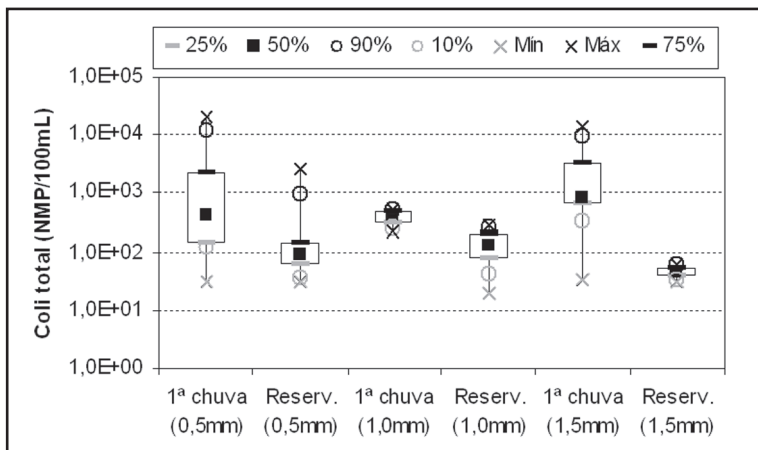


Figura 3.14 Concentração de Coliformes Totais nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas – UFES

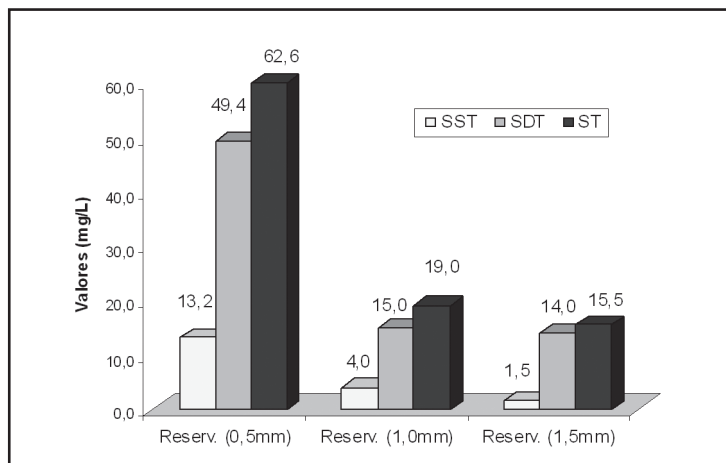


Figura 3.15 Concentração de sólidos nas amostras coletadas nas 2^a, 3^a e 4^a etapas – UFES

Armazenamento e utilização da água da chuva

Após realizado o processo de tratamento da água da chuva, o qual pode ser simplificado como o processo de auto-limpeza ou ainda um processo mais complexo de filtração dependendo do uso previsto para a água, a mesma é direcionada ao reservatório de armazenamento final, também conhecido no Brasil como cisterna.

Os reservatórios de água de chuva podem estar apoiados no solo, enterrados, semi-enterrados ou elevados; ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado, alvenaria, fibra de vidro, aço, polietileno entre outros e ter diversas formas como mostra as Figuras 3.16a a 3.16d.

A escolha do local de instalação do reservatório, do modelo e do material a ser utilizado deve levar em consideração as condições do terreno e da disponibilidade de área. Os reservatórios superficiais devem ser instalados em locais que disponham de área livre, apresentando a vantagem de possibilitar alguns usos sem a necessidade de bombeamento, como para a lavagem de áreas impermeáveis e a rega de jardins.



Figura 3.16 Tipos de Reservatórios ou Cisternas.
 Fonte: Rain Harvesting, 2006 e Ambiente Brasil 2006.

Já os reservatórios semi-enterrados ou enterrados geralmente necessitam de bombeamento, seja ele manual ou mecânico. Em algumas situações, como no nordeste do Brasil, muitas vezes a população utiliza baldes para a retirada da água da cisterna, o que pode levar a contaminação da água em seu interior.

Em situações onde o aproveitamento de água da chuva está sendo estudado e previsto, particularmente no caso de novas edificações, é possível instalar o reservatório logo abaixo do telhado, de maneira a evitar os gastos com o bombeamento da água.

Deve-se tomar algumas precauções em relação ao reservatório de armazenamento, visando a sua manutenção e a garantia da qualidade da água, conforme segue:

- as paredes e a cobertura do reservatório devem ser impermeáveis;
- deve-se evitar a entrada de luz no reservatório para evitar a proliferação de algas;
- a entrada da água no reservatório e o extravasor devem ser protegidos por telas para evitar a entrada de insetos e pequenos animais;
- o reservatório deve ser dotado de uma abertura, também chamada de visita, para inspeção e limpeza;
- a água deve entrar no reservatório de maneira a não provocar turbulência, evitando a resuspensão dos sólidos depositados no fundo do mesmo;
- o reservatório deve ser limpo uma vez por ano para a retirada do lodo depositado no fundo do mesmo.

O reservatório de armazenamento de água de chuva pode funcionar como um decantador, conforme observado na pesquisa realizada pela UFES na cidade de Vitória. Esta etapa foi realizada concomitantemente com as 2^a, 3^a e 4^a etapas de caracterização da água da chuva ao longo do sistema de aproveitamento.

Após sete dias de armazenamento, verificou-se uma redução significativa nos valores de turbidez com o armazenamento a partir da eliminação de 1,0 mm de primeira chuva (Figura 3.17). O mesmo pode ser observado para os resultados de SST, onde em todas as análises realizadas, as concentrações de SST encontrados para a chuva após 7 dias de armazenamento foram iguais a zero (Figura 3.18).

Não foram observadas grandes variações para os demais parâmetros como alcalinidade, dureza, acidez, fósforo e nitrogênio. Observou-se uma pequena redução na concentração da DBO da chuva da superfície do reservatório com o armazenamento da mesma, valores médios de 2,0, 1,2 e 1,3 mg/L, e após o armazenamento passaram para 0,6, 0,2 e 0,6 nas 2^a, 3^a e 4^a etapas, respectivamente. Redução significativa também não foi observada com relação ao parâmetro de Coliformes totais, com resultados médios variando entre 10^1 e 10^2 NMP/100 ml.

Concluiu-se que, o armazenamento proporciona a sedimentação dos sólidos presentes na água da chuva, melhorando a qualidade da mesma em termos físicos, ou seja, o armazenamento da água da chuva por alguns dias proporciona uma separação de fases sólido-líquido, fazendo com que

o reservatório funcione como um decantador. Entretanto, em termos químicos e microbiológicos, não se observou grandes alteração na qualidade da água da chuva com o armazenamento. Desta forma é importante a utilização de “freios-d’água” na entrada do reservatório, com o objetivo de evitar a suspensão dos sólidos sedimentados no fundo do mesmo.

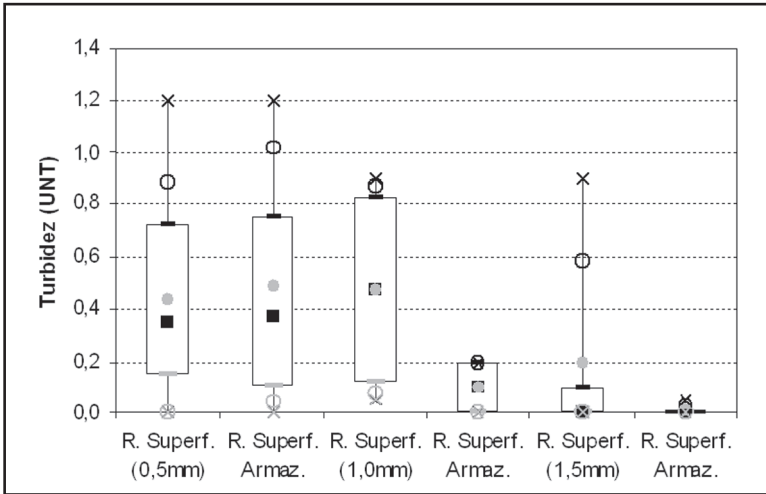


Figura 3.17 Turbidez das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva – UFES

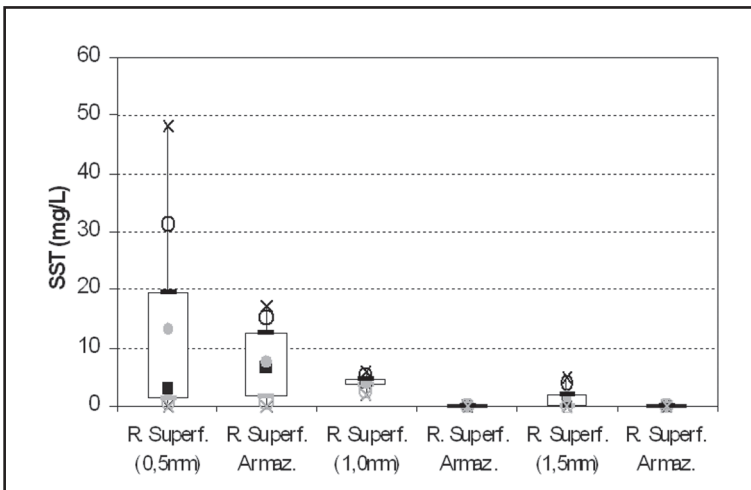


Figura 3.18 Concentração de SST das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva – UFES

Dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva

De maneira geral pode-se dizer que o sucesso ou fracasso de um sistema de aproveitamento de água de chuva depende, em grande parte, da quantidade de água captável do sistema. Essa quantidade varia dependendo de diferentes fatores como a área de captação e o volume de armazenamento de água de chuva, sendo influenciada ainda pelo índice pluviométrico da região e pelo coeficiente de escoamento superficial (C).

Portanto, para realizar o aproveitamento da água da chuva em uma edificação é preciso ter conhecimento sobre estes fatores interferentes no sistema. Assim, quanto maior a área de captação, mais chuva poderá ser coletada. O índice pluviométrico da região mostra a distribuição das chuvas ao longo do ano, e quanto mais regulares, mais confiável será o sistema. Em última análise, o volume do reservatório de armazenamento define a eficiência do sistema: quanto maior o reservatório mais chuva poderá ser armazenada, o que reflete sobre o custo do sistema.

Geralmente, a cisterna/reservatório é o componente mais dispendioso do sistema, por isso seu dimensionamento requer cuidados para não tornar sua implantação inviável. Alguns métodos são utilizados para o dimensionamento do volume de reservação, que levam em conta o regime de precipitação local, como os dias de estiagem e a série histórica de chuvas na região, e a demanda específica que se deseja atender.

Nem todo volume de água de chuva precipitado é aproveitado devido às perdas, como, por exemplo, o descarte da primeira água, a evaporação e a limpeza do telhado. Para justificar estas perdas utiliza-se um valor a partir do quociente entre a água que escoam superficialmente pelo total de água precipitada, chamado de coeficiente de escoamento superficial, e o seu símbolo é representado pela letra **C**. Este coeficiente varia com a inclinação do telhado e com o material da superfície de captação.

Tomaz (2003) pesquisou coeficientes que variaram de 0,67 a 0,90. E para cada tipo de material utilizado no sistema de captação há uma faixa de valores numéricos de **C** correspondentes. A Tabela 3.8 mostra os valores encontrados para **C** de acordo com o material empregado.

Tabela 3.8 Faixa do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de material por diferentes autores.

| Material | Faixa de C | Fonte |
|------------------|-------------|---|
| Telha Cerâmica | 0,80 – 0,90 | Holkes e Fraiser <i>apud</i> Tomaz (2003) |
| | 0,75 – 0,90 | Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999) |
| | 0,56 | Khan <i>apud</i> May (2005) |
| Telha Metálica | 0,70 – 0,90 | Holkes e Fraiser <i>apud</i> Tomaz (2003) |
| | 0,85 | Khan <i>apud</i> May (2005) |
| Telha Esmaltada | 0,80 – 0,90 | Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999) |
| Cobertura de PVC | 0,94 | Khan <i>apud</i> May (2005) |
| Betume | 0,80 – 0,95 | Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999) |
| Telhados Verdes | 0,27 | Khan <i>apud</i> May (2005) |
| Pavimentos | 0,40 – 0,90 | Wilken <i>apud</i> Tomaz (2003) |
| | 0,68 | Khan <i>apud</i> May (2005) |

Pacey *et al.* (1996 *apud* TOMAZ, 2003) apresentam vários coeficientes de escoamento (Tabela 3.9) utilizados por alguns países no dimensionamento de sistemas de água de chuva. Estes autores adotam, como boa estimativa, C igual a 0,80, que significa uma perda de 20% de toda a água precipitada. Tomaz (2003), também salienta que o melhor valor a ser adotado como coeficiente de escoamento superficial para o Brasil é $C=0,80$.

Tabela 3.9 Coeficientes de escoamento superficial adotados para aproveitamento de água de chuva.

| Local | Coefficiente de Escoamento Superficial |
|---------------|--|
| Flórida | 0,67 |
| Alemanha | 0,75 |
| Austrália | 0,80 |
| Ilhas Virgens | 0,85 |

Além destes aspectos, outro fator importante no dimensionamento de um sistema de aproveitamento da água da chuva é a demanda que se pretende atender. A relação direta entre o volume do reservatório e a demanda a ser atendida, implica na necessidade de se estimar o consumo de forma a mais precisa. Existem atualmente diversos estudos que apontam para valores de consumo de água numa residência, podendo ser atendidos com água de chuva. A Tabela 3.10 aponta para as demandas não potáveis em uma residência.

Tabela 3.10 Demanda residencial não potável.

| Demanda Interna | Faixa | Unidade |
|-------------------------------------|--------------|----------------------|
| Vaso Sanitário – Volume | 6 – 15 | L/descarga |
| Vaso Sanitário – Frequência | 4 – 6 | Descarga/hab/dia |
| Máquina de Lavar Roupa – Volume | 100 – 200 | L/ciclo |
| Máquina de Lavar Roupa – Frequência | 0,2 – 0,3 | Carga/hab/dia |
| Demanda Externa | Faixa | Unidade |
| Rega de Jardim – Volume | 2 | L/dia/m ² |
| Rega de Jardim – Frequência | 8 – 12 | Lavagem/mês |
| Lavagem de Carro – Volume | 80 – 150 | L/lavagem/carro |
| Lavagem de Carro – Frequência | 1 – 4 | Lavagem/mês |

Fonte: Tomaz (2000) adaptado.

Modelos de dimensionamento de reservatórios

A eficiência e a confiabilidade dos sistemas de aproveitamento de água de chuva estão ligados diretamente ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, necessitando de um ponto ótimo na combinação do volume de reservação e da demanda a ser atendida, que resulte na maior eficiência, com o menos gasto possível. Segundo Thomas (2004), o custo do reservatório pode variar de 50% a 85% do custo total de um sistema de aproveitamento de água de chuva. Deve-se procura trabalhar com uma margem de segurança que não leve a um super ou sub-dimensionamento do sistema, e esta margem, também conhecida como confiabilidade do sistema, deve ser definida em função do valor que se pretenda investir e com base em estudos de dimensionamento de reservatórios de acumulação de água de chuva.

A literatura apresenta alguns modelos matemáticos que foram desenvolvidos para o dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Appan (1999) cita modelos desenvolvidos com base nos métodos determinístico (HOEY e WEST, 1982), probabilístico (KOK, FONG, MURABAYASHI e LO, 1982) e estocástico (LEUNG e FOX, 1982). Lee *et al.* (2000) utilizaram o conceito probabilístico para determinar o volume do reservatório para um sistema de aproveitamento de água da chuva para irrigação de chá em Taiwan.

Os métodos determinísticos são aqueles que tratam os resultados de forma única, por exemplo, baseando-se apenas em séries históricas existentes. Já os modelos estocásticos, são aqueles que proporcionam o cálculo de probabilidades, como, por exemplo, a probabilidade de ocorrência de falhas (Lopes e Santos, 2002)

McMahon e Mein (1978 apud FEWKES, 1999a) identificaram três tipos de modelos de dimensionamento de reservatório, sendo eles o Modelo de Moran, o Modelo do Período Crítico e o Modelo Comportamental. O Modelo de Moran é um desenvolvimento da teoria de armazenamento de Moran de 1959, que utiliza um sistema de equações simultâneas que relacionam capacidade de armazenamento com demanda e suprimento.

Os modelos de dimensionamento que têm como base o Período Crítico identificam e utilizam seqüências de dados em que a demanda excede a produção para determinar a capacidade de armazenamento de um sistema. Um exemplo clássico do modelo baseado no período crítico é o Método de Rippl.

O Modelo Comportamental é um modelo de simulação, que descreve o comportamento do sistema ao longo do tempo e do espaço, em função de um determinado cenário de operação.

Os modelos de dimensionamento de reservatório têm como dados de entrada, na maioria das vezes, séries históricas ou sintéticas de chuva, a demanda que se deseja atender, a área de captação da água da chuva e a eficiência requerida. Os dados resultantes da simulação são os volumes de armazenamento para uma ou mais probabilidades de falha do sistema. (THOMAS e McGEEVER, 1997).

Considerando que nem sempre haverá chuva suficiente para atender toda a demanda, e que também, nem sempre será possível armazenar toda a chuva precipitada (por questões físicas e econômicas), os estudos de dimensionamento de reservatórios devem compatibilizar produção e demanda, identificando o percentual de demanda possível de ser atendida em cada sistema, de maneira a tornar o mesmo mais eficiente e com menor gasto possível.

Método de Rippl

É um método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Este método baseia-se no diagrama de massa do sistema, também denominado diagrama de Rippl, originalmente desenvolvido no final do século XIX, utilizado amplamente para o cálculo de reservatórios destinados ao abastecimento público, para aproveitamento hidroelétrico, para

irrigação, para controle de enchentes e para a regularização de cursos d'água (GARCEZ, 1974).

O diagrama de massa corresponde à integral de um hidrograma, sendo um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório, podendo ser apresentado pela equação seguinte (NGIGI, 1999):

$$V_t = S(Q_t - V_{i,t} + L_t) \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde,

V_t : volume de armazenamento no tempo t (m^3),

Q_t : demanda de água no tempo t (m^3),

$V_{i,t}$: volume de chuva que entra no sistema no tempo t (m^3),

L_t : perdas do sistema durante o intervalo de tempo t (m^3).

O volume útil do reservatório para uma determinada vazão regularizada, é definido pela utilização do diagrama de massa; este volume corresponde ao máximo déficit existente na série histórica.

Método iterativo

O método iterativo é uma adaptação do método de Rippl que também faz um balanço de massa do sistema utilizando como base a equação 1. Esta denominação é dada pelo fato de ser o projetista quem pré-determina o volume do reservatório, passando este a ser um dado de entrada para a planilha de cálculo.

Este método faz o cálculo do volume de chuva captável por mês e por ano no sistema, e coloca este dado à disposição do projetista, para que o mesmo possa tê-lo como base, para não pré-determinar nenhum volume acima do mesmo. Definido o volume do reservatório pelo projetista, o mesmo irá verificar se o percentual de demanda atendida está satisfatório, caso não esteja o projetista altera o volume do reservatório até achar um valor ideal, o qual vai variar de acordo com as possibilidades físicas e financeiras da cada empreendimento.

Modelo comportamental

O modelo Comportamental simula a operação do reservatório num

período de tempo, simulando fluxos de massa com algoritmos específicos. Os dados de entrada utilizados para simular o fluxo de massa no modelo são baseados em intervalos de tempo que podem ser de minutos, horas, dias ou meses. Quanto menor for o intervalo de tempo utilizado na modelagem, mais confiável e econômico será o dimensionamento.

Fewkes (1999a) relata que o modelo comportamental já foi utilizado por outros pesquisadores para investigar o desempenho de reservatórios de armazenamento de água de chuva, sendo eles Jenkins, Pearson, Moore, Sun e Valentine (1978) e Latham (1983).

Jenkins *et al.* (1978 apud FEWKES, 1999a) identificaram dois algoritmos fundamentais para o modelo comportamental. Um algoritmo descreve a regra de operação do reservatório de produção depois do enchimento (PDE) e o outro descreve a regra de operação do reservatório de produção antes do enchimento (PAE), conforme as equações:

Equações de operação PDE

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad \text{Equação 3.2}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad \text{Equação 3.3}$$

Equações de operação PAE

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad \text{Equação 3.4}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S \end{array} \right. \quad \text{Equação 3.5}$$

Onde,

Y: Produção de chuva do sistema, responsável por suprir a demanda (m³),

D: Demanda (m³),

V: Volume de chuva no reservatório de armazenamento (m³),

Q: Volume total de chuva coletado pelo sistema (m³),

S: Volume do reservatório de armazenamento (m³).

Latham (1983 apud FEWKES, 1999a) também utilizou um modelo comportamental no dimensionamento de reservatórios de água de chuva, definindo um algoritmo mais generalizado para a operação do reservatório, conforme as equações abaixo:

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{cases} \quad \text{Equação 3.6}$$

$$V_t = \min \begin{cases} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta)Y_t \\ S - (1 - \theta)Y_t \end{cases} \quad \text{Equação 3.7}$$

Onde, θ é um parâmetro com valor entre 0 e 1. Utilizando $\theta = 0$ o algoritmo descreve a regra de operação de PDE, já com $\theta = 1$ o algoritmo descreve a regra de operação de PAE.

Segundo Fewkes (1999a) o algoritmo de operação PDE resulta em uma estimativa de reservatório mais conservativa se comparada ao algoritmo de operação PAE, independente do intervalo de tempo da simulação.

Método de simulação de Monte Carlo

O método de simulação Monte Carlo, também denominado simplesmente método de Monte Carlo é baseado na simulação de variáveis aleatórias para resolução de problemas. É um método considerado simples e flexível e pode ser aplicado em problemas de qualquer nível de complexidade, de acordo com Lopes e Santos (2002).

Esse método consiste em simular um experimento com a finalidade de determinar propriedades probabilísticas de um conjunto de dados, a partir de uma nova amostragem aleatória dos componentes desses dados.

No cálculo de reservatórios de armazenamento de água de chuva, o método de Monte Carlo é utilizado em conjunto com modelos de cálculo de volume de reservatórios de armazenamento, gerando series sintéticas de chuva, a partir de series históricas, resultando em diferentes volumes de reservação para diferentes probabilidades de atendimento à demanda (Tomaz, 2003).

Oliveira (2004), utilizou para o dimensionamento de reservatórios de armazenamento da água de chuva, o balanço hídrico seriado. Este procedimento é baseado no balanço hídrico adotado para bacias

hidrográficas e utiliza a série histórica de precipitação diária. Segundo o autor, esta formulação permite ver o comportamento do reservatório ao longo do ano, o volume de água economizado em função do consumo e seu benefício econômico. O balanço hídrico seriado é dado pela equação 3.8:

$$(S_{t+1}) = S_1 + (P \times A) - (Q) - (E_x) \quad \text{Equação 3.8}$$

Onde,

S_{t+1} = total de água disponível no reservatório no dia considerado (m^3),

S_1 = total de água disponível no reservatório no dia anterior (m^3),

P = precipitação acumulada no dia considerado (mm),

A = área de captação (m^2),

Q = consumo total diário da propriedade, de acordo com o número de pessoas/animais existentes na propriedade (m^3),

E_x = água captada pelo sistema que foi eliminada (excesso) (m^3).

A partir da análise gráfica dada pelo balanço hídrico seriado, são gerados ábacos para o dimensionamento de sistemas de captação de água de chuva e seu armazenamento. Estes ábacos consideram os valores de área de captação e volume de reservatório para diferentes situações, desde um total abastecimento de água de chuva com deficiência zero (sistema autônomo), ou para suprir o consumo com alguma deficiência (sistema misto com o abastecimento por outras fontes). Os ábacos são montados a partir de um consumo constante. Faz-se variar os valores da área de captação e o volume do reservatório, sempre observando suprir o consumo em questão. São obtidos valores de área de captação e de volume de reservação, que são agrupados em tabelas, para serem plotados em gráficos de área de captação *versus* tamanho do reservatório, linearizados, formando assim ábacos com curvas de consumo, de acordo com a série histórica de precipitação utilizada.

Para o dimensionamento de reservatório realizado pela UFES para a residência unifamiliar descrita anteriormente, o primeiro passo foi realizar a Simulação de Monte Carlo com a série histórica de 27 anos de chuva de Vitória. A partir da série histórica, o Método de Simulação de Monte Carlo gerou séries sintéticas mensais de chuva com confiabilidade variando de 5% a 95%, utilizando a função Percentil do software Excel. A confiabilidade do sistema obtida através do Método de Monte Carlo diz respeito à probabilidade de falha no atendimento à demanda, considerando-se as confiabilidades acima de 75% toleráveis (TOMAZ, 2003). Para cada série

sinéctica de chuva gerada pela simulação de Monte Carlo foi realizado estudos de dimensionamento de reservatório de acumulação de água de chuva. Os modelos utilizados no dimensionamento foram Ó o Método de Rippl, o Método Interativo e o Modelo Comportamental, sendo que o Método de Rippl e o Método Interativo têm como base o modelo do Período Crítico. O software utilizado foi o Excel e os dados de entrada foram os mesmos para os três modelos, os quais foram listados anteriormente.

Como resultado do dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl (Figura 3.19), observa-se que para atender uma demanda de água não potável de 4,9 m³/mês, com confiabilidade de 95%, o modelo resultou em um volume de reservação de, aproximadamente, 36,0 m³, com capacidade para atender, em média, a 90% da demanda.

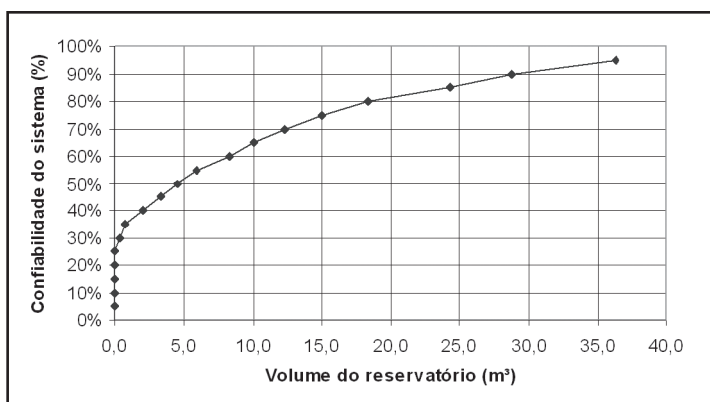


Figura 3.19 Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda residencial de água não potável de 4,9 m³/mês

Após realizar as modelagens utilizando o Método Interativo, o volume de reservação proposto pelo dimensionamento foi de 6,0 m³, com atendimento médio de 90% da demanda de água não potável residencial. A Figura 3.20 apresenta o balanço hídrico do sistema, onde tem-se que no mês de junho, com uma chuva média total de 50 mm, atende-se a 64% da demanda de água não potável com água de chuva.

No dimensionamento realizado utilizando o Modelo Comportamental foram utilizados os dois algoritmos PDE e PAE, também para a demanda de água não potável de 4,9 m³/mês. Como resultado do algoritmo PDE obteve-se um volume de reservatório de 11,0 m³, com capacidade para

atender a 100% da demanda de água não potável da residência. Já para o dimensionamento realizado utilizando o algoritmo PAE, o volume máximo de reservatório obtido foi de apenas 5,0 m³, também com capacidade para atender a 100% da demanda (Figura 3.21).

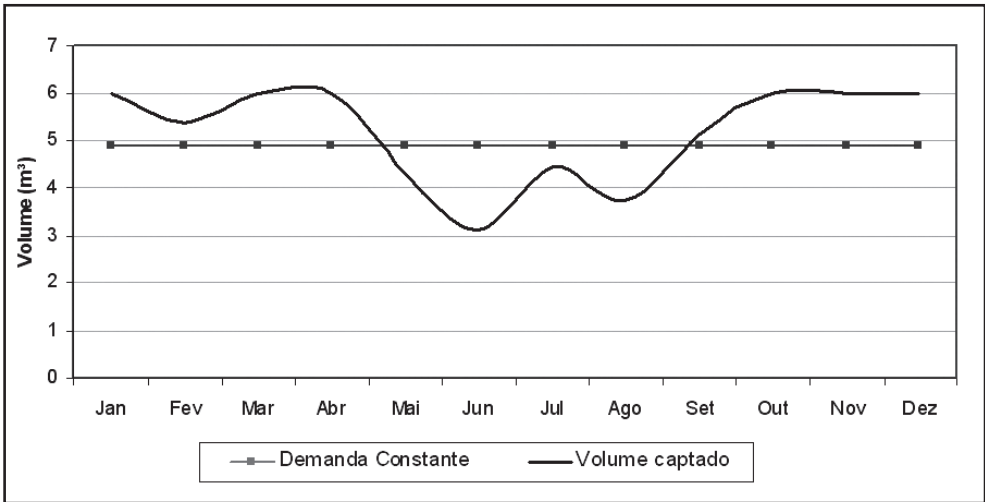


Figura 3.20 Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método Interativo para a demanda residencial de água não potável de 4,9 m³/mês

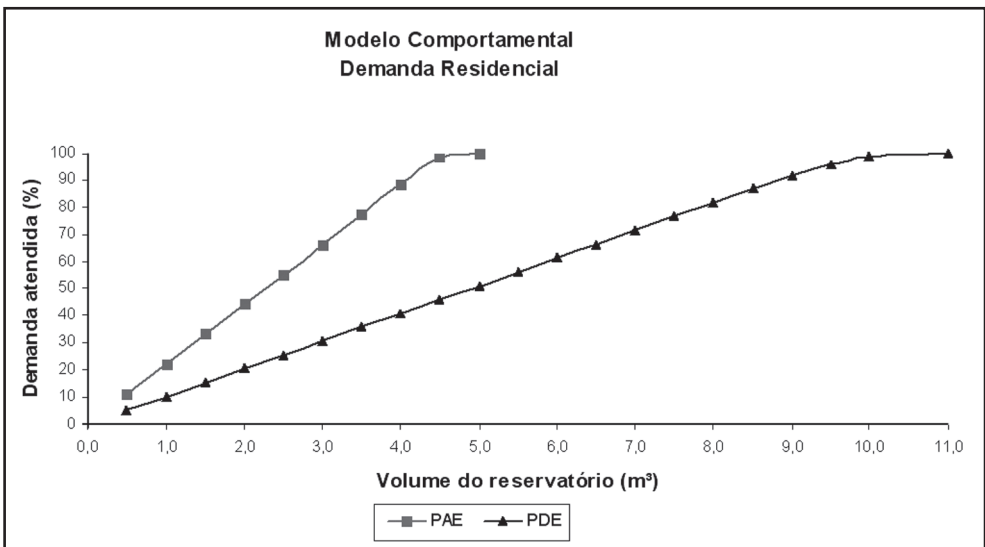


Figura 3.21: Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda residencial de água não potável de 4,9 m³/mês

Reduzindo-se o percentual de demanda a ser atendida com água da chuva para 50%, seria necessário um reservatório de 5,0 m³ segundo o algoritmo PDE e de, aproximadamente, 2,5 m³ segundo o algoritmo PAE.

Comparando-se os três métodos de dimensionamento, verifica-se que neste dimensionamento, o Método de Rippl, não se mostrou como um bom modelo, resultando em volumes muito grandes. Nota-se que os resultados obtidos pelo Método Interativo e pelo Modelo Comportamental são bastante realistas, propondo volumes menores de reservação sem entretanto perder em eficiência de atendimento à demanda de água não potável.

Exemplos de Dimensionamento e Quantitativo de Custos

Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento do reservatório a ser utilizado na cisterna da água de chuva é baseado no método da seca máxima do ano e consideram-se as demandas não potáveis que serão atendidas na edificação, além de dados referentes aos índices pluviométricos da região, como a precipitação anual e o número de dias sem chuvas.

A base de cálculo para o dimensionamento do reservatório é o período de estiagem, ou número de dias consecutivos sem chuva no município especificado. Este dado é obtido através de estudos estatísticos. Na prática, o valor a ser adotado para o maior número de dias sem chuva pode ser obtido através do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, ou em outros órgãos estaduais e municipais. Em Florianópolis, por exemplo, o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM é uma das referências para se obter essas informações.

Estimativa das demandas não potáveis

A estimativa das demandas não potáveis abrange os diferentes usos numa residência, tanto internos quanto externos, considerando o número de moradores da habitação/empreendimento. Os valores mais

usuais podem ser obtidos na Tabela 3.10, elaborada a partir de informações disponibilizadas na literatura.

Para o cálculo das demandas não potáveis, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT} \quad \text{Equação 3.9}$$

Onde:

Q_{NP} = somatório das demandas não potáveis (L/d),

Q_{INT} = somatório das demandas internas (L/d),

Q_{EXT} = somatório das demandas externas (L/d).

Demandas internas

Considera-se demanda interna a utilização de água nos equipamentos localizados dentro da residência onde poderá substituir a água potável pela água de chuva, como, por exemplo, o vaso sanitário e a máquina de lavar roupas. O volume de água a ser considerado para cada equipamento varia de acordo com as especificações do fabricante e a frequência de uso dos habitantes. Os valores mais usuais podem ser obtidos na Tabela 3.10 e a demanda interna é obtida através da equação 3.10, considerando os usos em descarga e lavagem de roupas:

$$Q_{INT} = Q_{VS} + Q_{ML} \quad \text{Equação 3.10}$$

Onde:

Q_{INT} = somatório das demandas internas (L/d),

Q_{VS} = N x vol.de água do vaso sanitário x n°. de descargas (L/d),

Q_{ML} = N x volume de água da máquina x frequência de lavagem x coef. de carga (L/d),

N: número de habitantes da edificação.

Demandas externas

As demandas externas são aquelas onde poderá ser utilizada a água de chuva para o uso na rega de jardim, na lavagem de áreas impermeabilizadas (pisos e calçadas), lavagem de carros e na manutenção da piscina. O cálculo dessa demanda deve considerar, além da área e do volume de água, a frequência que os moradores costumam realizar as atividades. O somatório dos volumes de cada uso fornece o

valor da demanda externa.

$$Q_{EXT} = Q_{JD} + Q_{AI} + Q_{PISC} + Q_{LC} \quad \text{Equação 3.11}$$

Onde:

Q_{EXT} = somatório das demandas externas (L/d),

Q_{JD} = área do jardim x volume de água x frequência de uso (L/d),

Q_{AI} = área impermeável x volume de água x frequência de uso (L/d),

Q_{PISC} = área da piscina x volume de água x frequência de uso (L/d),

Q_{LC} = volume de água x n°.de vagas de garagem ocupadas x frequência de lavagem (L/d),

Com os valores das demandas internas e externas, aplica-se, então, a equação 3.9, obtendo, assim, a quantidade de água de chuva requerida para atender as necessidades da edificação.

Estimativa da produção de água da chuva

Após a determinação das demandas não potáveis, é necessário que se faça a estimativa da água de chuva a ser captada na edificação, a partir dos dados relativos à área de telhado, ao coeficiente de escoamento superficial e os índices pluviométricos da região.

Para essa estimativa, aplica-se a seguinte equação:

$$V = A \times P \times C \quad \text{Equação 3.12}$$

Onde:

V = volume de água de chuva a ser captado (m^3),

A = área do telhado (m^2),

P = precipitação anual na região (m/ano),

C = coeficiente de escoamento.

Descarte da água de lavagem do telhado

O reservatório de descarte destina-se à retenção temporária e ao posterior descarte da água coletada na fase inicial da precipitação.

Recomenda-se o descarte de 1,0 L/ m^2 ou 1 mm de chuva por metro quadrado de telhado.

Volume do reservatório

O volume do reservatório deve ser calculado a partir dos valores estimados das demandas não potáveis, adotando um período de retorno que represente o maior de números de dias sem chuva na região. Com isso, será possível garantir uma reserva de água suficiente para atender às demandas na edificação nos períodos onde não há ocorrência de chuvas.

Para tanto, utiliza-se a seguinte equação:

$$V_{RES} = Q_{NP} \times DS \quad \text{Equação 3.13}$$

Onde:

V_{RES} = volume do reservatório (L),

Q_{NP} = somatório das demandas não potáveis (L/d),

DS = maior número de dias sem chuva na região (dias).

Exercício de dimensionamento

Exemplo 1: Dimensionar um reservatório de aproveitamento de água de chuva para atender a demanda de água não potável em uma residência de classe média, localizada no município de Florianópolis/SC, com as seguintes características:

| | |
|---|-------------------|
| Número de habitantes | 5 |
| Número de banheiros | 1 |
| Área de jardim | 10 m ² |
| Área impermeável | 5 m ² |
| Área do telhado | 60 m ² |
| Coefficiente de escoamento | 0,8 |
| Precipitação anual Florianópolis (INMET/2005) | 1.910 mm/ano |

a) Dimensionamento das calhas

O dimensionamento das calhas deve seguir os critérios da NBR 10.844/89 da ABNT, para Instalações Prediais de Águas Pluviais, assim como os condutores verticais e horizontais que compõem o sistema de instalação pluvial.

b) Cálculo das demandas não potáveis

Para o cálculo das demandas não potáveis utiliza-se a equação 3.9,

após a determinação das demandas internas e externas da edificação.

Adotar, para o cálculo das demandas não potáveis:

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Vaso sanitário | 6 L/descarga |
| | 5 descargas/d |
| | Perdas por vazamento de 10% |
| Rega de jardim | 3,0 L /m ² /dia |
| | 8 utilizações/mês |
| Lavagem da área impermeabilizada | 4,0 L /m ² /dia |
| | 8 utilizações/mês |

- Cálculo das demandas internas

Esta demanda compreende apenas o uso em vaso sanitário. Utilizando a equação 3.10, temos que:

$$Q_{INT} = Q_{VS}$$

$$Q_{VS} = 5 \times 6 \times 5 \times \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 165 L/d$$

$$Q_{INT} = 165 L/d$$

$$Q_{INT} = 4.950 L/mês$$

$$Q_{INT} = 4,95 m^3/mês$$

- Cálculo das demandas externas

As demandas externas correspondem à utilização da água na rega de jardim e na lavagem de áreas impermeabilizadas. Utilizando a equação 3.11, temos que:

$$Q_{EXT} = Q_{JD} + Q_{AI}$$

$$Q_{JD} = \frac{(10 \times 3 \times 8)}{30} = 8 L/d$$

$$Q_{AI} = \frac{(5 \times 4 \times 8)}{30} = 5,33 L/d$$

$$Q_{EXT} = (8 + 5,33)L/d$$

$$Q_{EXT} = 13,33 L/d$$

$$Q_{EXT} = 400 L/mês$$

$$Q_{EXT} = 0,40 m^3/mês$$

Aplicando a equação 3.9, a demanda não potável total será:

$$Q_{NP} = (Q_{INT} + Q_{EXT})$$

$$Q_{NP} = (165 + 13,33)L/d$$

$$Q_{NP} = 178,33L/d$$

$$Q_{NP} = 5.350L/mês$$

$$Q_{NP} = 5,35m^3/mês$$

c) Cálculo da estimativa da produção de água de chuva na residência (Q_{AC})

A estimativa da produção de água de chuva é feita através da equação 3.12.

$$Q_{AC} = A \times P \times C$$

$$Q_{AC} = 60 \times 1,8 \times 0,8$$

$$Q_{AC} = 86,4 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Q_{AC} = 7,20 \text{ m}^3/\text{mês}$$

d) Descarte da água de lavagem do telhado

Considerando o descarte de água na razão de 1L/m² de telhado, com uma cobertura de 60m², temos:

$$V_{\text{descarte}} = 60 \text{ m}^2 \times 1L/m^2$$

$$V_{\text{descarte}} = 60 \text{ L}$$

$$V_{\text{descarte}} = 0,06 \text{ m}^3$$

e) Cálculo do volume do reservatório

Considere, para o cálculo do reservatório, um DS de 10 dias, resultado de uma série histórica de 10 anos, aplicado à região de Florianópolis/SC, fornecida pelo INMET.

$$V_{RES} = Q_{NP} \times DS$$

$$V_{RES} = 178,33 \text{ L/d} \times 10 \text{ d}$$

$$V_{RES} = 1.783,3 \text{ L}$$

$$\text{Adotar: } V_{RES} = 2,0 \text{ m}^3$$

Com este volume de reservatório, será possível armazenar água de

chuva para atender as demandas da residência num período de 10 dias sem a ocorrência de chuvas na região.

f) Eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva

$$E\% = \frac{Q_{AC}}{Q_{NP}} \times 100$$

$$E\% = \frac{7,2}{5,35} \times 100$$

$$E\% = 135\%$$

O sistema de aproveitamento de água de chuva irá atender a 100% das demandas não potáveis da residência, já que a produção de água de chuva é superior à demanda requerida na edificação.

Exemplo 2: Calcular o volume do reservatório de água de chuva para atender a demanda de água para o uso em vaso sanitário e na lavagem de áreas externas, em um edifício de 4 pavimentos, com 4 apartamentos tipo por andar e 2 dormitórios, localizado em Florianópolis/SC.

| | |
|---|--------------------|
| Número de pavimentos | 4 |
| Número de apartamentos por pavimento | 4 |
| Número de habitantes por apartamento | 4 |
| Número de banheiros | 1 |
| Área impermeável | 100 m ² |
| Área do telhado | 160 m ² |
| Coefficiente de Escoamento | 0,8 |
| Precipitação anual Florianópolis (INMET/2005) | 1.808 mm/ano |

a) Dimensionamento das calhas e condutores

O dimensionamento das calhas e condutores deve seguir os critérios da NBR 10.844/89 da ABNT, para Instalações Prediais de Águas Pluviais.

b) Cálculo das demandas não potáveis

Para o cálculo das demandas não potáveis utiliza-se a equação 3.9, após a determinação das demandas internas e externas da edificação.

Adotar, para o cálculo das demandas não potáveis:

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Vaso sanitário | 6 L/descarga |
| | 5 descargas por dia |
| | perdas por vazamento de 10% |
| Lavagem da área impermeabilizada | 4,0 L/dia/m ² |
| | 8 utilizações/mês |

- Cálculo das demandas internas

População

$N = 4$ pavimentos \times 4 apartamentos \times 4 pessoas por apartamento

$N = 64$ pessoas

A demanda interna corresponde apenas ao volume de água a ser utilizada nos vasos sanitários, acrescida de um potencial de perdas de 10%.

$$Q_{INT} = Q_{VS}$$

$$Q_{VS} = 64 \times 6 \times 5 \times 1,1 = 2.112 L / d$$

$$Q_{INT} = 2.112,0 L / d$$

- Cálculo das demandas externas

A demanda externa, neste caso, será considerada como a lavagem da área impermeabilizada do edifício.

$$Q_{EXT} = Q_{AI}$$

$$Q_{AI} = \frac{(100 \times 4 \times 8)}{30} = 106,67 L / d$$

$$Q_{EXT} = 106,67 L / d$$

Portanto, a demanda não potável total para o empreendimento será:

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT}$$

$$Q_{NP} = 2.112 + 106,67$$

$$Q_{NP} = 2.218,67 L / d$$

$$Q_{NP} = 66,56 m^3 / mês$$

c) Cálculo da estimativa da produção de água de chuva

$$\begin{aligned}Q_{AC} &= A \times P \times C \\Q_{AC} &= 160\text{m}^2 \times 1,8\text{m/ano} \times 0,8 \\Q_{AC} &= 230,4 \text{ m}^3/\text{ano} \\Q_{AC} &= 19,20 \text{ m}^3/\text{mês}\end{aligned}$$

d) Descarte da água de lavagem do telhado

Para uma área de telhado de 160 m^2 e descarte de $1\text{L}/\text{m}^2$ de área de cobertura, tem-se:

$$\begin{aligned}V_{\text{descarte}} &= 160 \text{ m}^2 \times 1\text{L}/\text{m}^2 \\V_{\text{descarte}} &= 160 \text{ L} \\V_{\text{descarte}} &= 0,16 \text{ m}^3\end{aligned}$$

e) Cálculo do volume do reservatório

Considere, para o cálculo do reservatório, um DS de 10 dias, resultado de uma série histórica de 10 anos, aplicado à região de Florianópolis/SC, fornecida pelo INMET.

$$\begin{aligned}V_{\text{RES}} &= Q_{\text{NP}} \times \text{DS} \\V_{\text{RES}} &= 2.218,67 \text{ L/d} \times 10 \text{ d} \\V_{\text{RES}} &= 22.186,7 \text{ l} \\V_{\text{RES}} &= 22 \text{ m}^3\end{aligned}$$

f) Eficiência do sistema de aproveitamento

$$\begin{aligned}E\% &= \frac{Q_{AC}}{Q_{NP}} \times 100 \\E\% &= \frac{19,2}{66,57} \times 100 \\E\% &= 28,84\%\end{aligned}$$

O sistema de aproveitamento de água de chuva irá atender a, aproximadamente, 28% das demandas não potáveis da edificação.

Análise da viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva

A análise de viabilidade econômica tem com objetivo determinar o período de retorno dos gastos com a implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, ou seja, determina-se o período de retorno do investimento realizado. Para isso é preciso contabilizar os custos de implantação, incluindo material e mão de obra, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, incluindo, dentre outros o custo de energia elétrica para o bombeamento da água. Em contrapartida contabiliza-se também o benefício gerado pela economia de água potável na edificação.

A título de ilustração realizou-se a análise de viabilidade econômica do sistema dimensionado pela UFES, proposto para uma residência unifamiliar com demanda de água não potável calculada de 4,9 m³/mês. Para o cálculo do valor da economia de água proporcionada pelo sistema de água de chuva, utilizou-se a tarifa de água cobrada pela CESAN para residência padrão, com consumo acima de 30 m³/mês, que é de R\$ 3,38 (três reais e trinta e oito centavos) por m³ de água. Além disso, a companhia cobra a taxa de esgoto em função do volume de água consumido, cobrando para o mesmo tipo de residência um valor de R\$ 2,71/m³. Portanto, o custo total por m³ de água economizado é de R\$ 6,09 (seis reais e nove centavos).

Para o cálculo do período de retorno do investimento utilizou-se a equação 3.14 para gerar o valor presente (P) dos custos mensais, adicionando-se o valor obtido ao custo do investimento do sistema (GOMES, 2005).

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad \text{Equação 3.14}$$

Onde,

P: Valor presente (R\$),

A: Custo mensal com operação e manutenção (R\$),

n: Vida útil do projeto (anos), correspondente ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, variando de 10 a 30 anos.

i: Taxa de juros (% aa.).

Os valores adotados para a análise de viabilidade econômica foram de n igual a 20 anos, taxa de juros anual (i) igual 10% aa. e um custo com manutenção (A) de R\$100,00 por ano.

Com base no estudo de dimensionamento realizado anteriormente para a demanda residencial, a análise de custo foi realizada para dois volumes de reservação, sendo um de $5,0 \text{ m}^3$ e outro de $2,5 \text{ m}^3$, obtidos pelo Modelo Comportamental PAE, com capacidade para atender a 100% e a 50% da demanda de $4,9 \text{ m}^3/\text{mês}$, respectivamente.

Para realizar a estimativa de custo de um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência, realizou-se uma pesquisa de preço de material no mês de julho de 2005 e estimou-se o valor da mão de obra. Considerou-se o custo do material necessário desde a coleta até a reservação da água da chuva, contabilizando calhas, condutores verticais e horizontais, um filtro auto-limpante para remoção de folhas, um reservatório de eliminação de primeira chuva com capacidade para 100 L, ou seja, com capacidade para eliminar 1,0 mm de primeira chuva, considerando-se um telhado de 100 m^2 e um reservatório de armazenamento em polietileno apoiado sobre o terreno.

A Tabela 3.11 sintetiza os dados utilizados nas duas análises econômicas, bem como mostra os resultados obtidos pelas mesmas.

Em sistemas que disponham de grandes áreas de captação, o período de retorno do investimento seguramente será menor. Como, por exemplo, em Ribeirão Preto (SP), onde Hernandes, Campos e de Amorim (2004) implantaram um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência com área de captação de 350 m^2 . O reservatório foi dimensionado pelo Método de Rippl, resultando em um volume de reservação de $11,25 \text{ m}^3$, destinado a suprir demandas de descarga de vasos sanitários, rega de jardim e lavagem de carros e pisos. Construiu-se um reservatório enterrado em concreto armado, e o sistema teve um custo total de implantação de R\$ 4.518,86. O período de retorno calculado para esse sistema foi de 6 anos e 9 meses, levando-se em conta a economia com a água potável e embutindo-se o valor da tarifa de esgoto, que é cobrada em função do volume de água consumido. Os autores descrevem ainda que se o sistema fosse implantado na cidade de São Paulo, onde as tarifas são mais elevadas, o período de retorno do investimento passaria para 5 anos e 9 meses.

Tabela 3.11: Dados utilizados na análise de viabilidade econômica do sistema de uma residência

| Itens | Reservatório de 5,0 m ³ | Reservatório de 2,5 m ³ |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Custo do material | R\$ 1.500,00 | R\$ 1.000,00 |
| Mão de Obra | R\$ 600,00 | R\$ 400,00 |
| Custo total | R\$ 2.100,00 | R\$ 1.400,00 |
| Economia de água gerada pelo sistema | R\$ 338,94/ano | R\$ 182,70/ano |
| Custo de manutenção | R\$ 100,00/ano | R\$ 100,00/ano |
| Taxa de juros | 10% aa. | 10% aa. |
| Vida útil do projeto | 20 anos | 20 anos |
| Período de retorno calculado | 8 anos e 9 meses | 12 anos e 4 meses |

Diante do exposto, confirma-se a necessidade de realizar um dimensionamento de volume de reservatório adequado, pois nem sempre um volume muito pequeno de reservação garante a viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva. Além disso, a literatura mostra que o período de retorno médio desses sistemas é de, aproximadamente, 10 anos (CHILTON et al., 1999). Embora esse período possa parecer longo e inviável economicamente, a decisão de construir um sistema desses, em residências com pequena área de captação, não será tomada com o objetivo maior de economizar dinheiro e sim com o objetivo de garantir o futuro da sustentabilidade hídrica, promovendo a conservação da água e auxiliando no controle de enchentes.

Experiências no Âmbito PROSAB

Exemplos do PROSAB

As pesquisas vinculadas à água de chuva foram realizadas por duas instituições: UFES e UFSC. Os principais objetivos deste sub-tema foram a identificação da disponibilidade quali-quantitativa, a implementação e a avaliação de unidades de captação, tratamento, armazenamento e reúso, para fins não potáveis, das águas de chuva na cidade de Vitória/ES e no município de Florianópolis/SC, inserindo-a no modelo de gerenciamento de águas em edificações.

Experiência da UFES

Os objetivos específicos da pesquisa realizada pela UFES foram:

caracterizar a água da chuva em pontos distintos do processo de captação, estudar os processos de tratamentos da água da chuva objetivando o seu aproveitamento para fins não potáveis, quantificar o índice pluviométrico da região de Vitória por um período de um ano. E assim, estudar modelos de dimensionamento de cisternas visando otimizar a relação entre a disponibilidade da água da chuva e a demanda pela mesma.

A pesquisa foi desenvolvida pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Parque Experimental do Núcleo Água, localizado no Campus Universitário de Goiabeiras em Vitória (ES). Para a realização da pesquisa utilizou-se as instalações do prédio localizado no Parque Experimental do Núcleo Água, composto por sala de professores e banheiros feminino e masculino. O prédio em questão foi projetado com rede dupla de abastecimento de água, sendo uma rede de água potável e outra rede de água de reúso. A rede que recebe água potável da concessionária atende os lavatórios e chuveiros e a rede que recebe água de reúso alimenta os vasos sanitários e mictórios.

Para a captação da água da chuva utilizou-se o telhado do prédio localizado no Parque Experimental do Núcleo Água, com uma área de projeção de 80 m² construído com telha metálica, dotado de duas águas com inclinação de 5%. A estrutura do telhado apresenta duas calhas em PVC com diâmetro de 125 mm cada e tubulação de queda em PVC com diâmetro de 88 mm.

Anexo ao prédio construiu-se um sistema de tratamento simplificado e armazenamento da água da chuva. A chuva captada pelo telhado chegava às calhas e era direcionada, por meio de condutores verticais e horizontais, a um filtro de tela auto-limpante, responsável pela remoção dos materiais grosseiros, como folhas e pequenos galhos. Em seguida, a água chegava ao Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva (REPC), no qual os primeiros milímetros de chuva, ou seja, a chuva mais poluída era armazenada. Completado o volume do REPC, a água seguia para o Reservatório de Armazenamento Final (RAF) com capacidade para 1000 L de água. Antes de chegar ao RAF, a água da chuva passava ainda por um medidor de vazão eletromagnético de 2² da marca Krohne e em seguida por uma tela em Nylon (marca Tenil, malha 40/100 e fio 0,10), localizada na entrada do RAF, para remoção de partículas menores. As Figuras 3.22a a 3.22h ilustram o sistema de coleta, tratamento simplificado e armazenamento da água da chuva do Parque Experimental do Núcleo Água da UFES.

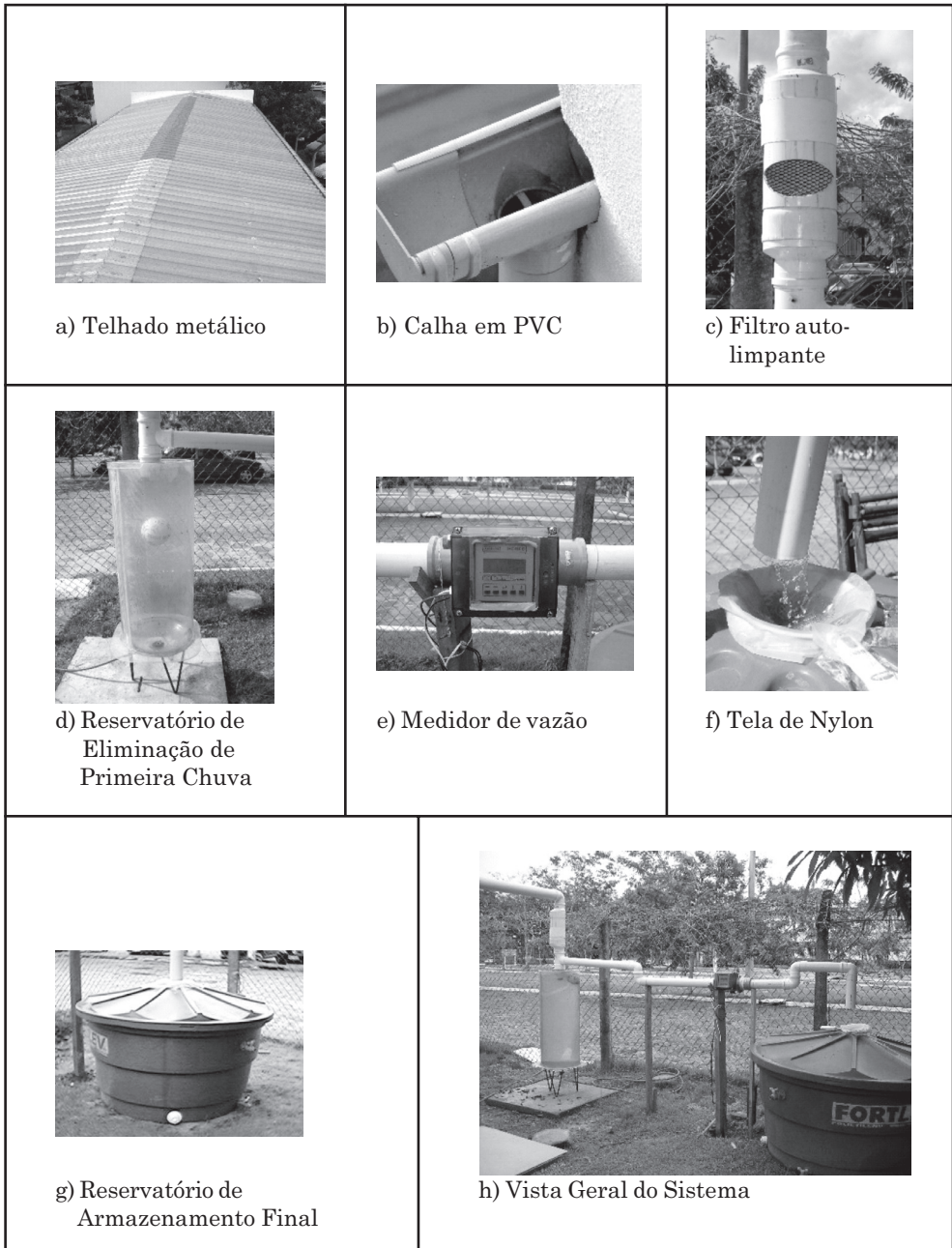


Figura 3.22 Sistema de coleta, tratamento simplificado e armazenamento da água da chuva da UFES

QUALIDADE - Caracterização da água da chuva

A Tabela 3.12 apresenta alguns resultados obtidos para as chuvas do reservatório das 2^a, 3^a e 4^a etapas as quais eliminaram, respectivamente, 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva. Nesta tabela estão descritos o número de amostras, os valores médios obtidos nas análises e o desvio padrão de cada parâmetro. A tabela apresenta também os padrões de qualidade para água de reúso classe 1 estabelecidos pelo manual Conservação e reúso de água em edificações da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005) e pela NBR 13.969/97 da ABNT.

Verifica-se que, para a água da chuva direcionada ao reservatório na 2^a etapa, apenas os parâmetros SST e Coliformes totais ultrapassam os limites estabelecidos pelo Padrão de água de reúso da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005). Observa-se que para as outras duas etapas, a chuva direcionada ao reservatório só não atendeu ao parâmetro de Coliformes totais estabelecidos por este padrão, ficando todos os outros parâmetros abaixo dos limites estabelecidos. Portanto, segundo o manual Conservação e Reúso da Água em Edificações da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005), para utilizar a água da chuva na descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, roupas e veículos e para fins ornamentais, seria necessária uma etapa adicional de desinfecção ao tratamento simplificado.

Com relação à NBR 13.969/97 da ABNT, a água da chuva direcionada ao reservatório de armazenamento das 3^a e 4^a etapas atende a todos os limites estabelecidos, inclusive com relação a coliformes totais. Constata-se ainda, que a água da chuva do reservatório de armazenamento final atende aos padrões das outras classes de água de reúso descritas na NBR 13.969/97.

Verifica-se também que a qualidade físico-química da água da chuva do reservatório atende com folga aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05 e pela Portaria N°518/04 do MS. Constata-se que de acordo com os resultados obtidos para o parâmetro E. coli, a água da chuva do reservatório pode ser classificada na categoria excelente com relação ao padrão de balneabilidade estabelecido pela Resolução CONAMA N°274/00.

Tabela 3.12 Comparação da qualidade da chuva do reservatório (UFES) com padrões de água de reúso

| Parâmetros | Reservatório (2ª Etapa) | | | Reservatório (3ª Etapa) | | | Reservatório (4ª Etapa) | | | ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005) Classe 1 | ABNT NBR 13.969 (1997) Classe 1 |
|--------------------------|-------------------------|---------|---------------|-------------------------|---------|---------------|-------------------------|---------|---------------|---|---------------------------------|
| | n | Média | Desvio padrão | n | Média | Desvio padrão | n | Média | Desvio padrão | | |
| pH | 11 | 6,39 | 0,49 | 4 | 6,53 | 0,26 | 5 | 6,21 | 0,33 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 8,0 |
| Turbidez (UNT) | 15 | 0,4 | 0,4 | 4 | 0,5 | 0,4 | 5 | 0,2 | 0,4 | ≤ 2 | < 5 |
| Cor (uH) | 7 | 2,5 | 2,5 | 4 | 2,1 | 2,5 | 4 | 0,7 | 1,4 | ≤ 10 | - |
| DBO (mg/L) | 5 | 2,0 | 1,4 | 4 | 1,2 | 1,5 | 3 | 1,3 | 0,8 | ≤ 10 | - |
| Nitrog. Amoniacal (mg/L) | 16 | 0,36 | 0,10 | 4 | 0,06 | 0,03 | 5 | 0,13 | 0,09 | ≤ 20 | - |
| Nitrato (mg/L) | 15 | 0,14 | 0,11 | 4 | 0,14 | 0,05 | 5 | 0,04 | 0,03 | < 10 | - |
| Nitrito (mg/L) | 16 | 0,006 | 0,004 | 4 | 0,006 | 0,009 | 5 | 0,002 | 0,002 | ≤ 1 | - |
| Fósforo (mg/L) | 15 | 0,02 | 0,03 | 4 | 0,01 | 0,02 | 4 | 0,02 | 0,02 | ≤ 0,1 | - |
| SST (mg/L) | 7 | 13,2 | 17,6 | 4 | 4,0 | 1,6 | 4 | 1,5 | 2,4 | ≤ 5 | - |
| SDT (mg/L) | 7 | 49,4 | 25,0 | 4 | 15,0 | 6,5 | 4 | 14,0 | 2,8 | ≤ 500 | < 200 |
| Coli. Total (NMP/100ml) | 13 | 3,6E+02 | 7,0E+02 | 3 | 1,5E+02 | 1,3E+02 | 4 | 4,7E+01 | 1,4E+01 | Não detectável | < 200 |

Conclui-se que, promovendo um tratamento simplificado da água da chuva, composto pela retenção de folhas e eliminação de, pelos menos, 1,0 mm de chuva, a água da chuva que é direcionada ao reservatório. Ou seja, a água da chuva que será efetivamente utilizada como fonte alternativa, apresenta qualidade compatível para ser utilizadas para fins não potáveis, tornando-se apropriada para usos importantes como a lavagem de carros, pisos e calçadas, irrigação dos jardins e descargas dos vasos sanitários.

Se o objetivo do sistema de aproveitamento da água da chuva for obter água de melhor qualidade, o descarte de, pelo menos, 1,0 mm de chuva se faz necessário. Neste caso haverá maior perda com relação à quantidade de chuva a ser armazenada, com o benefício de ter uma menor formação de lodo no fundo do reservatório.

Ao se optar por um descarte menor de primeira chuva como, por exemplo, de apenas 0,5 mm de chuva, a água direcionada ao reservatório de armazenamento final também apresentará boa qualidade, podendo

ser utilizada para os fins não potáveis, entretanto, a formação de lodo no fundo do reservatório ocorrerá de forma mais rápida, necessitando assim de uma limpeza mais regular do mesmo.

Em casos onde deseja-se aproveitar o máximo da chuva, pode-se coletar toda a água, utilizando o reservatório de armazenamento como separador sólido-líquido, pois constatou-se que, com o armazenamento, ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos presentes na água da chuva. Entretanto, não pode-se garantir água de boa qualidade em termos químicos e microbiológicos.

QUANTIDADE – Produção de chuva

Quantificação do Índice Pluviométrico de Vitória

Para realizar o estudo de produção de chuva no sistema de aproveitamento do Parque Experimental do Núcleo Água, buscou-se junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) os dados de precipitação da cidade de Vitória, o qual disponibilizou a série histórica de chuva mensal do ano de 1976 a 2003 da Estação Meteorológica N° 83648, localizada no Bairro Ilha de Santa Maria em Vitória.

O volume diário de chuva do ano de 2005 foi registrado através do pluviógrafo da marca NovaLynx instalado no Parque Experimental do Núcleo Água (Figura 3.23). Os dados do pluviógrafo foram registrados a cada 5 minutos pelo DataLogger da Estação Meteorológica existente no Parque Experimental (Figura 3.24).

Através dos dados históricos obtidos junto ao INMET observou-se uma pluviometria média anual de 1.306 mm de chuva. Além disso, verificou-se uma chuva mínima anual de 865 mm, correspondente à chuva do ano de 1998, e uma chuva máxima anual de 2.021 mm, correspondente à chuva anual de 1983.

A Figura 3.25 sintetiza os dados históricos, onde observa-se o índice pluviométrico mínimo, médio e máximo de cada mês. Verifica-se que o período em que ocorre a menor média de chuvas da região compreende os meses de maio a agosto, com uma média de 61 mm de chuva por mês. Entre os meses de setembro a abril a média do índice pluviométrico é de 140 mm por mês.



Figura 3.23 Pluviógrafo instalado no Parque Experimental do Núcleo Água



Figura 3.24 DataLogger da Estação Meteorológica do Parque Experimental do Núcleo Água

Verificou-se que, em média, Vitória apresenta 12 dias chuvosos por mês.

A figura 3.26 mostra os dados de precipitação do ano de 2005 de

Vitória, do mês de janeiro a dezembro, os quais foram obtidos através do pluviômetro instalado no Parque Experimental do Núcleo Água. Na mesma figura observa-se a média mensal histórica de chuva, e verifica-se que as chuvas dos meses de janeiro, abril, outubro e dezembro ficaram abaixo da média histórica e os demais meses, com exceção de julho e agosto, apresentaram chuva bem acima da média histórica de precipitações.

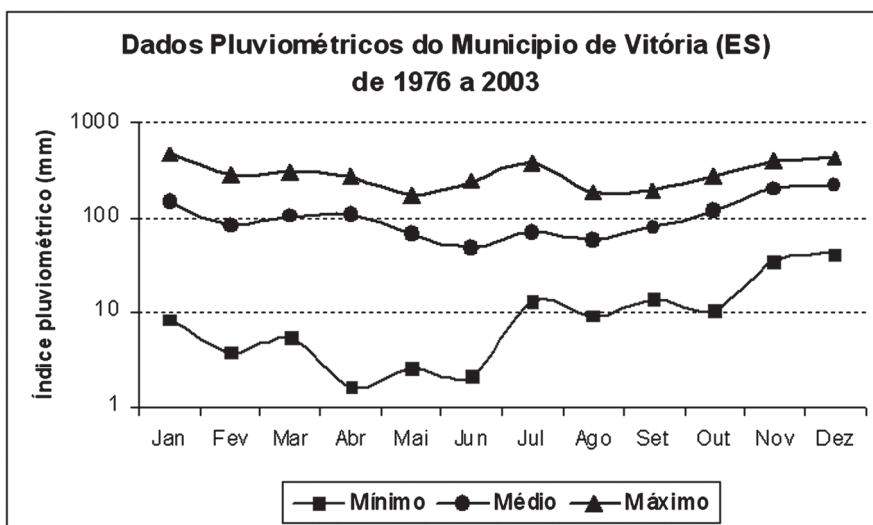


Figura 3.25 Dados pluviométricos de Vitória de 1976 a 2003

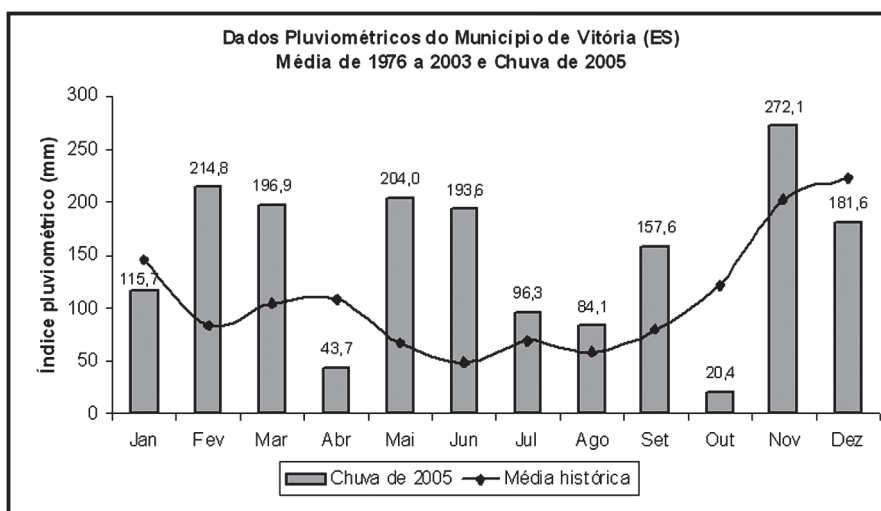


Figura 3.26 Comparação da chuva de 2005 com a média histórica de Vitória

Observa-se que no ano de 2005, choveu mais do que a média histórica anual, totalizando 1.780,8 mm de chuva. Esses dados dão um indicativo da viabilidade de um sistema de aproveitamento da água da chuva na cidade de Vitória.

A pesquisa realizada pela UFSC teve como objetivos específicos a caracterização e quantificação da água de chuva em um bairro periférico do município de Florianópolis/SC, bem como a implementação e avaliação de unidades de tratamento e armazenamento desta água para sua reutilização residencial.

As ações foram conduzidas em uma residência unifamiliar (ocupada por três habitantes), caracterizada como sendo de baixa renda (Figura 3.27), localizada no bairro Ratoles (norte da Ilha de Santa Catarina).

O sistema de coleta e transporte da água de chuva foi reformulado, devido a precariedade existente. Benfeitorias foram implementadas com intuito de promover a captação da água de chuva sob uma superfície de telhado de 35 m², destacando-se a implantação de calhas e condutores verticais (Figura 3.28).

O sistema de aproveitamento da água de chuva coletada era composto por um reservatório de descarte da água de lavagem do telhado (1^a água), seguido de filtro de areia e reservatório de acumulação onde era conduzido para um tanque de mistura, o qual recebia também a água cinza gerada na residência. Esta água de mistura era, então, encaminhada para um reservatório superior que alimentava a descarga do vaso sanitário (Figuras 3.29 e 3.30).



Figura 3.27: Residência utilizada no estudo.

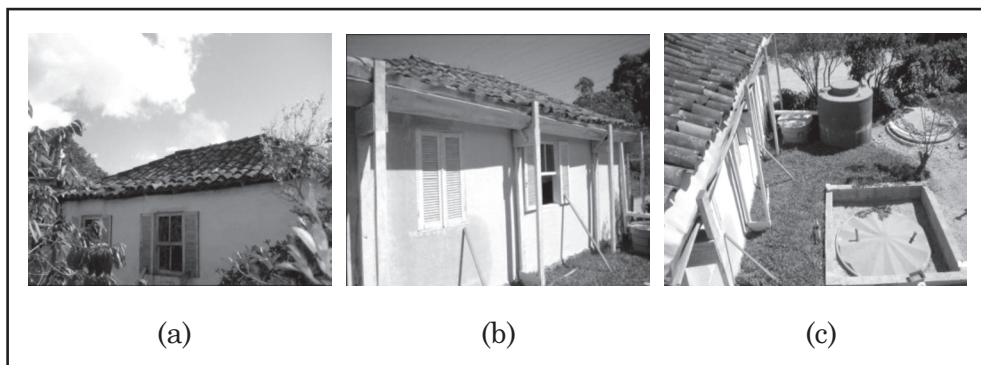


Figura 3.28 Fotos representativas do sistema de captação e transporte da água de chuva. (a) Detalhe do telhado antes das benfeitorias; (b) Detalhe da implantação da estrutura de suporte para a calha coletora; (c) Detalhe da calha coletora.

Mais especificamente, na saída da calha coletora foi instalada uma grade para a retenção de materiais grosseiros. A água após passar pela grade, era encaminhada pelos condutores verticais de PVC (DN 100) para o reservatório de descarte da 1ª água da chuva. Este reservatório tinha capacidade para 250 litros, sendo instalada uma torneira bóia para limitar o descarte em 50 litros. Completando-se o volume de descarte, a torneira bóia travava o condutor vertical, onde, a partir deste ponto, a água de chuva era encaminhada para o filtro de areia para posterior reservação na cisterna de água de chuva (Figura 3.31).

O filtro de areia empregado no tratamento da água de chuva foi dimensionado segundo critérios estabelecidos na NBR 13969/97 (ABNT, 1997). Considerou-se uma vazão diária correspondente a uma chuva com período de retorno igual a três anos e com uma intensidade de dez minutos, onde obteve-se uma vazão diária de 525 L/dia. Adotou-se uma camada superior de brita 1 igual a 0,05 m para auxiliar na distribuição e uma camada de fundo de 0,10m também de brita 1, envolvendo o tubo de coleta. A altura da camada de areia era de 0,70 m. Esta areia possuía um diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,20 mm e coeficiente de uniformidade (U) igual a 4,9.

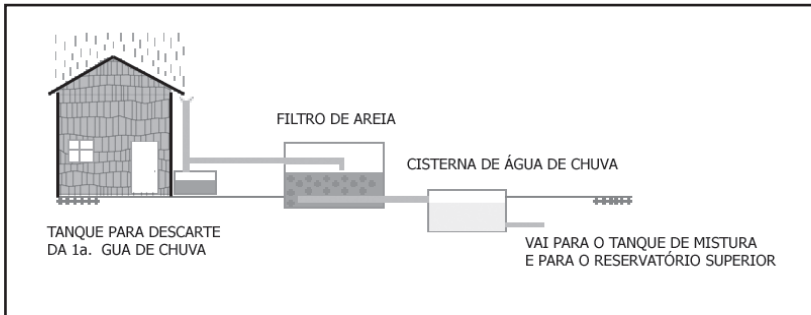


Figura 3.29 Esquema demonstrativo do sistema de aproveitamento de água de chuva.



Figura 3.30 Fotos das unidades de tratamento e armazenamento de água de chuva.

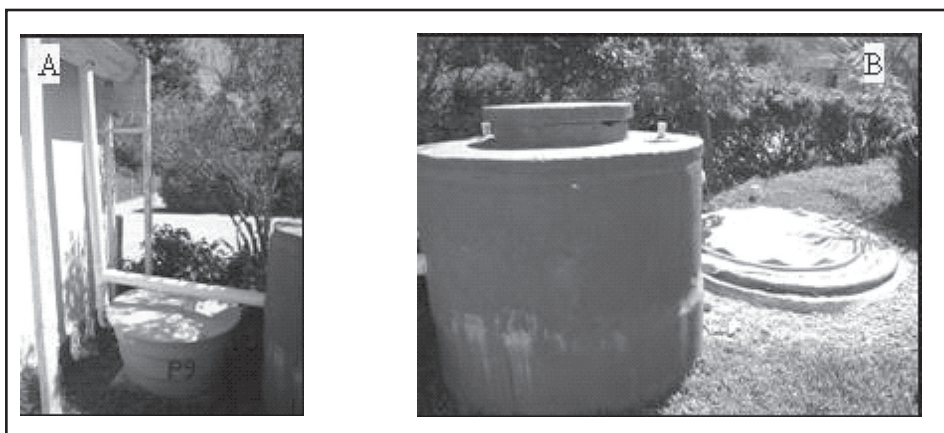


Figura 3.31 Detalhes do reservatório de descarte da 1ª água (A), filtro de areia e cisterna (B).

Para o dimensionamento do volume da cisterna foi considerado que somente a água da chuva abasteceria a caixa de descarga do vaso sanitário e adotou-se para cada habitante uma demanda de 40 L/hab.dia no vaso sanitário. Esta unidade foi confeccionada utilizando-se uma caixa de polietileno, com volume útil de 2.000 litros.

O volume diário de chuva foi quantificado a partir de um pluviômetro instalado na própria residência no período compreendido entre janeiro de 2005 a dezembro de 2005. O pluviômetro foi construído manualmente (Figura 3.32). As anotações foram realizadas diariamente com intuito de agrupar os dados das precipitações para uma comparação com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



Figura 3.32 Foto representativa do pluviômetro instalado na residência em estudo

Com os resultados obtidos com a quantificação da precipitação pluviométrica em Florianópolis/SC, traçou-se no mesmo gráfico as leituras do pluviômetro e os valores coletados junto ao INMET (Figura 3.33).

A partir dos dados obtidos com o pluviômetro instalado na residência, pôde-se quantificar o volume de chuva captado da superfície de 35 m². A Figura 3.34 apresenta os volumes médios diários de chuva. Vale ressaltar, que o volume de chuva potencialmente aproveitado é a quantidade de chuva captada pela superfície menos o descarte de 50

litros. Não foram subtraídas destes valores as perdas por evaporação e as perdas no sistema.

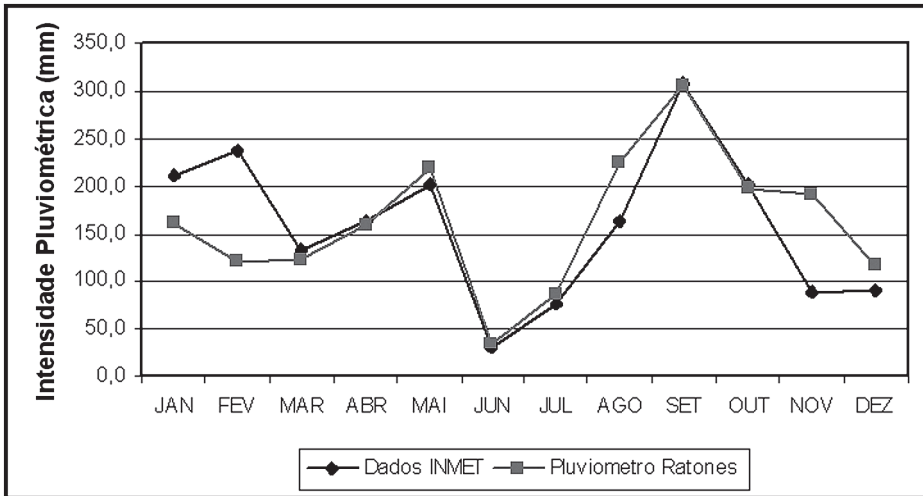


Figura 3.33 Comparação entre os valores de intensidade pluviométrica medidas em Ratores, para o ano de 2005, com a média histórica de Florianópolis (período de 1970 a 2005 - INMET).

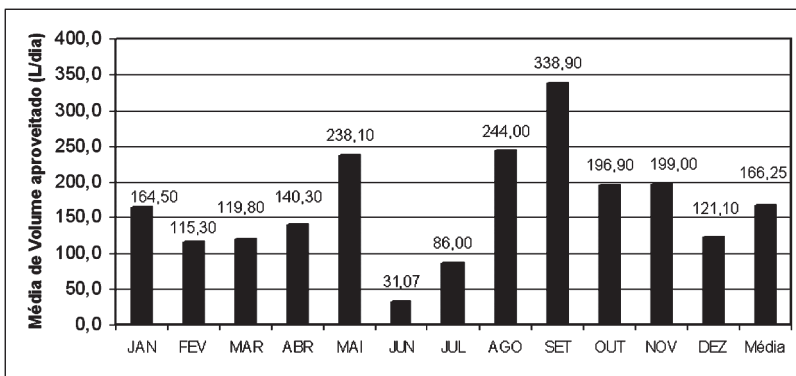


Figura 3.34 Volume aproveitado de água de chuva a partir da superfície de captação ao longo de 2005.

Com relação ao suprimento das descargas no vaso sanitário, tanto a água cinza quanto a água de chuva atenderam, praticamente ao longo de todo o período, a demanda neste dispositivo, com exceção do mês de junho quando ocorreu uma estiagem (Figura 3.35).

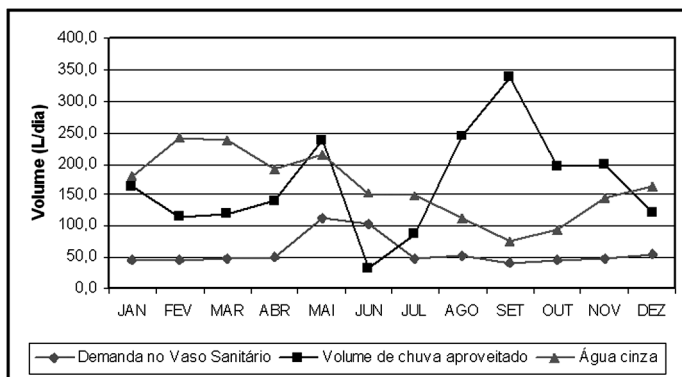


Figura 3.35 Volume de fontes alternativas em relação ao vaso sanitário

A Tabela 3.13 apresenta os resultados médios da qualidade da chuva atmosférica, da água de descarte e da água armazenada na cisterna, ou seja, após tratamento com filtro de areia.

Analisando o sistema de aproveitamento de chuva como um todo, quanto aos parâmetros pH e alcalinidade, pode-se observar um aumento destes valores encontrados na água de chuva após a sua passagem pela superfície de captação. Apesar do pH médio da chuva atmosférica ser de 5,93, não se pode inferir uma tendência de chuva ácida, pois a literatura aponta como chuva ácida uma água com pH inferior a 5,60 (TOMAZ, 2003). Após o descarte, o valor de pH aumentou para 7,48, e na cisterna, depois da passagem pelo filtro de areia, o seu valor médio foi de 7,57, apresentando-se dentro da faixa de neutralidade. Para a alcalinidade, a chuva atmosférica apresentou valor médio de 3,87 mg/L, aumentando significativamente após a passagem pelo telhado apresentando valor médio de 31,18 mg/L e na cisterna este valor decaiu para 23,05 mg/L. Estas variações de alcalinidade podem ser atribuídas a deposição de poeira na superfície de captação e às características particulares do telhado da residência em estudo. Já, após a passagem pelo filtro, o valor de alcalinidade diminuiu devido a este reter o material carregado pela chuva que não ficou retido no descarte.

Em relação a cor e turbidez, verificou-se que após a lavagem do telhado, a chuva atmosférica aumentou de 3,30 uC para 24,87 uC na cor e 1,47 NTU para 4,56 NTU na turbidez. Depois de passar pela

filtração estes valores decaíram melhorando a qualidade da água na cisterna, devido aos sólidos que ficaram retidos, obtendo valores médios de 13,61 uC e 2,54 NTU para cor e turbidez, respectivamente

Tabela 3.13 Resultados médios (\pm coeficiente de variação) da qualidade da chuva atmosférica, da água de descarte e da água armazenada na cisterna, obtidos junto ao sistema Ratoles, Florianópolis/SC.

| Parâmetros | Chuva atmosférica | Água de descarte | Água da cisterna |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| pH | 5,93 \pm 0,18 (n = 23) | 7,48 \pm 0,05 (n = 35) | 7,57 \pm 0,09 (n = 38) |
| Alcalinidade (mg/L) | 3,87 \pm 0,52 (n = 20) | 31,18 \pm 0,23 (n = 33) | 23,05 \pm 0,25 (n = 33) |
| Cloreto (mg/L) | 0,59 \pm 2,21 (n = 18) | 5,32 \pm 1,08 (n = 27) | 5,93 \pm 0,50 (n = 29) |
| Dureza (mg/L) | 7,60 \pm 0,49 (n = 10) | 41,48 \pm 0,44 (n = 23) | 28,63 \pm 0,31 (n = 26) |
| Cor (UC) | 3,30 \pm 0,79 (n = 23) | 24,87 \pm 0,48 (n = 31) | 13,61 \pm 0,748 (n = 31) |
| Turbidez (NTU) | 1,47 \pm 0,93 (n = 16) | 4,56 \pm 0,52 (n = 23) | 2,54 \pm 0,74 (n = 30) |
| DQO (mg/L) | 6,84 \pm 0,68 (n = 19) | 9,80 \pm 0,69 (n = 29) | 4,82 \pm 0,87 (n = 35) |
| SST (mg/L) | 0,95 \pm 0,91 (n = 153) | 2,85 \pm 1,21 (n = 27) | 1,70 \pm 0,84 (n = 37) |
| Amônia (mg/L) | 0,70 \pm 0,69 (n = 23) | 0,563 \pm 0,60 (n = 29) | 0,34 \pm 0,97 (n = 29) |
| Nitrito (mg/L) | 0,00 (n = 23) | 0,02 \pm 2,19 (n = 28) | 0,00 \pm 3,00 (n = 29) |
| Nitrato (mg/L) | 0,13 \pm 1,58 (n = 23) | 0,44 \pm 0,90 (n = 29) | 0,56 \pm 1,21 (n = 29) |
| Sulfato (mg/L) | 1,01 \pm 0,89 (n = 19) | 5,02 \pm 0,57 (n = 29) | 3,04 \pm 0,26 (n = 29) |
| CT (NMP/100mL) | 1,68E+03 \pm 0,54 (n = 17) | 2,82E+03 \pm 0,76 (n = 31) | 1,50E+03 \pm 0,57 (n = 20) |
| E.coli (NMP/100mL) | 5,10E+00 \pm 2,39 (n = 18) | 1,54E+01 \pm 1,64 (n = 27) | 4,49E+00 \pm 1,91 (n = 19) |

n = número de amostragens válidas

Os valores médios obtidos na chuva atmosférica, no descarte e na cisterna, respectivamente, para dureza foram de 7,60, 41,48 e 28,63 mg/L. Este baixo valor médio de dureza na cisterna permite inferir que esta água possa ser utilizada na lavagem de roupas, visto que, esta água não causaria problemas de incrustações nas tubulações e não comprometeria o sistema.

Na quantificação bacteriológica foram encontradas tanto Coliformes totais quanto *E. Coli* na chuva atmosférica, no descarte e na cisterna. Entretanto os valores mais significativos foram na água de descarte, devido à lavagem do telhado pela chuva que carrega, provavelmente, fezes de animais e aves ali depositadas. Os valores médios de *E. Coli*, foram de 5,10, 15,40 e 4,49 NPM/100 mL para chuva atmosférica, descarte e cisterna, respectivamente.

Referências Bibliográficas

ABCMAC - Associação Brasileira de Captação e manejo de Água de Chuva. In: Captação e Manejo de Água de Chuva para Sustentabilidade de Áreas Rurais e Urbanas - Tecnologias e Construção da Cidadania. Recomendações. 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Teresina, PI. 2005.

Ambiente Brasil. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/artigos/chuva.html>. Acessado em: abril, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. Instalações de água pluviais: NBR 10.844. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

ANA, FIESP e SindusCon-SP. Conservação e Reúso de água em Edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

ANDRADE, J. B; SARNO, P. Química ambiental em ação: Uma nova abordagem para tópicos de química relacionados com o ambiente. *Química Nova*, v. 13, n. 3, p. 213-214, 1990.

APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable use. *Urban Water*, v.1, p. 317-321. 1999.

BARCELLOS, B. R.; FELIZZATO, M. R.; Aproveitamento das águas atmosféricas. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande. Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade? Campo Grande: ABES. p. 112 - 112. CD-ROM. 2005.

BIO: Revista Brasileira de Saneamento e Meio ambiente. Centronetwork. Rio de Janeiro, nº 21. Ano XI. 2002. p.50.

CHILTON, J. C. et al. Case study of a rainwater recovery system in a commercial building with large roof. *Urban Water*, v. 1, n. 4, p. 345-354, 1999.

DACACH, N. G. Saneamento básico. 3a. edição revisada. Rio de Janeiro: EDC-Ed. Didática e científica. 1990.

DANNI-OLIVEIRA, I. M.; BACONYI, S. M. Condicionantes atmosféricos e a variabilidade das concentrações de MP total em Curitiba/PR. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. Anais... Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

DILLAHA III, T. A., ZOLAN, W. J. Rainwater catchment water quality in Micronesia. *Water Research*. v. 19, n. 6, p. 741-746, 1985.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic systems using greywater and rainwater in combination. *Wat. Sci. Tech.* v. 39, n. 5, p. 25-32, 1999.

EMBRAPA. Planejamento, Construção e Operação de Cisternas para armazenamento da Água da Chuva. 2005. Disponível em: www.cnpsa.embrapa.br/eventos/Seminario_Cisternas.pdf. Acesso em: 26 nov. 2005.

FEWKES, A.(a) Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water* v.1, n. 4, p. 323-333, 1999.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field-testing of a collection system. *Building and Environment*, v. 34, n. 9, p. 765-772, 1999.

GARCEZ, L. N. Elementos de engenharia hidráulica e sanitária. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

GOMES, H. P. Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da Água da Chuva. In: KOBİYAMA, M.; USHIWATA, C.T.; AFONSO, M.A.. Editora Organic Trading – Curitiba/PR. 2002.

HERNANDES, A. T.; CAMPOS, M. A. S.; DE AMORIM, S. V. Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004. São Paulo. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/trabalhos/008-2003%20Analise%20Custo%20Implantacao%20Sistema%20Aproveitamento%20A.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2005.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, v. 1, n. 4, p. 307-316, 1999.

HEYWORTH, J. S. MAYNARD, E. J., CUNLIFFE, D. Who consumes what: potable water consumption in South Australia. *Water*, v. 1, n. 25, p. 9-13, 1998.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. LAPOLLI, F.R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande. Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade? Campo Grande: ABES. p. 112 - 112. CD-ROM. 2005.

KOEKIG, K. Rainwater harvesting: public need or private pleasure? *Water* 21, London: IWA, feb, p. 56-58, 2003.

LEE, K.T., LEE, C.D, YANG, M.S. e YU, C.C. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *J. agric. Engng. Res*, v.3, n. 77, p. 343-348, 2000.

LOPES, J.E.G.; Santos, R.C.P. Capacidade de reservatórios. 2002. Disponível em: <http://www.fcth.br/public/cursos/phd5706/phd5706_reservatorios.pdf> Acesso em: 5 abril 2006.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/ascom/revistas/mds/cisternas.htm> acessado em: março,2006.

MYERS, L. E. Recent advances in water harvesting. *Journal of soil and water conservation*, v. 22, n. 3, p. 95-97, 1967.

NGIGI, S. N.; Optimization of rainwater catchment systems design parameters in the arid and semiarid lands of Kenya. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. Anais eletrônicos... Disponível em: http://www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html. Acesso em: 26 nov. 2005.

OLIVEIRA, Y.V. de, Uso do balanço hídrico seriado para o dimensionamento de estrutura de armazenamento de água das chuvas: estudos de casos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC: Florianópolis, 2004, 145 p.

PORTO, E. R. et al. Captação e Aproveitamento de Água de Chuva na Produção dos Pequenos Produtores do Semi-árido Brasileiro: O Que Tem Sido Feito e como Ampliar sua Aplicação no Campo. Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido (CPATSA), 1999. Disponível em: http://www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/doc/agriculture/8_4_everaldo_Rocha_Porto.doc Acesso em: 26 nov. 2005.

QUEIROZ, C. T.; TAVARES, T. M. Poluição atmosférica veicular: panorama dos dados da cidade do Salvador. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. Anais... Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

Rain Harvesting - Complete Rainwater Solutions. Disponível em: http://www.leafbeater.com.au/rainwater_research.asp acessado em: abril, 2006.

RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION. An environmentally sound approach for sustainable urban water management-an introductory guide for decision-makers. UNEP-DTIE-IETC/Sumida City Government/ People for Promoting Rainwater Utilization-Japan, 2002.

REBELLO, G. A. O. Conservação da água em edificações: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – IPT, São Paulo, 2004.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

SEINFELD, J. H; PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate changes. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SICKERMANN, J. M. Gerenciamento das águas de chuva – Imprescindível para o futuro das grandes cidades do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA. 4, 2003. Juazeiro. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/abc.htm>>. Acesso em: 12 abril 2005.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. In: Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

TEXAS (1997) Texas Guide to Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board in Cooperation with the Center for Maximum Potential Building Systems. 2nd Ed. Austin, Texas , 1997.

THOMAS, T. Choosing rainwater tanks for the sertão. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 15 out. 2005.

THOMAS, T; McGEEVER, B.; Underground storage of rainwater for domestic use including construction details of a low-cost cistern and pumps. Working Paper n.49, 1997. Disponível em: <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html> Acesso em: 26 nov. 2005.

THOMAS, T.; REES, D. Affordable roofwater harvesting in the humid tropics. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. Anais eletrônicos... Disponível em: http://www.cpatas.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html Acesso em: 26 nov. 2005.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TRESMONDI, A. C. C. DE L.; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A. V. Deposição úmida em Paulínia-SP e região. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003,CANOAS. Anais... Canoas: ABES, 2003, CD_ROM.

VALLE, J. A. B. et al. Aproveitamento de água de chuva. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande. Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade? Campo Grande: ABES. p. 112 - 112. CD-ROM. 2005.

WATERFALL, P. H., Harvesting rainwater for landscape use. University of Arizona

Cooperative. 2002. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>>
Acesso em: 20 nov. 2005.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water*, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999.

Capítulo 4

Gerenciamento de Águas Cinzas

Ricardo Franci Gonçalves, Bianca Barcellos Bazzarella, Madelon Rebelo Peters e Luiz Sérgio Phillippi

Esse capítulo enfoca o gerenciamento de águas cinzas nas edificações, com ênfase no reúso. Os principais aspectos abordados são: origem, características qualitativas e quantitativas de sua geração, formas de tratamento e potencial de reúso. Informações sobre os riscos à saúde humana e ao meio ambiente oferecidos pela prática do reúso de águas cinzas são apresentadas. Legislações específicas existentes no Brasil e no exterior são discutidas. Ao final do capítulo encontram-se alguns exemplos de dimensionamento de sistemas de reúso de águas cinzas.

Informações Preliminares

De acordo com o modelo de saneamento que prevê a segregação de águas residuárias e a utilização de fontes alternativas de água nas edificações, as águas cinzas são as águas servidas que não possuem contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON *et al.*, 1999; ERIKSSON *et al.*, 2002; OTTOSON e STENSTRÖM, 2003). Em função da presença de óleos e gorduras, alguns autores não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas (NOLDE, 1999 e CHRISTOVA-BOAL *et al.*, 1996).

A água cinza contém componentes decorrentes do uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (JEFFERSON *et al.*, 1999). Suas características em termos de quantidade e de composição variam de acordo os seguintes fatores: localização, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores e com o tipo de fonte de água cinza que está

sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc.) (NSWHEALTH, 2002 e NOLDE, 1999). Outros fatores que também contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reúso (ERIKSSON *et al.*, 2002).

Os estudos realizados no Brasil e no exterior indicam que as águas cinzas contêm elevados teores de matéria orgânica, de sulfatos, além de turbidez e de moderada contaminação fecal. Alguns estudos comprovaram também a presença de compostos orgânicos rapidamente biodegradáveis na sua constituição. Por tais motivos, seu reúso direto nas edificações (em estado bruto) não é recomendável, tendo em vista, sobretudo, o aspecto desagradável e à possibilidade de produção de mau cheiro nas instalações sanitárias (DIXON *et al.*, 1999). Para a obtenção de água de reúso com baixa turbidez, inodora e isenta de microrganismos patogênicos, um tratamento a nível secundário seguido de desinfecção será necessário.

Por se tratar de uma prática ainda incipiente no Brasil, ainda não existe experiência consistente e passível de ser universalizada sobre o gerenciamento de águas cinzas nas edificações: licenciamento, operação e manutenção. A prática envolve assuntos relacionados com saúde pública, controle da poluição ambiental e procedimentos construtivos de edificações, carecendo ainda de regulamentação no país. Não obstante, sua aplicação é crescente em vários países tais como Japão, EUA, Austrália, Canadá, no Reino Unido, Alemanha e Suécia.

O reúso de águas cinzas pode resultar em economia de água potável, economia de energia elétrica e menor produção de esgoto sanitário na escala das edificações. Em uma escala maior, resulta em preservação dos mananciais de água, por diminuir a quantidade de água captada e por reduzir o lançamento de esgoto sanitário pelas áreas urbanas, além de reduzir o consumo de energia elétrica.

Usos Possíveis para as Águas Cinzas

A água cinza pode ser condicionada até atingir características compatíveis com qualquer tipo de reúso, inclusive potável direto, como no caso da estação espacial internacional (BARRY e PHILLIP, 2006). -Vários

laboratórios trabalham com a NASA atualmente no desenvolvimento de soluções para o gerenciamento da água em condições que suportem a vida durante a exploração espacial. Nesses casos, cada gota de água é imprescindível, o que exige o aperfeiçoamento de sistemas em circuito fechado que reaproveitem todo e qualquer tipo de água, inclusive as águas cinzas. No entanto, em função de condicionantes técnico-financeiras, a quase totalidade das realizações disponíveis hoje em dia se enquadra como reúso não potável (Figura 4.1).

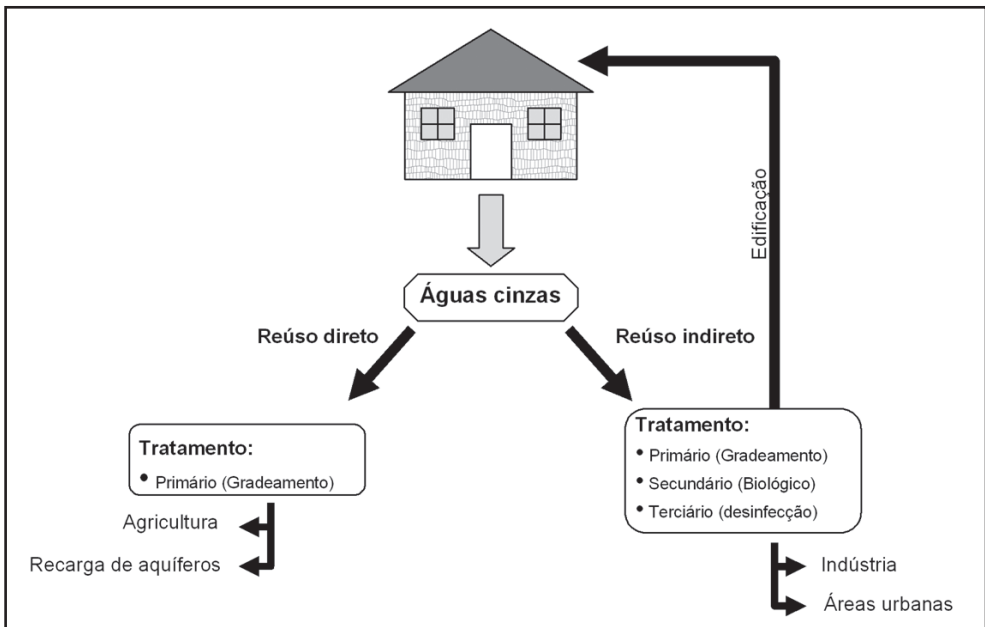


Figura 4.1 Opções para reúso de águas cinzas

Conforme foi visto anteriormente, os usos não potáveis residenciais são a lavagem de roupas, de carros, de calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, etc. Dentre esses, as águas cinzas são mais comumente utilizadas nas residências em:

- Descarga de vasos sanitários,
- Irrigação de jardins.

Eriksson *et al.* (2002) sugerem como usos menos nobres possíveis também:

- Lavagem de vidros,
- Lavagem de automóveis,
- Combate a incêndios,
- Preparo de concreto
- Água para caldeira.

Há ainda a possibilidade de reúso de águas cinzas em:

- Irrigação de gramados (áreas públicas),
- Agricultura;
- Processos industriais específicos;
- Recarga de aquíferos.

Várias normas estrangeiras condicionam o reúso deste tipo de água residuária nas residências a obediência a padrões de qualidade, a procedimentos construtivos e a conduta específicos por parte dos usuários. Conforme pode ser visto no item sobre **Riscos e legislação sobre reúso de águas residuárias para fins não potáveis em edificações** adiante, no que se refere ao usuário, a legislação pertinente ao reúso de águas cinzas tem como foco principal a preservação da saúde humana. Alguns critérios e padrões específicos reportam-se à preservação ambiental e à qualidade dos alimentos produzidos na agricultura.

As águas cinzas podem ser utilizadas para irrigar árvores, gramados e árvores ornamentais. Plantas mais tolerantes à salinidade apresentam boa adaptação à irrigação com esse tipo de água residuária. Ainda segundo Prillwitz e Farwell (1995), com relação à salinidade, os solos arenosos são menos suscetíveis à degradação do que solos argilosos, pela elevada drenabilidade. A maioria dos compostos químicos que podem causar impactos negativos ao solo e as plantas são oriundos de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica. Dentre eles destacam-se os detergentes sintéticos ou agentes tensoativos (exemplo: surfactantes) e por substâncias coadjuvantes (exemplo: fosfatos). Por tais motivos, o reúso de águas cinzas na irrigação pode ter como efeito negativo:

- a) Alterações na estrutura do solo como, por exemplo, reduzir os espaços vazios entre as partículas sólidas, diminuindo a capacidade de drenagem do mesmo.
- b) Modificação do pH do solo, inviabilizando determinadas culturas

específicas e mais sensíveis.

- c) Lixiviação de compostos potencialmente poluidores de corpos de água superficiais e subterrâneos.
- d) Salinização dos solos com baixa drenabilidade.

O reúso de águas cinzas deve ser objeto de licenciamento ambiental, tal como ilustra o processo de licenciamento recomendado pelo Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia para instalação de um sistema de reúso de águas cinzas em jardins (PRILLWITZ e FARWELL, 1995):

1. Análise dos procedimentos para licenciamento no Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia
2. Preparação do plano de reúso de águas cinzas
3. Projeto do sistema de reúso de águas cinzas
4. Submissão do projeto para aprovação por parte do departamento
5. Implantação do sistema
6. Inspeção do sistema construído e aprovação por parte do Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia
7. Operação, monitoramento e manutenção do sistema.

Alguns arranjos muito simples que viabilizam o reúso direto de águas cinzas na irrigação de jardins são apresentados nas Figuras 4.2 e 4.3.

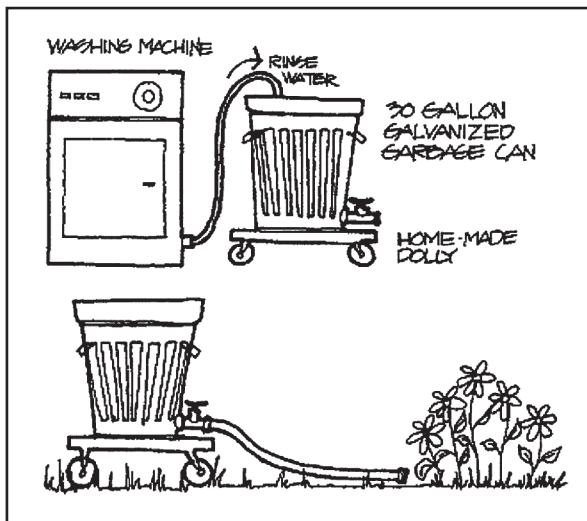


Figura 4.2 Coleta de água cinza em recipiente móvel para irrigação em jardim.

(Fonte: Prillwitz e Farwell, 1995).

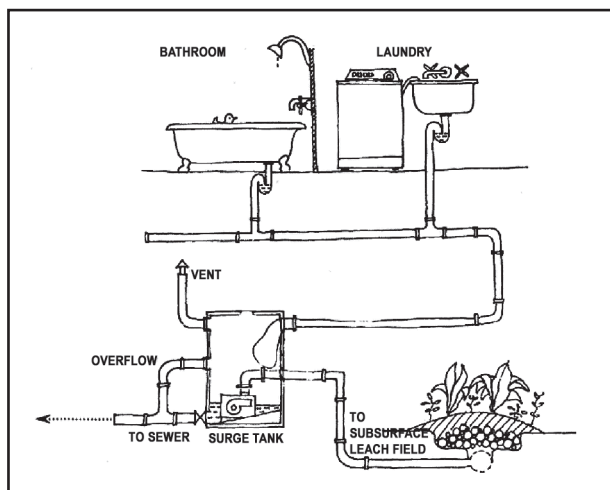


Figura 4.3 Sistema de reúso direto de águas cinzas na irrigação de jardim. (Fonte: Prillwitz e Farwell, 1995.)

Do ponto de vista qualitativo, se o objetivo principal for o uso em descargas sanitárias, a água de reúso produzida a partir de água cinza deve possuir baixa turbidez, cor reduzida e ausência de odor desagradável. A utilização de água cinza bruta em descargas sanitárias ou na irrigação de jardins é uma prática vigente em alguns países, apesar do aspecto relativamente desagradável da água de reúso.

Riscos e Legislação sobre Reúso de Águas Residuárias para Fins não Potáveis em Edificações

O ponto de partida de qualquer projeto de reúso de água, independente do ponto de aplicação, é a segurança da saúde dos usuários. Os riscos devido a produtos químicos na água de reúso são oriundos principalmente da presença de compostos a base de matéria orgânica, de nitrogênio, de enxofre e de metais pesados. Entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microrganismos patogênicos (GREGORY *et al*, 1996). Em virtude disso, os modelos de avaliação de risco para o reúso não potável são baseados nos riscos microbiológicos. Por essa razão, os parâmetros microbiológicos são os que receberam a maior atenção nas diversas regulamentações de reúso de água (USEPA, 2004).

O reúso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, e ambas devem ser técnica e economicamente viáveis. Embora o reúso de águas residuárias em edificações seja objeto de interesse relativamente recente em países que não o Brasil, há uma quantidade relativamente grande de legislações específicas sobre o tema. Existem dois tipos de legislação específica:

- Legislação que regulamenta a aplicação da prática de reúso.
- Legislação que determina limites de qualidade para a água a ser reutilizada

Os padrões de reúso de água variam bastante de um lugar para outro. Grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo, como os padrões californianos (Tabela 4.1). Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Outros países em desenvolvimento adotam outra estratégia de controle dos riscos à saúde, através de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS).

De acordo com o USEPA (2004), não existe nenhuma regulamentação federal nos Estados Unidos relacionada diretamente para prática do reúso. Entretanto, diversos estados de maneira individual desenvolveram regulamentações ou guias para esse fim. Alguns estados, como por exemplo, a Califórnia, desenvolveram amplos regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reúso. O reúso em descarga de vasos sanitários está na categoria de reúso irrestrito urbano.

O guia (guideline) para o uso de água reciclada estabelecido pelo governo da Austrália prevê quatro graus de qualidade para água reciclada em termos microbiológicos (ANDERSON, 2001). Os graus de qualidade referem-se à densidade média de coliformes termotolerantes (CT), dependendo da intensidade do contato da água reciclada com o usuário:

- Contato alto: $CT < 10$ ufc/100ml
- Contato Médio: $CT < 100$ ufc/100ml
- Contato baixo: $CT < 1000$ ufc/100ml
- Acesso restrito: $CT < 10000$ ufc/100ml

Tabela 4.1 Normas internacionais para reúso de águas em descarga sanitária

| | | PARÂMETROS | | | | | | | | |
|------------|------------------------------------|--|--|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Tratamento | | pH | DBO ₅ (mg/L) | SST (mg/L) | Turbidez (NTU) | Coli. Total (ufc/100mL) | Coli. Fecal (ufc/100mL) | Cloro livre Cl2 | Cloro residual (mg/L) | |
| 1 | Arizona | Secundário, Filtração e Desinfecção | - | - | - | 2 (méd) 5 (máx) | - 23 (Máx) | ND (méd) | - | |
| | | Califónia | Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção | - | - | - | 2 (méd) 5 (máx) | 2,2 (méd) 23 (Máx) | - | - |
| | Flórida | Secundário, Filtração e Alto nível de Desinfecção | - | 20 | 5 | - | - | ND (75%) 25 (Máx) | - | - |
| | Hawaii | Oxidação, Filtração e Desinfecção | - | - | - | 2 (máx) | - | 2,2 (méd) 23 (Máx) | - | - |
| | Nevada | Secundário, Desinfecção | - | 30 | - | - | - | 2,2 (méd) 23 (Máx) | - | - |
| | | Texas | - | - | 5 | - | 3 | - | 20 (méd) 75 (Máx) | - |
| | Washington | Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção | - | 30 | 30 | 2 (méd) 5 (máx) | 2,2 (méd) 23 (Máx) | - | - | - |
| | 2 | Austrália | Desinfecção | - | < 10 (90%) 20 (máx) | < 10 (90%) 20 (máx) | - | <1 | <10 (90%) 30 (Máx) | 0,5-2,0 (90%) 2,0 (máx) |
| 3 | South Australia | Secundário, filtração terciária e desinfecção | - | < 20 | < 10 | 2 (méd) 5 (máx) | < 10 | - | - | - |
| 4 | Alemanha - guideline | | 6 - 9 | 20 | 30 | 1 - 2 | 500 | 100 | - | - |
| | WHO | | - | - | - | - | 1000 (m) 200 (g) | - | - | - |
| 5 | Japão | | 6 - 9 | 10 | - | 5 | 10 | 10 | - | - |
| 6 | Padrões Canadenses propostos | | - | 30 | 30 | 5 | 200 | 200 | - | > 1 |

1 - EPA (2004)
2 - NSW health, 2005
3 - Citado em: KAYAALP (1996)
4 - Citado em: JEFFERSON (1999).
5 - Citado em: LAZAROVA (2003)
6 - CMHC (2004)
m - mandatory
g - guideline

Os riscos relativos do reúso direto de águas cinzas, tendo com referência a fonte de água cinza, os métodos de irrigação, os usos e o acesso ao público, são apresentados na Figura 4.4:

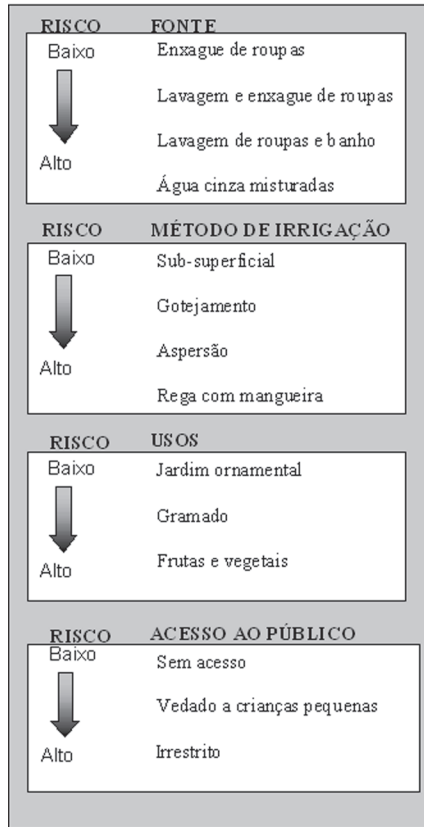


Figura 4.4 Riscos relativos associados à fonte de água cinza, aos métodos de irrigação, aos usos e ao acesso ao público. (Fonte: EACT, 2006)

Segundo o NSWHEALTH (2002), para a prática do reúso de águas cinzas devem ser consideradas as seguintes recomendações:

- O contato direto com a água cinza, humano e animal, deve ser evitado.
- Em caso de reúso da água cinza na descarga sanitária, um tratamento prévio incluindo uma etapa de desinfecção deve ser providenciado.
- Evitar a irrigação de culturas agrícolas cujo produto possa ser

ingerido cru.

- Evitar a interconexão das redes de água potável e de água de reúso.
- Evitar a estocagem de água cinza bruta (sem tratamento prévio com desinfecção).
- Identificar criteriosamente as redes de água potável e de água de reúso.

Para a Aliança para Conservação de Água do Estado do Arizona, nos EUA, as seguintes considerações devem integrar a concepção de um sistema de reúso de águas cinzas Little (1999):

- Caso não haja reúso, as águas cinzas devem ser dispostas sub-superficialmente no solo.
- O sistema de reúso deve ser concebido para que a operação ocorra sem o contato humano e animal com a água cinza, exceto em casos de manutenção.
- O sistema de reúso não pode permitir o ingresso de águas cinzas no sistema de drenagem pluvial.
- Evitar a interconexão das redes de água potável e de rede de água de reúso.
- A reprodução de mosquitos deve ser evitada em todas as etapas componentes do sistema de reúso.
- O contato direto da água cinza com vegetais e produtos consumíveis deve ser evitado. Recomenda-se a irrigação de árvores frutíferas, cujo fruto não entre em contato com a água de reúso.
- Nas áreas onde ocorre irrigação superficial com água de reúso, recomenda-se uma criteriosa sinalização que evite o acesso de pessoas ao local.

No Brasil, até a presente data, existem apenas algumas situações isoladas com legislações que se aplicam à utilização de fontes alternativas de água nas edificações. As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram alguns limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários e algumas legislações que regulamentam o uso de fontes alternativas de água respectivamente.

O manual elaborado pela FIESP (SAUTCHUK *et al.*, 2005) recomenda para a água de reúso classe 1 a detecção do cloro residual combinado em todo sistema de distribuição e o controle de agentes tensoativos, devendo seu limite de detecção ser abaixo de 0,5mg/L.

Tabela 4.2 Normas brasileiras NBR 13.969/97 e padrões propostos no Manual da FIESP (SAUTCHUK *et al.*, 2005) para reúso de águas em descarga sanitária

| Parâmetros | Manual de "Consevação e reúso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005) | NBR 13.969/97 item 5.6.4 Classe 3 |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| pH | 6,0 - 9,0 | - |
| Cor (UH) | = 10 | - |
| Turbidez (NTU) | = 2 | < 10 |
| Óleos e Graxas (mg/L) | = 1 | - |
| DBO (mg/L) | = 10 | - |
| Coliformes Fecal (NMP/100mL) | Não detectáveis | < 500 |
| Compostos Orgânicos Voláteis | Ausentes | - |
| Nitrato (mg/L) | = 10 | - |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | = 20 | - |
| Nitrito (mg/L) | = 1 | - |
| Fósforo Total (mg/L) | = 0,1 | - |
| SST (mg/L) | = 5 | - |
| SDT (mg/L) | = 500 | - |

Tabela 4.3 Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água

| Finalidade | Água de chuva | Água Cinza | Esgoto sanitário |
|-------------|--|-----------------------------------|---|
| Contenção | Lei Nº 13.276/2002 São Paulo/SP | -- | -- |
| Uso predial | Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR | Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR | NBR 13.969/1997 |
| | Lei Nº 13.276/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 51.184/2002 São Paulo/SP | Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR | Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS |
| | Lei Nº 6.345/2003 Maringá/PR | | |
| | Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS | | |
| | Decreto Nº 23.940/2004 Rio de Janeiro - RJ | | |
| Uso urbano | Decreto Nº 48138/2003 Estado de SP | -- | Lei Nº 6.076/2003 Maringá/PR |
| | | | Lei Nº 13.309/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 44.128/2003) São Paulo/SP |
| | | | NBR 13.969/1997 |

Um estudo feito na Universidade Federal da Bahia (Escola Politécnica) avaliou a qualidade da água encontrada no selo hídrico de vasos sanitários de shopping centers de Salvador e da própria universidade (ORNELAS, 2004). Esse estudo mostrou que a qualidade da água dos selos hídricos coletados possui níveis de coliformes totais e termotolerantes equivalentes aos encontrados em efluentes tratados de estações de tratamento de esgoto (Figura 4.5).

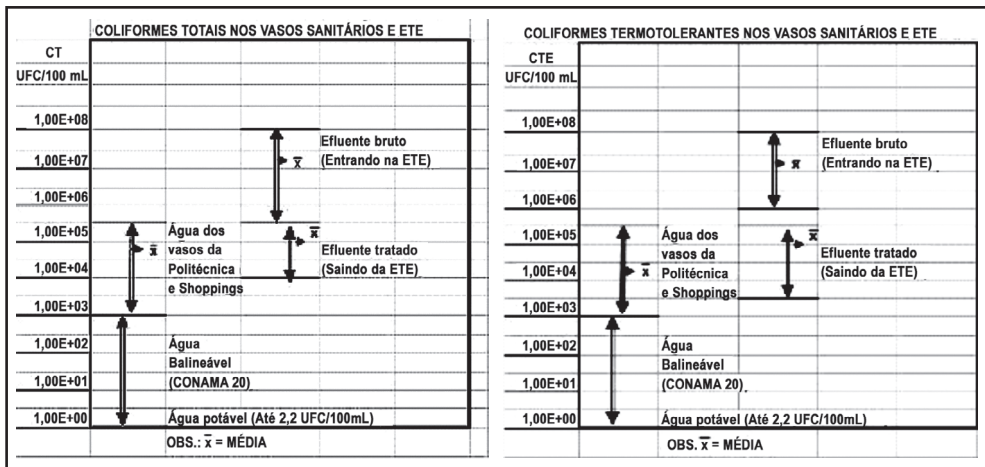


Figura 4.5 Comparação entre coliformes totais e termotolerantes encontrados em vasos, efluente bruto e tratado

Diante desse contexto, os riscos potenciais aos quais os usuários estariam expostos se utilizassem água de reúso em descarga de vasos sanitários seriam, teoricamente, equivalentes aos riscos potenciais a que eles estão expostos na atual situação (com abastecimento de água potável). Conclusões semelhantes foram obtidas por Bortone *et al.* (1999) que, não obstante, recomendaram a desinfecção devido aos riscos de contaminação biológica, sobretudo de crianças, devido aos aerossóis produzidos pela descarga. Testes realizados por estes autores evidenciaram importantes densidades de marcadores biológicos (*Lactobacillus bulgaricus*) em coletores de amostras localizados a distâncias de 20 cm da superfície do vaso sanitário.

Em que pesem as diferenças entre as legislações acima, os aspectos estéticos da água de reúso são um fator determinante do sucesso desta prática. Para que se evite problemas com os usuários, é de grande

importância que a água de reúso apresente baixa turbidez, cor imperceptível, ausência de odor e de qualquer substância ou composto que lhe confirmem aspecto desagradável. A correta sinalização de que se trata de água de reúso no interior da edificação também é fundamental, como no caso abaixo (Figura 4.6)

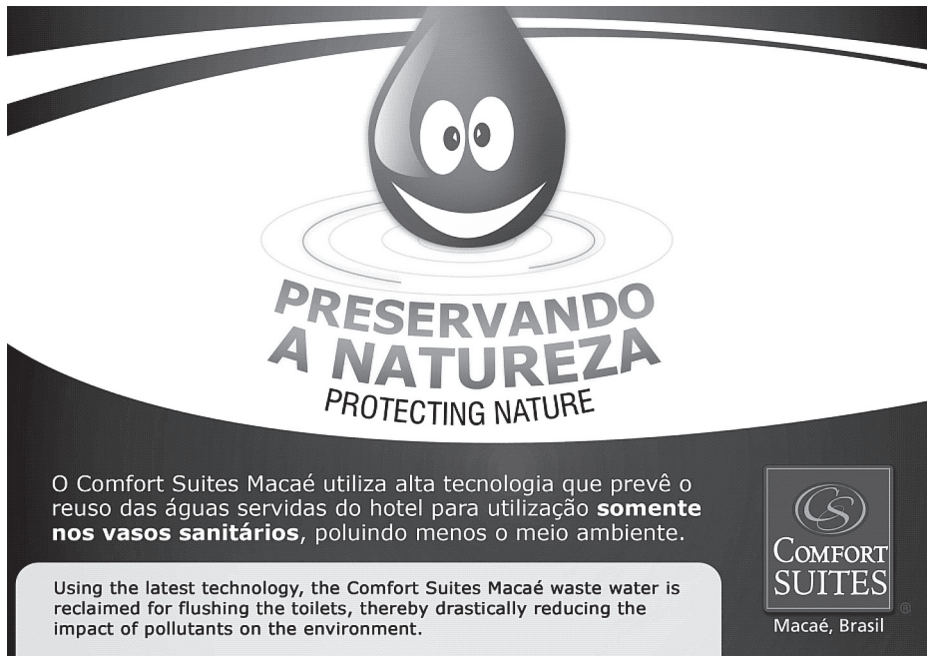


Figura 4.6 Identificação da água de reúso (águas cinzas tratadas) utilizada nas descargas sanitárias de um hotel em Macaé (RJ)

Características Quantitativas da Água Cinza

Oferta e demanda de águas cinzas para reúso não potável residencial

Diferentemente da água de chuva, cuja oferta depende de fatores climáticos, a produção de águas cinzas é proporcional ao consumo de água nas residências. Em outras palavras, enquanto houver pessoas utilizando as instalações hidro-sanitárias de uma edificação, haverá produção de águas cinzas. Por tal motivo, em termos quantitativos, a sua utilização geralmente não comporta riscos de falta de água de reúso para

usos não potáveis nas edificações. Pode haver uma defasagem temporal entre a demanda e a oferta, o que implica na necessidade de implantação de reservatório de estocagem de água de reúso na edificação.

Os aspectos quantitativos, tanto de produção quanto de demanda de água cinza, relacionam-se diretamente com o consumo de água dentro das residências, que variam de acordo com a região, com o clima e com os costumes da população. Segundo Rose *et al.* (1991) o volume de água cinza gerado em uma habitação pode variar de local para local. Em Tucson, no Arizona, este volume pode ser da ordem de 117 litros por hab/dia (FOSTER & DeCOOK, apud ROSE, 1991) enquanto na Califórnia este volume, estimado por INGHAM, apud ROSE (1991), pode chegar a 223 litros por hab/dia. Volumes aproximados de geração de água cinza por dispositivos sanitários em uma habitação, determinados por NSWHEALTH (2002), são apresentados na Tabela 4.4:

Tabela 4.4 Percentual aproximado de esgoto bruto e água cinza-gerados em uma habitação

| Origem | Esgoto bruto total | | Água cinza total | |
|-----------------|--------------------|-------|------------------|-------|
| | Total | l/dia | Total | l/dia |
| | % | | % | |
| Bacia Sanitária | 32 | 186 | - | - |
| Lavatório | 5 | 28 | 7 | 28 |
| Chuveiro | 33 | 193 | 48 | 193 |
| Cozinha | 7 | 44 | 11 | 44 |
| Lavanderia | 23 | 135 | 34 | 135 |
| Total | 100 | 586 | 100 | 400 |

Fonte: NSWHEALTH (2002)

As características como vazão específica dos aparelhos sanitários, associados à realidade de seus usos (frequência e duração de uso), permitem estimar a vazão diária de água cinza a ser produzida (SANTOS, 2002). Uma estimativa desta natureza é apresentada por Gonçalves e Bazzarella (2005), tendo como premissa dados de consumo publicados no site da empresa DECA (www.deca.com.br) e os dados de ocupação residencial apresentados na Tabela 4.5.

Estes autores estudaram 3 cenários de consumo de água (com e sem o uso de fontes alternativas), concluindo que uma economia de cerca de 22% no consumo de água potável pode ser obtido com a adoção

do reúso de água cinza na descarga sanitária e de água de chuva para lavagem de roupas Figura 4.7). Nesse caso, a produção de esgoto sanitário será reduzida em aproximadamente 14% do cenário 1 para o cenário 3. A utilização de água de chuva para a lavagem de roupas proporciona apenas a economia de água potável, mas não a produção de esgoto.

Tabela 4.5 Simulação de distribuição de consumo de uma família brasileira de 4 pessoas

| Vaso sanitário | Lavatório | Chuveiro | Pia de cozinha | Tanque | Máquina de lavar roupa |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 4 pessoas 3 descargas/dia 12 L/descarga | 4 pessoas 3 min/dia 10 L/min | 4 pessoas 10 min/dia 12 L/min | 4 pessoas 15 min/dia 10 L/min | 4 pessoas 5 min/dia 10 L/min | 4 pessoas 3 ciclos/semana 210 L/ciclo |
| 14% | 12% | 47% | 14% | 5% | 8% |

Fonte: Gonçalves e Bazzarella (2005)

Considerando que a água de reúso seja utilizada nas descargas sanitárias, na irrigação de jardins, na lavagem de carros e calçadas, fica claro que a produção de água cinza em uma residência típica de classe média no Brasil excede essa demanda específica. Portanto, o dimensionamento do sistema de reúso deve considerar esse desequilíbrio, prevendo:

- Tratamento e reúso: para a fração correspondente à demanda de água para reúso.
- Descarte: para o excesso de água cinza.

Variações horárias da oferta e da demanda

Um dos aspectos determinantes do sucesso de um sistema de gerenciamento de águas cinzas na escala das edificações é o correto manejo das cargas hidráulicas decorrentes das variações de vazão na escala horária. Esse aspecto assume particular importância no Brasil, tendo em vista os hábitos da população do país no que se refere aos banhos seguidos e prolongados, resulta em uma produção excedentária de água cinza se o uso preponderante da água de reúso for as descargas sanitárias. Deve ser considerado que cerca de 80% de toda a água cinza em uma edificação predominantemente residencial são produzidos nos horários de pico (entre 6:00 e 9:00 h, 11:00 e 14:00 h e 17:00 e 21:00 h).

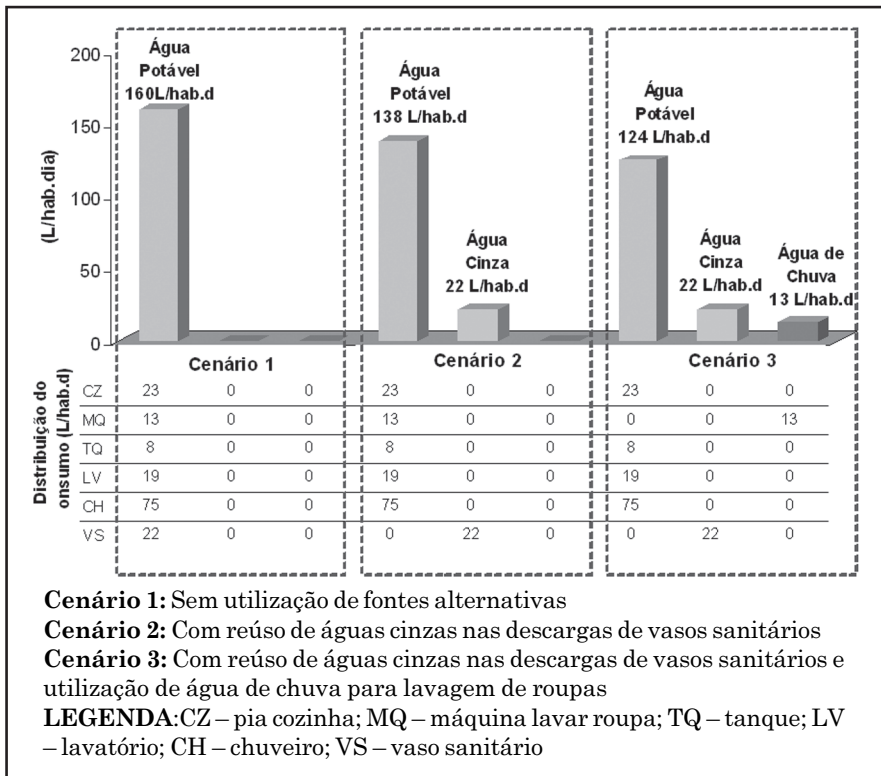


Figura 4.7 Análise de cenários com e sem o uso de fontes alternativas de água em residências Fonte: Gonçalves e Bazzarella (2005).

Estudos feitos por Surendran & Wheatley (1998, apud JEFFERSON *et al*, 1999), em uma universidade, mostram que o volume acumulado de água cinza gerado e o volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários em um dia são bastante semelhantes. Entretanto a dinâmica da situação não é tão ideal. A água cinza é produzida em um tempo ligeiramente deslocado de quando a descarga dos vasos é acionada e, além disso, ela é gerada em curtos períodos de tempo, ao passo que a descarga dos vasos sanitários ocorre de maneira mais consistente ao longo do dia. Isso geralmente resulta em um déficit de água durante a tarde e a madrugada, como mostra a figura 4.8. A utilização de reservatórios de estocagem pode corrigir esse déficit, mas aumenta substancialmente o tamanho de todo o sistema.

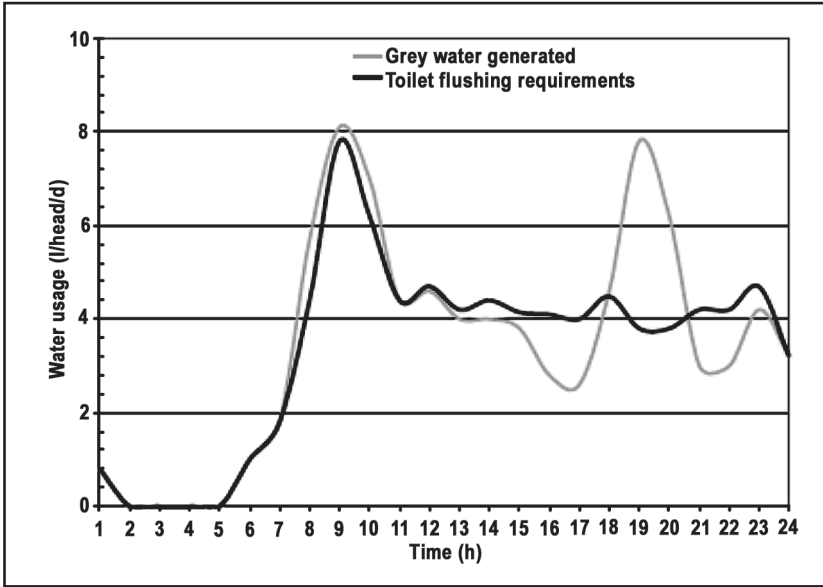


Figura 4.8 Produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitário requeridas em uma universidade. Fonte: Surendran & Wheatley, 1998, apud JEFFERSON *et al*, 1990.

Exemplo 1: Estimar a produção e a demanda de águas cinzas para reúso em um edifício de 4 pavimentos, com 4 apartamentos tipo por andar e 2 dormitórios, localizado em Vitória/ES.

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Número de pavimentos | 4 |
| Número de apartamentos por pavimento | 4 |
| Número de habitantes por apartamento | 4 |
| Número de banheiros | 1 |
| Área impermeável | 100 m ² |

a) Cálculo das demandas não potáveis

Para o cálculo das demandas não potáveis utiliza-se a equação 3.9, após a determinação das demandas internas e externas da edificação. Serão adotados os seguintes dados para o cálculo das demandas não potáveis:

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Vaso sanitário | 6 L/descarga |
| | 5 descargas por dia |
| | perdas por vazamento de 10% |
| Lavagem da área impermeabilizada | 4,0 L/dia/m ² |
| | 8 utilizações/mês |

- Cálculo das demandas internas

População:

N = 4 pavimentos x 4 apartamentos x 4 pessoas por apartamento

N = 64 pessoas

A demanda interna corresponde apenas ao volume de água a ser utilizada nos vasos sanitários, acrescida de um potencial de perdas de 10%.

$$Q_{INT} = Q_{VS}$$

$$Q_{INT} = 2.112,0L/d$$

- Cálculo das demandas externas:

A demanda externa, neste caso, será considerada como a lavagem da área impermeabilizada do edifício.

$$Q_{EXT} = Q_{AI}$$

$$Q_{AI} = \frac{(100 \times 4 \times 8)}{30} = 106,67L/d$$

$$Q_{EXT} = 106,67L/d$$

- Cálculo da demanda total de água não potável:

A demanda total será dada pela soma das demandas internas e externas à edificação:

$$Q_{NP} = 2.112 + 106,67$$

$$Q_{NP} = 2.218,67L/d$$

$$Q_{NP} = 66,56m^3/mês$$

b) Estimativa da produção de água cinza

Serão adotados os seguintes dados para cálculo da produção de água cinza:

| | | |
|-------------------------|-------------------------------|--|
| Lavatório | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{LV} = N \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 4 min/hab.dia | $Q_{LV} = 64 \times 20 \times 4 \times 1$ |
| | Frequência (f) = 1,0 vez/dia | $Q_{LV} = 5.120 \text{ L/dia}$ |
| Chuveiro | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{CH} = N \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 10 min/hab.dia | $Q_{CH} = 64 \times 20 \times 10 \times 1,5$ |
| | Frequência (f) = 1,5 vez/dia | $Q_{CH} = 19.200 \text{ L/dia}$ |
| Tanque | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{LV} = N_{apt} \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 5 min/hab.dia | $Q_{LV} = 16 \times 20 \times 5 \times 1$ |
| | Frequência (f) = 1 vez/dia | $Q_{LV} = 1.600 \text{ L/dia}$ |
| Máquina de lavar | Vazão (q) = 108 L/ciclo | $Q_{LV} = N_{apt} \times q \times t \times f$ |
| | Frequência (f) = 1 ciclo/dia | $Q_{LV} = 16 \times 108 \times 1 \times 0,20$ |
| | 20% de apartamento c/ máquina | $Q_{LV} = 346 \text{ L/dia}$ |
| PRODUÇÃO TOTAL = | | 26.266 L/dia 1,09 m³/h 788 m³/mês |

Características Qualitativas da Água Cinza

Características Físicas

As águas cinzas de maneira geral apresentam turbidez e concentração de sólidos em suspensão bastante elevadas (Tabela 4.6). Resíduos de alimentos, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de material sólido nas águas cinzas de cozinha, banheiro (chuveiro e lavatório) e lavanderia (tanque e máquina de lavar) respectivamente. Esses materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável à água cinza, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reúso sem tratamento. Quando comparada com o esgoto doméstico, a água cinza misturada possui concentrações de SST médias semelhantes às de um esgoto médio: 230 mg/L (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Tabela 4.6 Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Parâmetros físicos

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetros Físicos | |
|------------------------------------|---------------------|----------------|--------------------|------------|
| | | | Turbidez (NTU) | SST (mg/L) |
| Siegrist <i>et al.</i> (1976) * | CH / BH | EUA | - | 120 |
| | MQ (lava) | | - | 280 |
| | MQ (enxágue) | | - | 120 |
| | CZ | | - | 720 |
| | MQ louça | | - | 440 |
| Christova-Boal <i>Et al</i> (1996) | BH | Austrália | 60 - 240 | - |
| | MQ | | 50 - 210 | - |
| Almeida <i>et al.</i> (1999) | LV | Inglaterra | - | 181 |
| | CH | | - | 200 |
| | BH | | - | 54 |
| | MQ | | - | 165 |
| | CZ | | - | 235 |
| Borges (2003) | BH | Curitiba | 2,0 - 189 | - |
| Burnat & Mahmoud (2004) | MS | Palestina | - | 94 - 181 |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | Santa Catarina | 2 - 583 | 25 - 351 |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Espírito Santo | 95 - 327 | 84 - 209 |
| | CH | | 45 - 345 | 15 - 483 |
| | TQ | | 111 - 507 | 68 - 756 |
| | MQ | | 32 - 100 | 17 - 106 |
| | CZ | | 60 - 750 | 101 - 1103 |
| | MS | | 90 - 289 | 70 - 220 |

LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura; * (apud ERIKSSON et al 2002)

Compostos nitrogenados

As concentrações de compostos nitrogenados em águas cinzas são relativamente baixas, quando comparadas às existentes em esgotos sanitários de características médias, cuja principal fonte de nitrogênio é a urina (Tabela 4.7). No caso da água cinza, a principal fonte de nitrogênio são os alimentos processados na cozinha. Segundo Jordão e Pessoa (2005), as concentrações típicas desses parâmetros em esgotos sanitários com características médias são: $\text{NTK} = 40 \text{ mg/L}$, $\text{N-NH}_3 = 20 \text{ mg/L}$, $\text{N-NO}_2^- = 0,05 \text{ mg/L}$ e $\text{N-NO}_3^- = 0,2 \text{ mg/L}$.

Tabela 4.7 Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Compostos nitrogenados

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetros (mg/L) | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| | | | NTK | NH ₃ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | NO ₃ & NO ₂ |
| Siegrist <i>et al.</i> (1976) * | CH / BH | EUA | - | 2,0 | 0,4 | - | - |
| | MQ (lava) | | - | 0,7 | 0,6 | - | - |
| | MQ (enxágue) | | - | 0,4 | 0,4 | - | - |
| | CZ | | - | 6,0 | 0,3 | - | - |
| | MQ louça | | - | 4,5 | 0,3 | - | - |
| Butler <i>et al.</i> (1995) | LV | Inglaterra | - | 0,16 | 0,7 | - | - |
| | CH / BH | Malta | - | 0,23 | 1,02 | - | - |
| | | Inglaterra | - | 1,5 | 0,36 | - | - |
| | MQ | Malta | - | 1,6 | 0,39 | - | - |
| | | Inglaterra | - | 10 | 1,93 | - | - |
| | | Malta | - | 10,5 | 1,98 | - | - |
| | CZ | Inglaterra | - | 4,2 | 0,38 | - | - |
| Christova-Boal <i>et al.</i> (1996) | BH | Austrália | - | 3,68 | 0,33 | - | - |
| | MQ | | 4,6 - 20 | <0,1 - 15 | - | - | <0 |
| | LV | | 1,0 - 40 | <0,1 - 1,9 | - | - | 0,10 - 0,31 |
| | CH | | - | 0,3 | 6 | - | - |
| | BH | | - | 1,2 | 6,3 | - | - |
| Almeida <i>et al.</i> (1999) | BH | Inglaterra | - | 1,1 | 4,2 | - | - |
| | MQ | | - | 2,0 | 2,0 | - | - |
| | CZ | | - | 0,3 | 5,8 | - | - |
| | MS | | 16 - 17 | 7 - 12 | 0 - 1,3 | - | - |
| Burnat & Mahmoud (2004) | MS | Palestina | - | - | - | - | - |
| | Pesquisa UFSC (2006) | MS | 2,9 - 33,6 | 0,2 - 12,0 | 0 - 1,46 | 0 - 1,0 | - |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Santa Catarina | 0,7 - 21,2 | 0,2 - 1,1 | 0,00 - 0,93 | 0,01 - 0,14 | - |
| | CH | Espírito Santo | 1,2 - 6,6 | 0,2 - 1,4 | 0,01 - 0,73 | 0,00 - 0,11 | - |
| | TQ | | 2,5 - 27,8 | 1,1 - 15,2 | 0,18 - 1,42 | 0,01 - 0,36 | - |
| | MQ | | 0,2 - 5,9 | 0,3 - 4,4 | 0,14 - 0,76 | 0,01 - 0,52 | - |
| | CZ | | 5,1 - 22,1 | 1,0 - 6,4 | 0,07 - 1,17 | 0,01 - 0,36 | - |
| | MS | | 2,3 - 11,2 | 0,9 - 4,1 | 0,19 - 0,98 | 0,00 - 0,19 | - |
| | MQ | | Espírito Santo | 0,7 - 21,2 | 0,2 - 1,1 | 0,00 - 0,93 | 0,01 - 0,14 |
| CH | 1,2 - 6,6 | | | 0,2 - 1,4 | 0,01 - 0,73 | 0,00 - 0,11 | - |

LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura; * (apud ERIKSSON *et al.* 2002)

Compostos fosforados

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Isso explica as concentrações nas amostras de tanque, máquina de lavar e cozinha, sempre maiores do que nas amostras de lavatório e chuveiro (Tabela 4.8). As concentrações de fósforo em águas cinza podem ser semelhantes ou até superiores àquelas de esgotos sanitários com características médias, que, segundo JORDÃO e PESSOA (2005), atingem $P_{total} = 10 \text{ mg/L}$.

Tabela 4.8 Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos fosforados

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetro (mg/L) | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------|------------------|--------------------|
| | | | P-total | PO ₄ -P |
| Siegrist <i>et al.</i> (1976) * | CH / BH | EUA | 2 | 1 |
| | MQ (lava) | | 57 | 15 |
| | MQ (enxágue) | | 21 | 4 |
| | CZ | | 74 | 31 |
| | MQ louça | | 68 | 32 |
| Butler <i>et al.</i> (1995) | LV | Inglaterra | - | 30 |
| | | Malta | - | 44 |
| | CH / BH | Inglaterra | - | 0,89 |
| | | Malta | - | 0,98 |
| | MQ | Inglaterra | - | 31 |
| | | Malta | - | 32 |
| | CZ | Inglaterra | - | 14 |
| | | Malta | - | 12 |
| Christova-Boal <i>et al.</i> (1996) | BH | Austrália | 0,11 - 1,8 | - |
| | MQ | | 0,062 - 42 | - |
| Almeida <i>et al.</i> (1999) | LV | Inglaterra | - | 13,3 |
| | CH / BH | | - | 19,2 |
| | BH | | - | 5,3 |
| | MQ | | - | 21,0 |
| | CZ | | - | 26,0 |
| Borges (2003) | BH | Curitiba | 0,51 - 38,4 | - |
| Burnat & Mahmoud (2004) | MS | Palestina | 15 - 17 | 4,5 - 5,2 |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | Santa Catarina | 0,3 - 27,8 | - |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Espírito Santo | 0,1 - 1,1 | - |
| | CH | | 0,0 - 0,5 | - |
| | TQ | | 0,4 - 34,7 | - |
| | MQ | | 2,8 - 26,1 | - |
| | CZ | | 3,5 - 13,3 | - |
| | MS | | 1,1 - 13,2 | - |

LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura; * (apud ERIKSSON *et al* 2002)

Matéria orgânica

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo. A maior parte dela é oriunda de resíduos de alimento, óleos e gorduras, resíduos corporais, sabão, etc (Tabela 4.9). Já a matéria inorgânica provém principalmente dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza. Em alguns casos específicos, as concentrações de DBO₅ e de DQO podem até superar as concentrações características de esgotos sanitários concentrados. Segundo Jordão e Pessoa (2005), as concentrações típicas desses parâmetros em esgotos sanitários com características médias são DBO₅ = 200 mg/L e DQO = 400 mg/L.

Tabela 4.9 Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos orgânicos

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetros Físicos | |
|--|---------------------|----------------|-------------------------|------------|
| | | | DBO ₅ (mg/L) | DQO (mg/L) |
| Siegrist <i>et al.</i> (1976) * | CH / BH | EUA | 170 | - |
| | MQ (lava) | | 380 | - |
| | MQ (enxágue) | | 150 | - |
| | CZ | | 1460 | - |
| | MQ louça | | 1040 | - |
| Christova-Boal <i>et al.</i> (1996) | BH | Austrália | 76 - 200 | - |
| | MQ | | 48 - 290 | - |
| Almeida <i>et al.</i> (1999) | LV | Inglaterra | - | 298 |
| | CH | | - | 501 |
| | BH | | - | 210 |
| | MQ | | - | 1815 |
| | CZ | | - | 644 |
| Borges (2003) | BH | Curitiba | 17 - 287 | - |
| Burnat & Mahmoud (2004) | MS | Palestina | 222 - 375 | 600 - 850 |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | Santa Catarina | 24 - 808 | 36 - 921 |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Espírito Santo | 90 - 675 | 190 - 1200 |
| | CH | | 100 - 188 | 216 - 1127 |
| | TQ | | 100 - 875 | 558 - 3958 |
| | MQ | | 90 - 300 | 190 - 920 |
| | CZ | | 190 - 1200 | 480 - 4793 |
| | MS | | 425 - 725 | 190 - 1331 |
| LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura; * (apud Eriksson <i>et al.</i> 2002) | | | | |

Compostos de enxofre

Os compostos de enxofre encontram relação direta com a formação de odores desagradáveis onde há geração de água cinza. Como exemplo pode ser citado o odor desagradável de roupas que permaneceram sob enxágüe em água com sabão por períodos prolongados. A formação do gás sulfídrico (H_2S) é o principal fator responsável pelos odores desagradáveis, o que ocorre naturalmente em ambientes redutores. Entretanto, as condições ideais para a produção de sulfetos não se encontram presentes logo que a água cinza é produzida, o que resulta em concentrações bastante baixas desse composto (Tabela 4.10). Essas concentrações podem aumentar significativamente em virtude das elevadas concentrações de sulfato, oriundo de sabões e detergentes, e as decomposição de matéria orgânica (proteínas).

Tabela 4.10 Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos de enxofre

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetro (mg/L) | |
|-------------------------|---------------------|----------------|------------------|-------------|
| | | | Sulfato | Sulfeto |
| Burnat e Mahmoud (2004) | MS | Palestina | 52 - 54 | - |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Espírito Santo | 9,4 - 325,5 | 0,00 - 0,19 |
| | CH | | 22,4 - 439,5 | 0,06 - 0,17 |
| | TQ | | 18,2 - 1149,3 | 0,01 - 0,23 |
| | MQ | | 38,4 - 1011,1 | 0,05 - 0,25 |
| | CZ | | 25,4 - 326,2 | 0,07 - 0,29 |
| | MS | | 121,1 - 377,3 | 0,06 - 0,22 |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | Santa Catarina | 8,3 - 32,4 | 0,04 - 0,59 |

LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura

Outros parâmetros de qualidade

O pH da água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. A água cinza geralmente apresenta o pH bem próximo da neutralidade, tal como esgotos sanitários típicos. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para aumento do mesmo, tal como ocorre nas águas cinza geradas em máquinas de lavar e em tanques, devido ao uso de sabão em pó e de amaciante (Tabela 4.11).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) são relativamente altas logo após a produção da água cinza. A alcalinidade é um parâmetro muito importante quando se pretende tratar a água cinza pela via de digestão anaeróbia, visto que uma redução do pH pode afetar os microrganismos responsáveis pela depuração.

Segundo Von Sperling (2005), apesar de não haver evidências de que a dureza cause problemas sanitários, uma água dura reduz a formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão, e pode causar incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores (devido a maior precipitação de nas temperaturas elevadas). Esta característica na água cinza depende muito da água de abastecimento, o que, no caso estudado pela UFES, resulta em uma água cinza com característica de água branda (dureza $< 50\text{mg/LCaCO}_3$). Isso é uma vantagem e também um indicativo de que água cinza, depois de tratada, pode ser reutilizada também para lavagem de roupas.

Os cloretos (Cl⁻) são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio. Isso explica as altas concentrações desse íon no efluente da cozinha na pesquisa realizada pela UFES (130mg/L). Neste estudo, a água cinza, com exceção da amostra do tanque, apresentou concentrações de cloretos similares as de esgoto sanitário de características médias (Tabela 4.12).

As principais fontes de óleo e graxas (O&G) na água cinza são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimento, resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana. Dessa forma, as amostras cozinha apresentam maior concentração desses compostos, seguido pelas amostras de tanque e chuveiro. Considerando a presença de águas servidas de cozinha na água cinza, observa-se concentrações de O&G similares a de esgoto sanitário médio. Caso não haja a remoção prévia de O&G, a presença desses compostos em quantidade pode diminuir a eficiência de tratamentos biológicos subsequentes.

Para efeito de comparação, os valores característicos destes parâmetros em esgotos sanitários são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.11 Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Outros parâmetros

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetros Químicos | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|------------|-------------------|---------------|--------------|----------------|
| | | | pH | OD | Alcalinid. (mg/L) | Dureza (mg/L) | O&G (mg/L) | Cloreto (mg/L) |
| Christova-Boal <i>et al.</i> (1996) | Banheiro | Austrália | 6,4 - 8,1 | - | 24 - 43 | - | 37 - 78 | 9,0 - 18 |
| | Lavanderia | | 9,3 - 10 | - | 83 - 200 | - | 8,0 - 35 | 9,0 - 88 |
| Borges (2003) | Banheiro | Curitiba | 6,7 - 8,5 | 2,67 - 5,9 | | - | | |
| | | Al-Mwaleh | 7,88 | 2,3 | 19 | - | - | - |
| | | Al-Hail | 7,69 | 2,6 | 17 | - | - | - |
| | Chuveiro | Al-Khodh | 6,77 | 2,8 | 9 | - | - | - |
| | | Al-Mwaleh | 8,04 | 2,5 | 42 | - | - | - |
| | | Al-Hail | 8,87 | 2,7 | 27 | - | - | - |
| Jamrah <i>et al.</i> (2004) | Lavanderia | Al-Khodh | 8,08 | 3,5 | 16 | - | - | - |
| | | Al-Mwaleh | 7,69 | 2,8 | 20 | - | - | - |
| | | Al-Hail | 7,06 | 2,3 | 15 | - | - | - |
| | Pia de cozinha | Al-Khodh | 6,68 | 3,9 | 5 | - | - | - |
| | | Palestina | 6,6 - 7,4 | 5,24 - 6,5 | - | - | - | 180 - 220 |
| | | Santa Catarina | 7,0 - 8,9 | 1,5 - 4,6 | 19,2 - 278,0 | - | - | 16,9 - 78,1 |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | LV | 6,63 - 8,97 | 4,7 - 8,9 | 45,5 - 204,0 | 21,7 - 104,9 | 30,4 - 124,7 | 1,3 - 18,8 |
| | | | 6,83 - 8,14 | 5,9 - 7,5 | 21,3 - 103,3 | 12,8 - 79,9 | 34,0 - 319,8 | 5,2 - 36,6 |
| Pesquisa UFES (2005) | MS | TQ | 7,71 - 9,55 | 5,1 - 8,6 | 102,5 - 262,5 | 16,8 - 94,9 | 22,0 - 282,2 | 2,7 - 158,8 |
| | | | 7,92 - 9,73 | 5,3 - 8,7 | 28,9 - 109,5 | 12,8 - 84,9 | 7,1 - 41,8 | 4,9 - 69,0 |
| | | | 4,21 - 5,95 | 1,8 - 6,4 | 0,0 - 5,4 | 0,0 - 48,4 | 52,0 - 339,8 | 2,6 - 307,9 |
| | | | 5,99 - 7,58 | 5,5 - 7,6 | 39,0 - 312,4 | 0,0 - 65,2 | 51,5 - 217,8 | 20,6 - 100,0 |

LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura

Tabela 4.12 Características químicas típicas no esgoto bruto

| Parâmetro | Concentração | |
|--|--------------|--------|
| | Faixa | Típico |
| pH | 6,7 – 7,5 | 7,0 |
| Alcalinidade (mg/L) | 110 – 170 | 140 |
| Cloretos (mg/L) | 20 – 50 | 35 |
| Óleo e Graxas (mg/L) | 55 – 170 | 110 |
| OD (mg/L) | 0 | 0 |
| Fonte: Von Sperling (2005); Jordão & Pessoa (2005) | | |

Caraterísticas microbiológicas

Embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, a presença de consideráveis densidades de coliformes termotolerantes neste tipo de água residuária é um fato. A limpeza das mãos após o uso do toalete, lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes de contaminação.

Na pesquisa da UFES, as amostras de chuveiro foram as que apresentaram maior densidade, tanto de coliformes totais quanto de *E.coli* (ambos em torno de 10^4). Além disso, por representar a maior fração na água cinza misturada (40%), os resultados na amostra composta também foram bastante significativos (Tabela 4.13). Outros autores também identificaram a presença de contaminação fecal, através de resultados positivos da coliformes termotolerantes. Borges (2003), por exemplo, encontrou concentrações de até sete unidades logarítmicas para amostras de banheiro (Tabela 4.14). Apesar das densidades dos indicadores de contaminação fecal na água cinza serem menores do que as encontradas no esgoto, elas não são desprezíveis e evidenciam a necessidade de uma desinfecção prévia no caso reúsos mais restritivos.

Tabela 4.13 Caracterização de águas cinzas segregadas - Parâmetros microbiológicos

| Referência | Fonte de água cinza | Local | Parâmetros (NMP/100mL) | | |
|---|---------------------|----------------|--|---------------------------|--|
| | | | Coliforme total | Coliforme Termotol. | <i>E.coli</i> |
| Siegrist <i>et al</i> (1976)* | MQ (Lava) | EUA | 85 - 8,9x10 ⁵ | 9 - 1,6x10 ⁴ | - |
| | MQ (enxágue) | | 190 - 1,5x10 ⁵ | 35 - 7,1x10 ³ | - |
| Rose <i>et al.</i> (1991) | CH / BH | EUA | 10 ⁵ | 6x10 ³ | - |
| | MQ (Lava) | | 199 | 126 | - |
| | MQ (enxágue) | | 56 | 25 | - |
| Hargelius <i>et al.</i> (1995)* | MQ | Suécia | - | - | 2,82 x 10 ⁷ |
| | CZ | | - | - | 1,6x10 ⁵ - 9,66 x 10 ⁷ |
| | BH / CZ | | - | - | 2,36 x 10 ⁸ |
| Borges (2003) | BH | Curitiba | 5,1 - 1,6x10 ⁸ | 2,0 - 1,6x10 ⁷ | - |
| Pesquisa UFSC (2006) | MS | Santa Catarina | 2,4x10 ³ - 2,42x10 ⁵ | | 0 - 2,42x10 ⁵ |
| Pesquisa UFES (2005) | LV | Espírito Santo | 1,4x10 ² - 1,4x10 ² | - | 1,0 - 9,0x10 ¹ |
| | CH | | 4,0x10 ⁴ - 7,3x10 ⁴ | - | 2,4x10 ³ - 2,0x10 ⁵ |
| | TQ | | 1,0 - 5,8x10 ³ | - | 1,0 - 2,1x10 ³ |
| | MQ | | 1,0 - 1,6x10 ² | - | 1,0 - 2,6x10 ⁴ |
| | CZ | | 1,0 - 1,1x10 ⁶ | - | 1,0 - 1,9x10 ⁵ |
| | MS | | 2,9x10 ⁴ - 1, x10 ⁵ | - | 1,0x10 ⁴ - 1,3 x10 ⁵ |
| LEGENDA: CZ – pia cozinha; MQ – máquina lavar roupa; TQ – tanque; LV – lavatório; CH – chuveiro; VS – vaso sanitário; MS – Mistura; * (apud ERIKSSON <i>et al</i> 2002) | | | | | |

Importantes densidades de *Staphylococcus aureus* foram detectados por Bortone *et al.* (1999) em águas cinzas provenientes de banho. Os mesmos autores detectaram densidades significativas de *Pseudomonas aeruginosa* em águas cinzas de chuveiro e de lavatórios.

Biodegradabilidade

Outro aspecto importante no gerenciamento de água cinza é a sua elevada biodegradabilidade. Os resultados obtidos na pesquisa realizada pela UFES indicam que alguns tipos de águas cinza são mais biodegradáveis do que esgoto sanitário de características médias. Isso indica que períodos de estocagem relativamente curtos podem comprometer significativamente as características iniciais dessas águas, sobretudo no que se refere à produção de odores (Figura 4.9). Quando atinge esse estado séptico, a água cinza forma um lodo que pode sedimentar ou flotar dependendo do conteúdo de gás e da densidade do mesmo.

Olson *et al* (1968), apud Greywater (2004), estudaram comparativamente a biodegradabilidade aeróbia de águas cinzas e águas negras. O estudo baseou-se na metodologia do teste de DBO₅ considerando a constante de degradação k_1 como o principal indicador de biodegradação. Os resultados obtidos nos estudos da UFES produziram resultados muito semelhantes aos obtidos na pesquisa realizada na Suécia, onde foram encontrados valores de k_1 de 0,45 para água cinza.

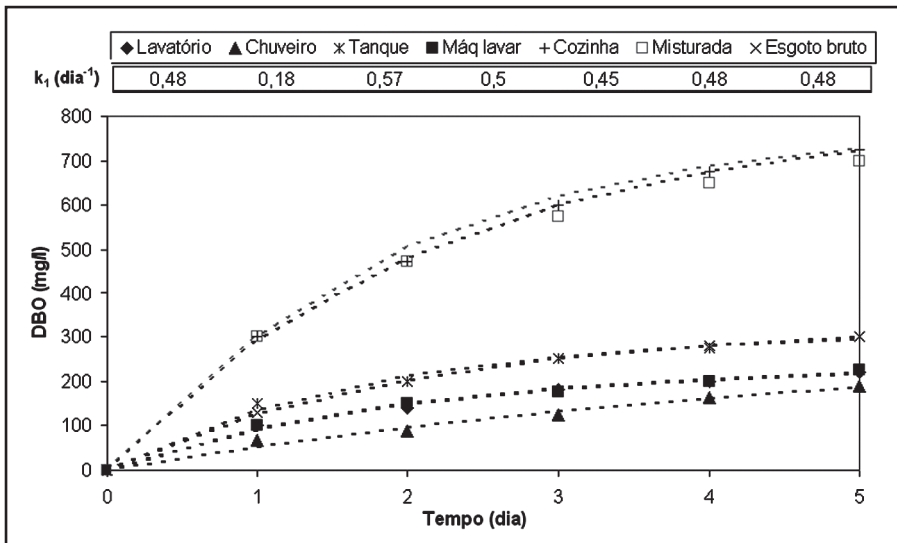


Figura 4.9 Curvas de biodegradabilidade de águas cinzas e de esgoto bruto
 Fonte: Bazzarella, 2005

Interferência das águas cinzas na composição de esgotos sanitários

A origem das diferenças de composição entre as águas cinzas e os esgotos sanitários estão exemplificadas na Figura 4.10 (OTTERPOHL, 2001). Observa-se que a maior contribuição ao esgoto sanitário em termos de volume provém das águas cinzas. Estas também contribuem significativamente com matéria orgânica (DQO) e fósforo. Entretanto, devido à ausência de quantidades significativas de urina (águas amarelas), as águas cinzas pouco contribuem com compostos nitrogenados para o esgoto sanitário. Outra diferença é que as águas cinzas oriundas de cozinhas, lavanderias e banheiros (chuveiros e lavatórios) possuem densidade de patógenos inferior às encontradas nos resíduos dos vasos sanitários (Figura 4.11).

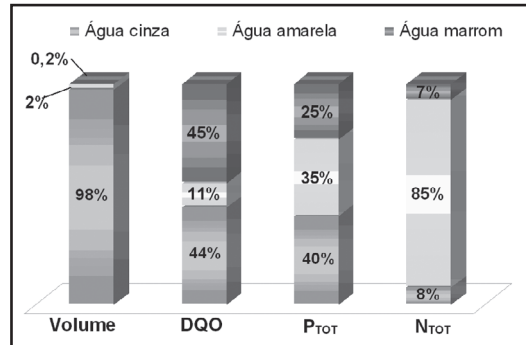


Figura 4.10 Distribuição de alguns compostos nas diferentes parcelas do esgoto doméstico.

Fonte: Adaptado de Otterpohl, 2001.

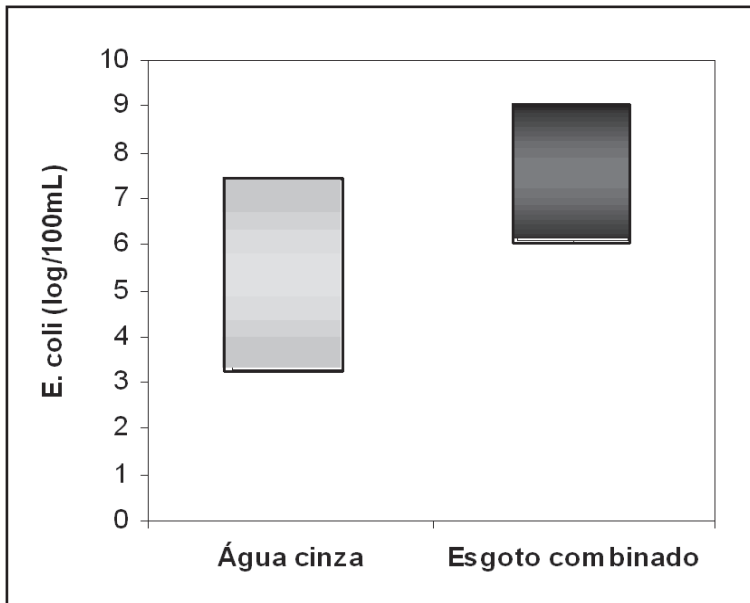


Figura 4.11 E. coli na água cinza e no esgoto doméstico combinado. Fonte: Adaptação Von Sperling (2005); Ottoson e Stenström (2003).

Tratamento de Águas Cinzas

As principais características a serem consideradas quando da definição do tipo de tratamento de águas cinzas para reúso são a grande variação de vazão em períodos curtos de tempo e a elevada biodegradabilidade. Há uma grande variedade de processos desenvolvidos,

variando desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reúso em larga escala (JEFFERSON *et al*, 1999).

Em função de suas características físico-químicas e biológicas, as águas cinzas podem ser tratadas por processos de tratamento semelhantes aos utilizados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Entretanto, deve se atentar para o fato de que as exigências quanto à qualidade do efluente tratado são muito superiores no caso de reúso de águas cinzas, sobretudo quando se trata de reúso em edificações. Para maiores informações sobre as tecnologias desenvolvidas pelo PROSAB para tratamento de esgoto sanitário, o leitor pode consultar os seguintes livros: Campos (1999), Chernicharo (2001), Gonçalves (2003) e Bastos (2003).

Conforme consta no primeiro livro da série PROSAB produzido pela rede temática 2, o tratamento (de esgoto sanitário) pode abranger diferentes níveis, denominados tecnicamente de tratamento primário, secundário ou terciário (CAMPOS, 1999). O fluxograma completo de uma ETE capaz de produzir esgoto tratado a nível terciário é apresentado na Figura 4.12. Em se tratando do tratamento de águas cinzas, propõe-se a abreviação ETAC como referência à Estação de Tratamento de Águas Cinzas.

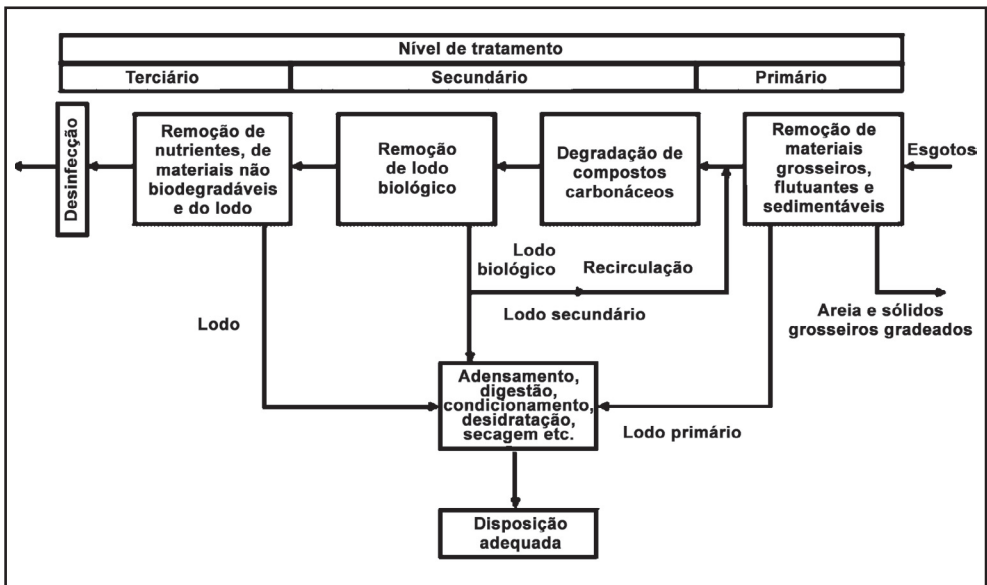


Figura 4.12 Etapas componentes de uma estação tratamento de esgotos.

Fonte: Campos, 1999.

Para produzir água de reúso inodora e com baixa turbidez, uma ETAC deve ser composta por, pelo menos, os níveis primário e secundário. Para se assegurar baixas densidades de coliformes termotolerantes, o tratamento deve prever desinfecção (nível terciário).

Tratamento primário

Tendo em vista as grandes variações de vazão de águas cinzas na escala horária, a utilização de um tanque de equalização de vazões pode ser importante, dependendo do tipo de tratamento a ser praticado, para regularizar cargas e vazões.

A presença de sólidos grosseiros nas águas cinzas, embora de dimensões reduzidas devido à presença dos ralos e grelhas nas instalações hidro-sanitárias, impõe a necessidade de uma etapa de tratamento primário. Podem vir a ser consideráveis as quantidades de areia, cabelos, felpas de tecidos, restos de alimentos, entre outros tipos de material. A remoção destes sólidos grosseiros pode ser realizada por meio de grades finas ou peneiras, raramente associadas a uma etapa de sedimentação (caixa retentora de areia). Para Christova-Boal *et al.* (1996), a etapa de filtração de águas cinzas deve ser composta por três estágios:

- Estágio 1 – Pré-filtro, localizado nas saídas da máquina de lavar, do chuveiro e dos lavatórios, para remover materiais grosseiros;
- Estágio 2 – Uma peneira para remoção de cabelo e partículas de sabão, felpas de tecidos e gordura corporal.
- Estágio 3 – Filtro fino na linha de suprimento de água para irrigação ou para os vasos sanitários, para reter precipitados ou material sedimentável.

Se não houver aproveitamento de água cinza originária de cozinhas, não é necessária a inclusão de caixas de gordura no fluxograma da ETAC.

Tratamento secundário

O tratamento secundário promove a degradação biológica de compostos carbonáceos, convertendo os carboidratos, óleos e graxas e proteínas a compostos mais simples, como: CO_2 , H_2O , NH_3 , H_2S etc.,

dependendo do tipo de processo predominante. Pode ser realizado pela via anaeróbia, pela via aeróbia ou pela associação em série de ambas: anaeróbia + aeróbia (CAMPOS, 1999).

Nos sistemas anaeróbios ocorre a conversão da maior parte do material orgânico biodegradável presente na água residuária em biogás (cerca de 70 a 90%) (Figura 4.13). Cerca de 5% a 15% da matéria orgânica é transformada biomassa microbiana, constituindo-se no lodo excedente do sistema. O efluente do sistema contém de 10% a 30% da matéria orgânica nele presente antes do tratamento. Já nos sistemas aeróbios, a degradação biológica é responsável pela conversão de 40 a 50% da matéria orgânica da água residuária em CO₂. Uma importante fração desta matéria orgânica (de 50 a 60%) é convertida em biomassa microbiana, produzindo lodo excedente do sistema. O material orgânico não convertido em gás carbônico ou em biomassa sai no efluente como material não degradado (5 a 10%).

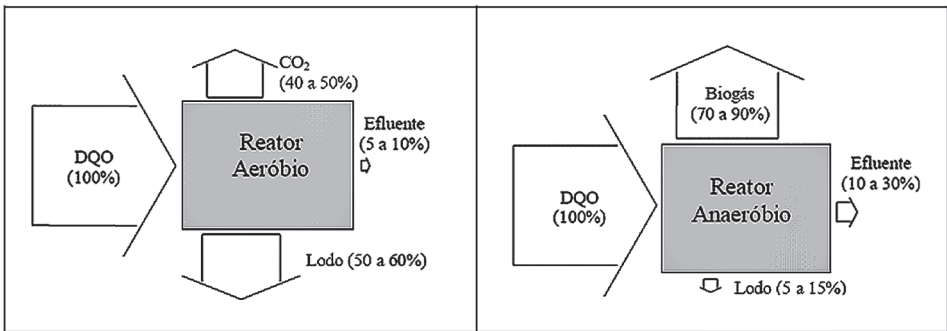


Figura 4.13 Conversão biológica da matéria orgânica nos sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento de esgoto sanitário. Fonte: Chernicharo, 2001

Descrições detalhadas sobre a configuração, as técnicas de projeto e os procedimentos de operação e manutenção dos processos anaeróbios para tratamento de esgotos sanitários são apresentadas em Campos (1999). Dentre eles, merecem destaque os reatores UASB, os tanques sépticos, os tanque Imhoff e os sistemas tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. Com relação aos processos aeróbios mais utilizados no tratamento de esgoto sanitário, podem ser citados: tratamento no solo (Vala de filtração, Infiltração rápida, Irrigação subsuperficial e Escoamento superficial), tratamento em lagoas (Lagoas de estabilização facultativas,

Lagoa de polimento, Lagoa de alta taxa de produção de algas), tratamento em reatores com biofilme (Filtro biológico percolador, Biofiltro aerado submerso, filtro biológico aerado submerso, Leito fluidizado aeróbio). Além do ,tratamento em reatores de lodos ativados (Sistema de lodos ativados convencional, Sistema de reatores seqüenciais em batelada) e tratamento em sistemas de flotação (Microaeração e flotação, Flotação por ar dissolvido). Informações detalhadas sobre esses processos aeróbios são fornecidas por Chernicharo (2001).

Levando-se em consideração as exigências estéticas das águas para reúso predial, em se tratando de águas cinzas, a etapa aeróbia do tratamento é obrigatória, por ser a única capaz de remover turbidez de maneira consistente. Não obstante, considerando as inúmeras vantagens oferecidas pela via anaeróbia na degradação de matéria orgânica, sistemas compostos pela associação de processos anaeróbio – aeróbio em série são particularmente interessantes para países com condições climáticas favoráveis, como no caso do Brasil.

Tratamento terciário

O tratamento terciário de águas cinzas deve ter como objetivo a desinfecção, uma vez que a remoção de nutrientes não é uma exigência cabível nos casos de reúso de água em edificações ou agrícola. O objetivo principal da desinfecção é inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana (GONÇALVES, 2003). Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos podem destruir ou danificar a parede celular, o citoplasma ou o núcleo celular; alterar importantes compostos envolvidos no catabolismo, tais como enzimas e seus substratos, e alterar os processos de síntese e crescimento celular. A desinfecção pode ser realizada através de processos artificiais ou naturais (Figura 4.14).

Tanto os processos artificiais como os naturais se utilizam, isoladamente ou de forma combinada, de agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. A desinfecção química é realizada através da aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio. O ozônio é um oxidante extremamente reativo, altamente bactericida, cuja complexidade operacional e o os

custos envolvidos, tanto na implantação quanto no funcionamento do sistema, ainda dificultam seu uso extensivo. A utilização da radiação ultravioleta (UV) mostra-se muito competitiva com a cloração / descloração devido à não geração dos subprodutos tóxicos. A filtração em membranas já integra o fluxograma de algumas estações de tratamento, e experimenta crescente aplicação devido à redução de preço das membranas.

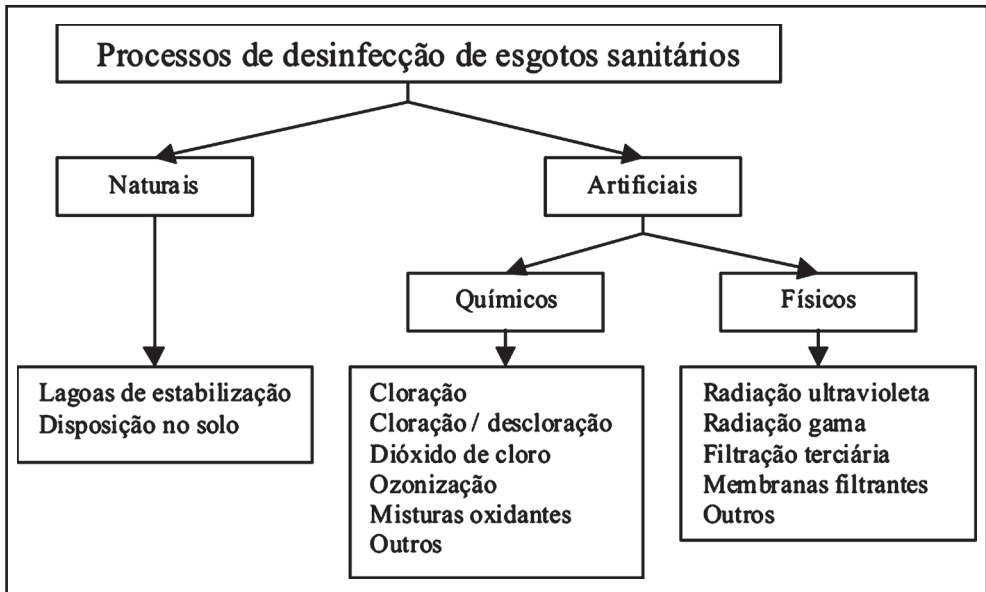


Figura 4.14 Processos de desinfecção de esgotos sanitários. Fonte: Gonçalves, 2003

Os sistemas de membrana oferecem uma barreira permanente para as partículas suspensas de dimensões superiores ao material da membrana, que podem variar de 0,5mm, para membranas de micro-filtração (MF), até as dimensões moleculares utilizadas para osmose reversa. Apesar dos sistemas de membranas gerarem efluentes com baixíssima turbidez e densidade de coliformes abaixo do limite de detecção, eles apresentam a desvantagem de requererem elevadas demandas de energia (JEFFERSON et al, 1999).

Exemplos de ETACs

Alguns exemplos de estações de tratamento de águas cinzas são apresentados a seguir (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 Exemplos de estações de tratamento de águas cinzas

| Local Uso | Nível de tratamento | | | Qualidade do efluente | Referência |
|----------------------|------------------------------|---|--|--|-------------------------------|
| | Primário | Secundário | Terciário | | |
| Austrália | Grade grosseira + filtro | Lodos ativados (tanque de aeração + clarificador) | Desinfecção com cloro | | Neal (1996) |
| Suécia | Filtro de pedras | Sistema de 3 lagoas em série + filtro de areia | Desinfecção nas lagoas | DBO ₅ = 0 N = 1,618 P = 0,02 CTer = 172 | Günther (2000) |
| Alemanha | Decantação | Biodisco / 4 estágios | UV – 250±400 J.m ² | DBO ₅ = 5 SF = 0,03 | Nolde (1999) |
| | Decantação | Leito fluidizado | UV – 250±400 J.m ² | DBO ₅ = 5 SF = 0,03 | Nolde (1999) |
| Inglaterra | Filtração simples ou dupla | | Cloração | DBO > 50 CTer = 0 | Jefferson et al. (1999) |
| | Grade + filtro duplo / areia | Membrana | | DBO ₅ = 4,7 DQO = 35,7 Turb = 0,34 CTer = 0 | Jefferson et al. (1999) |
| | Grade | Membrana | | DBO ₅ < 19 DQO = 112 Turb < 1 CTer = ND | Jefferson et al. (1999) |
| | Grade | Lodo ativado com membrana (MBR) | | DBO ₅ = 1,1 DQO = 9,6 Turb = 0,32 CTer = ND | Jefferson et al. (1999) |
| | Grade | Biofiltro aerado submersos | | DBO ₅ = 4,3 DQO = 15,1 Turb = 3,2 CTer = 2x10 ⁴ | Jefferson et al. (1999) |
| Brasil / Predial | Peneira | Reator anaeróbio compartimentado + filtro biológico aerado submerso + filtro de areia | Cloração com pastilhas de hipoclorito de sódio | SS = 1 DBO ₅ = 5 Turb = 2 CTer = 0 | Bazzarella e Gonçalves (2005) |
| Brasil / Residencial | Grade fina | Filtro aeróbio com leito de brita | Cloração com pastilhas de hipoclorito de sódio | SS = 9 DBO ₅ = 6 Turb = 14 | Peters (2006) |

Neal (1996) recomenda que o tratamento mínimo de águas cinzas com vistas ao reúso predial seja composto pelas seguintes etapas: gradeamento grosseiro, aeração, (digestão / floculação natural), sedimentação e

desinfecção (caso exista a possibilidade de contato direto durante o reúso). O autor propõe a seguinte configuração típica para uma ETAC:

- Filtro para retenção complementar de sólidos, cujo meio filtrante deve ser composto por material barato, não reutilizável e biodegradável, para ser utilizado como substrato em compostagem local.
- Tanque de aeração principal, compartimentado e dimensionado para tratar a produção de água cinzas de pelo menos 1 semana.
- Tanque de estocagem (de preferência, aerado), dimensionado para estocar a produção de águas cinzas de 4 semanas.
- Unidade de desinfecção, caso haja contato direto por parte dos usuários.

Um sistema proposto por Jefferson et al. (1999), contendo uma etapa de decantação, tratamento secundário em biodiscos de multi-estágios e uma etapa de desinfecção através de reator UV, é apresentado na Figura 4.15.

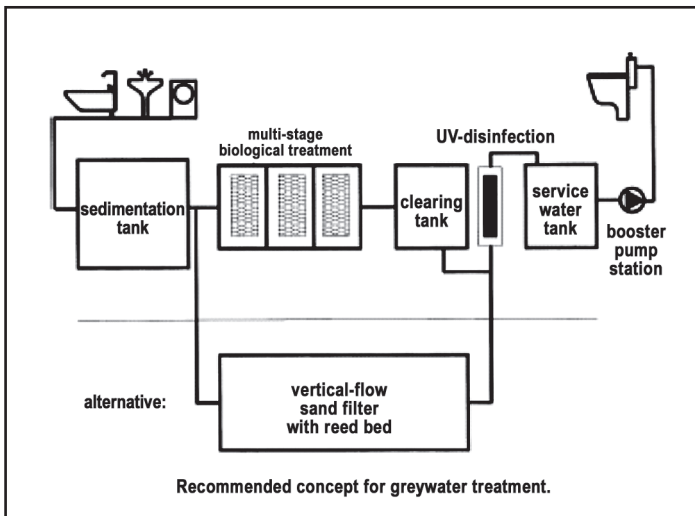


Figura 4.15 ETAC típica proposta por Jefferson *et al.* (1999) para reúso em edificação

Uma configuração contemplando a associação de processos anaeróbios e aeróbios em série foi desenvolvida no projeto de pesquisa da UFES, no âmbito do edital PROSAB 4, cujo fluxograma encontra-se apresentado na Figura 4.16.

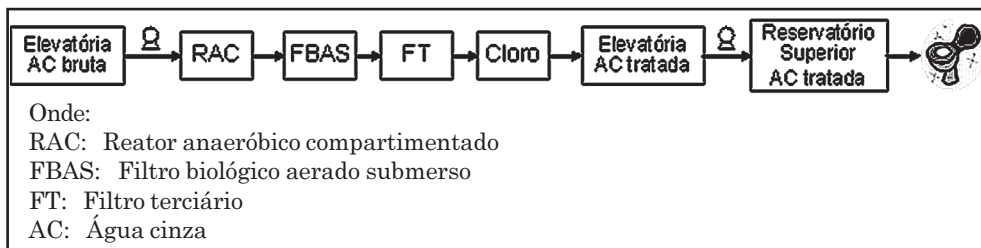


Figura 4.16 Fluxograma de tratamento e reúso da água cinza na UFES

Modificações das Edificações para Usos de Água Cinzas

Edificações com sistemas de reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários devem ser concebidas e executadas com sistemas hidráulicos prediais independentes, sendo um para água de reúso e outro para água potável (Figura 4.17). Isso inclui diferenciações tanto na coleta do esgoto quanto no abastecimento de água.

A rede predial de esgoto sanitário deve ser projetada com a segregação das águas residuárias, de maneira que, as águas cinzas e as águas negras (provenientes dos vasos sanitários), através de tubulações distintas, sejam conduzidas a tratamentos diferenciados. O abastecimento de água deve ser projetado com rede dupla, uma de água potável, atendendo pias, chuveiros, tanques, máquina de lavar, e outra de água de reúso, atendendo vasos sanitários e mictórios. As tubulações devem possuir cores distintas e nenhuma interligação entre elas. É recomendável que as válvulas e os registros de cada rede possuam abertura e fechamento diferenciados. No caso de falta de água de reúso, os vasos sanitários devem ser abastecidos com água potável.

Se as águas cinzas forem utilizadas após um tratamento, é necessário que haja um reservatório inferior e outro superior, para armazenamento e distribuição da mesma. O volume de reservatório de armazenamento deverá ser determinado com base nas características ocupacionais do edifício e as vazões associadas às peças hidráulicas correspondentes (vazão de águas cinzas), e na demanda de água dos aparelhos que integrarão o sistema de reúso (vazão de reúso).

As Figuras 4.18 e 4.19 mostram um exemplo do sistema hidrosanitário de uma edificação com sistema de reúso, localizada no

Parque Experimental de Saneamento Básico da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

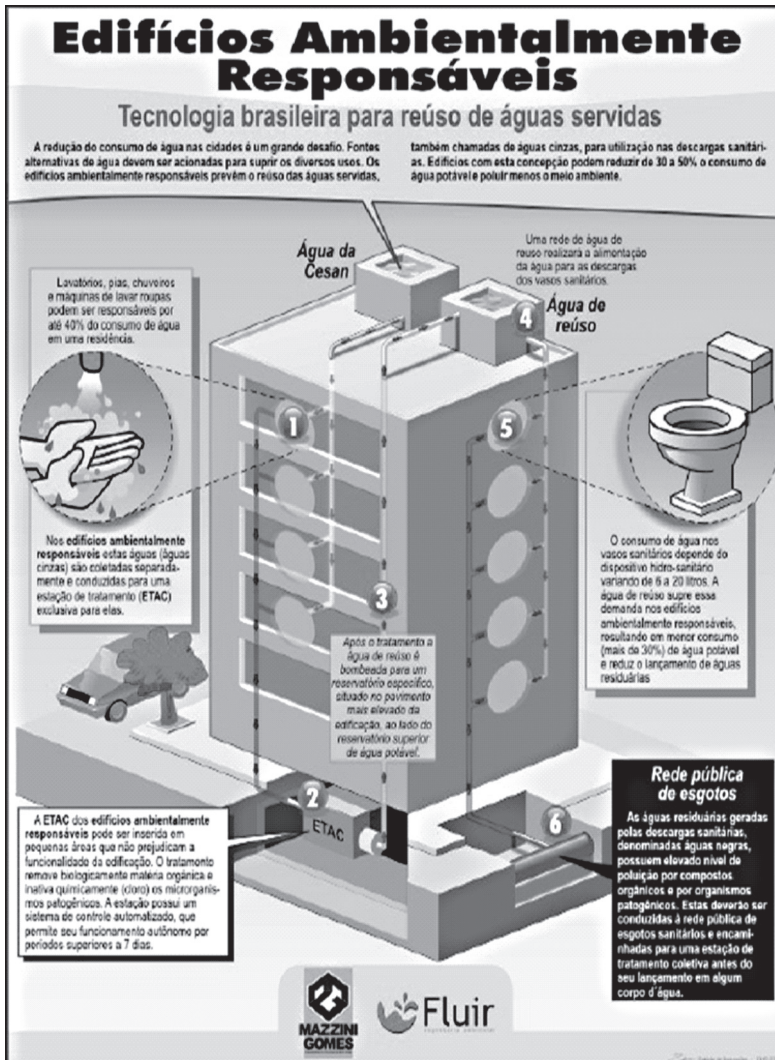


Figura 4.17 Sistema de reúso de águas cinzas: tubulações e reservatórios independentes do sistema de abastecimento de água potável

Raras são as experiências relatadas sobre o uso combinado de água de chuva e de águas cinzas (não fecais) na escala das residências e edificações. Esta combinação tem a oferecer um potencial maior com relação ao equilíbrio

do suprimento de água ao longo do ano. Apesar da boa qualidade da água de chuvas, a incerteza da sua ocorrência implica na necessidade de se armazenar grandes volumes para um suprimento eficiente. Já as águas cinzas apresentam DQO semelhante a de esgotos sanitários, mas sua produção segue padrões mais regulares para o propósito do reúso doméstico.

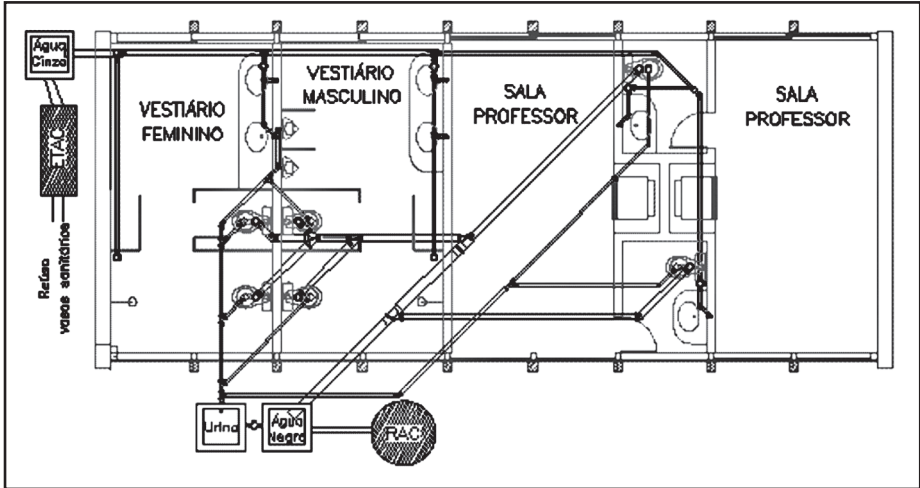


Figura 4.18 Projeto hidro-sanitário de esgoto da edificação da UFES. Fonte: Gonçalves, 2004

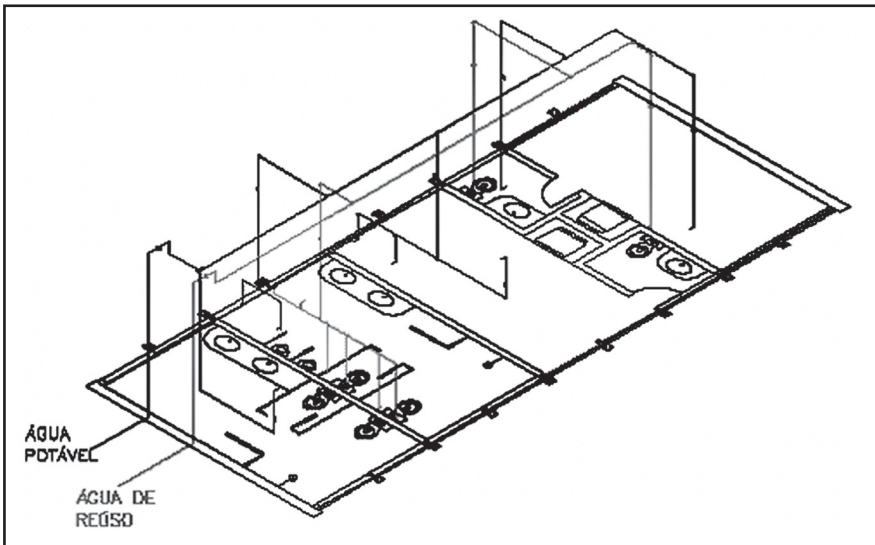


Figura 4.19 Isométrico de água da edificação da UFES. Fonte: Gonçalves, 2004.

Exemplo do Sistema de Reúso de Água Cinza no Hotel Comfort Suítes – Macaé / RJ

O COMFORT SUÍTES MACAÉ (Macaé – RJ) é a primeira unidade da rede Atlântica Hotels Internacional no estado do Rio de Janeiro e o primeiro hotel da rede equipado com uma estação de reúso de água predial. O empreendimento conta com 126 suítes com uma área média unitária de 28m², 2 salas de convenções com área de 80m² cada, 2 restaurantes com capacidade para mais de 300 refeições/dia, área de lazer na cobertura com piscina, fitness center, sauna à vapor e sala de repouso. O **COMFORT SUÍTES MACAÉ** possui um sistema de reúso de águas cinzas nas descargas sanitárias (GONÇALVES et al, 2004).

Sistema de reúso predial

O sistema de reúso do **COMFORT SUÍTES MACAÉ** trata as águas cinzas provenientes dos lavatórios e chuveiros, numa estação denominada ETAC (Estação de Tratamento de Águas Cinzas). Com reduzido consumo de energia e bastante compacta, a ETAC pode ser inserida em pequenas áreas, sem prejudicar a funcionalidade da edificação. No **COMFORT SUÍTES MACAÉ** a ETAC foi instalada no sub-solo sob a rampa de acesso da edificação numa área de aproximadamente 80m², incluindo o sistema de tratamento de águas negras ou fecais.

A ETAC é resultado da combinação de processos biológicos anaeróbio-aeróbio de alta taxa, sendo constituído de reator anaeróbio compartimentado (RAC) associado a filtro biológico aerado submerso (FBAS) (Figura 4.20). O polimento do efluente é realizado em um filtro terciário de tela e a desinfecção com pastilha de cloro no próprio reservatório de reúso. Após o tratamento a água de reúso é bombeada para um reservatório específico e utilizada nas descargas sanitárias, resultando em menor consumo de água potável e redução no lançamento de águas residuárias.

O lodo produzido no decantador secundário é recirculado para o 1º compartimento do reator anaeróbio (RAC) através de um sistema simples de controle via temporizador, que opera em intervalos de hora em hora

com um ciclo de bombeamento de 1 min/hora. O filtro terciário de tela é lavado diariamente por um sistema automatizado. A lavagem é realizada com inserção de fluxos de água e ar contracorrente (ascendente) por um período de 20 minutos. Os motores e equipamentos que compõem a ETAC são: 1 compressor de ar de 1 CV, 2 bombas centrífugas de $\frac{1}{2}$ CV cada e um rotâmetro de fluxo de ar. O sistema é composto de painel elétrico automatizado e a demanda operacional é de aproximadamente 2,5h/dia.

O consumo médio de água é de $44\text{m}^3/\text{d}$ e a demanda dos vasos sanitários é de $13,3\text{m}^3/\text{d}$ (bacia sanitária de 8L/descarga). A instalação do sistema de reúso proporciona uma economia de 30% do consumo de água potável da edificação.

Estudo de viabilidade financeira

No estudo de viabilidade financeira para o sistema de reúso no hotel, para efeito de comparação, foram consideradas duas situações: Opção 1 – SEM Sistema de Reuso (Tabela 4.15) e a Opção 2 – COM Sistema de Reuso (Tabela 4.16). No custo operacional do sistema estão inclusos os serviços de:

- mão-de-obra (não necessita ser qualificada, gasto médio de 2,5 h/dia);
- gestão do lodo: retirada e transporte do lodo;
- manutenção de equipamentos;
- suprimentos de materiais: pastilhas de cloro;
- custo de energia.

O consumo de energia mensal é $408,5 \text{ KWh}/\text{mês}$ a um custo unitário de R\$ 0,39/KWh:

- Bomba de recirculação de lodo + lavagem ($2 \times \frac{1}{2} \text{ CV}$) $\times 0,4\text{h}/\text{d} = 8,9 \text{ KWh}/\text{mês}$
- Compressor de ar (1 CV) $\times 18\text{h}/\text{d} = 399,6 \text{ KWh}/\text{mês}$

A tarifa da concessionária para fornecimento de água é de R\$ $3,98/\text{m}^3$ e atualmente o consumo médio de água é de $44\text{m}^3/\text{dia}$ (dados obtidos na conta de água do hotel, emitida pela CEDAE).

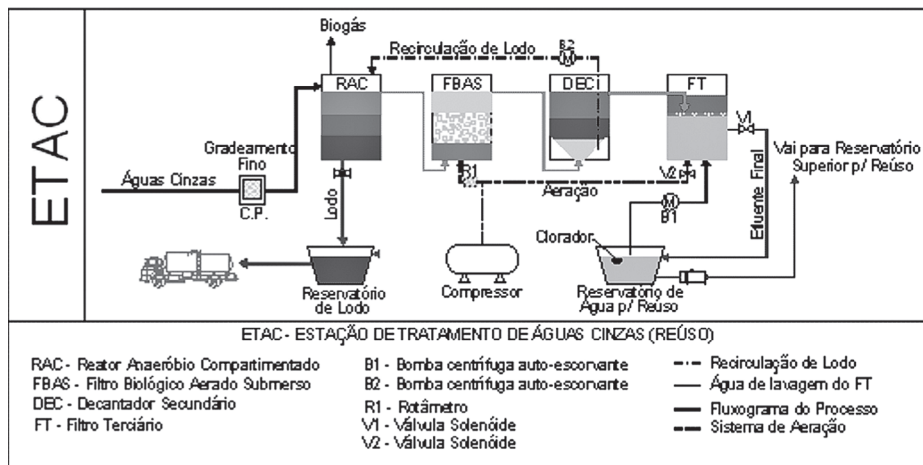


Figura 4.20 Fluxograma da Estação de Tratamento de Águas Cinzas (ETAC).

Fonte: Gonçalves *et al*, 2004.

Tabela 4.15 OPÇÃO 1 - SEM Sistema de Reúso de Águas Cinzas

| Item | Descrição | R\$ / Unitário | R\$ Total |
|------|------------------------------------|----------------|-----------|
| 1 | Consumo de água potável: 44 m³/dia | 3,98 | 5.253,60 |
| | Total (Opção 1) | | 5.236,60 |

Tabela 4.16 OPÇÃO 2 - COM Sistema de Reúso de Águas Cinzas

| Item | Descrição | R\$ / Unitário | R\$ Total |
|------|--|----------------|-----------|
| 1 | Consumo de água potável: 44 – 13,3 = 30,7 m³/dia | 3,98 | 3.665,58 |
| | Total (CEDAE) | | 3.665,58 |

O custo médio mensal com a implantação do sistema de reúso é de R\$ 4.419,20 aportando uma economia média mensal de R\$ 834,41 ou 16% em relação ao sistema convencional (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 Custo médio mensal com o Sistema de Reúso de Águas Cinzas

| Item | Descrição | R\$ Total |
|------|---------------------|-----------|
| 1 | CEDAE | 3.665,58 |
| 2 | Energia | 159,32 |
| 3 | Mão de obra | 337,50 |
| 4 | Gerenciamento Lodo* | 90,0 |
| 5 | Pastilha de Cloro** | 16,8 |
| 6 | Manutenção | 150,00 |
| | TOTAL (opção 2) | 4.419,20 |

* caminhão limpa-fossa: R\$ 270,00 (6m³)

** pastilha de cloro: R\$ 4,20/und

No cálculo da amortização o saldo a amortizar foi deduzido da diferença de valor entre a opção 1 e 2 (que representa a economia/mensal pela opção com sistema de reúso), Figura 4.21.

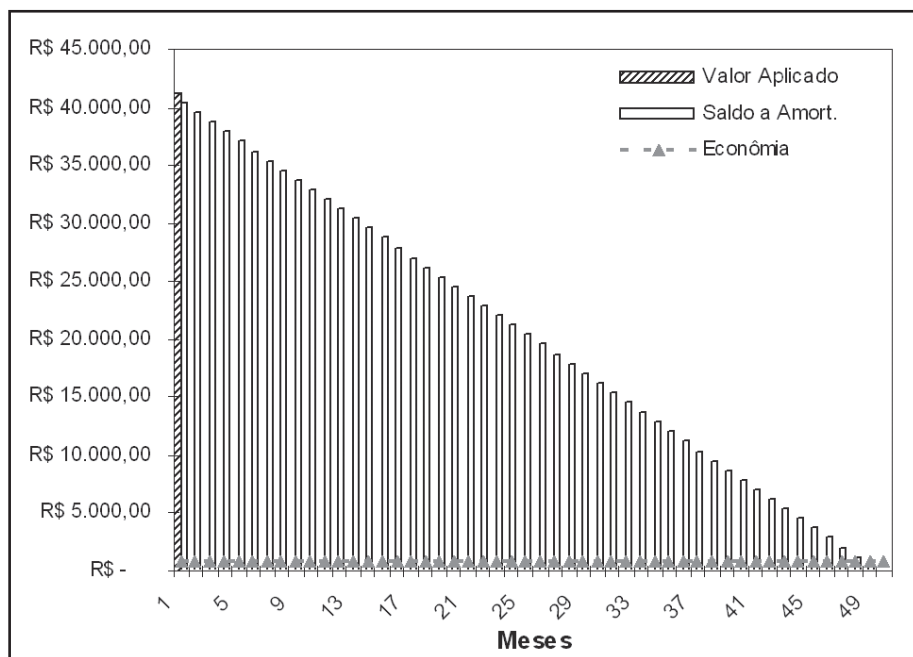


Figura 4.21 Amortização do Custo de Investimento. Fonte: Gonçalves *et al*, 2004.

O custo de implantação do sistema de reúso correspondeu a 0,34% do valor investido na construção do hotel, estimando-se que este valor será amortizado em 50 meses, resultando economia ao empreendedor e preservação do meio ambiente.

Exemplos do PROSAB

Sistema de reúso predial - UFES

Um prédio localizado no parque experimental de saneamento básico da UFES foi utilizado para implantação de um sistema de tratamento e reúso de água cinza nas descargas dos vasos sanitários. O prédio contém duas salas de professores com banheiros individuais e banheiros coletivos, masculino e feminino. O prédio possui o total de seis pias, dois chuveiros, seis vasos sanitários e dois mictórios. Este prédio possui, ainda, um

sistema de instalações hidro-sanitárias, com segregação das águas residuárias (águas cinza, negra e amarela) e rede dupla de abastecimento de água (potável e de reúso). A via de água potável abastece chuveiros e lavatórios e a via de água de reúso abastece os vasos sanitários e mictórios.

Toda a água cinza do prédio é encaminhada para uma estação de tratamento, para posterior reúso nos vasos sanitários. A estratégia de tratamento adotada foi a combinação de sistemas anaeróbio (reator anaeróbio compartimentado - RAC) e aeróbio (Filtro biológico aerado submerso - FBAS), seguido de filtração terciária (filtro terciário com tela de aço inox) e desinfecção com pastilha de cloro (flutuador) (Figura 4.22).

A estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) foi dimensionada para tratar as águas cinzas produzidas por 60 pessoas (24 L/hab.dia). Ela foi construída em fibra de vidro, com estrutura compartimentada, contendo os quatro processos citados em volume único, com dimensões totais de 0,6 x 1,7 x 2,2m (Figura 4.23).



Figura 4.22 Vista geral do sistema de reúso de águas cinzas da UFES

O reator anaeróbio compartimentado possuía três compartimentos de mesmo volume operando em série e com fluxo ascendente. O RAC, além de tratar água cinza, também digeriria anaerobiamente o lodo

aeróbio e o lodo terciário que eram recirculados para a elevatória de água cinza bruta. O polimento do efluente do RAC era realizado em um filtro biológico aerado submerso (FBAS). Esse filtro funcionava em fluxo normal ascendente e o seu leito era fluidizado. Possuía meio-suporte composto por material plástico (conduítes cortados), onde as colônias de microorganismos responsáveis pela degradação biológica se fixavam. No FBAS não havia retenção física da biomassa pela ação da filtração, sendo necessária uma etapa de decantação secundária para remoção do biofilme de excesso que crescia ao redor do meio suporte. O lodo acumulado nesse decantador era recirculado para o início da estação e o suprimento de ar era feito através de um compressor de forma contínua.

O filtro terciário era a unidade de polimento do tratamento biológico e sua finalidade era, principalmente, a retenção de sólidos suspensos remanescentes. O FT operava em fluxo descendente e era composto por uma tela de aço inox que ficava perpendicular ao fluxo, funcionando como uma peneira. A lavagem do FT era feita com ar e água no fluxo ascendente, ou seja, contrária ao fluxo no filtro. A frequência de lavagem era semanal.

O agente desinfetante utilizado foi o cloro, por garantir uma concentração residual de desinfetante no circuito de reúso. Para cloração, foi utilizado pastilha de cloro 200g, acoplada a um flutuador e, este conjunto, inserido na elevatória de água cinza tratada.

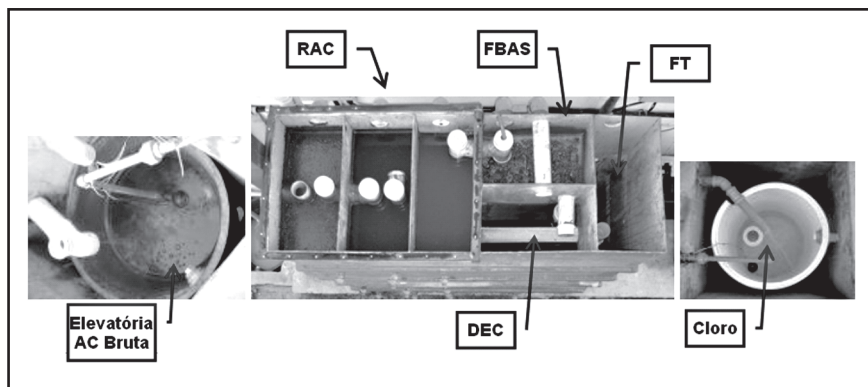


Figura 4.23 Vista superior da ETAC da UFES

A Figuras de 4.24 e 4.25 mostram os resultados do monitoramento de alguns parâmetros físico-químicos nas etapas de tratamento. A remoção sólidos suspensos (SST e turbidez), dissolvidos (cor verdadeira) e matéria orgânica (DBO_5) apresentaram maior eficiência de remoção ocorreu na etapa biológica (anaeróbia + aeróbia). Sendo que o RAC apresentou eficiência de remoção 56% para turbidez, 53% para cor, 72% para SST e 69% para DBO_5 . E o FBAS, como polimento do efluente anaeróbio, apresentou eficiências de 96%, 63%, 95% e 90% nessa mesma ordem. Não houve redução significativa desses parâmetros nem na etapa de filtração terciária nem na de desinfecção. Alguns padrões menos restritivos, como a NBR 13.969 e os propostos na Alemanha (citado em JEFFERSON *et al.*, 1999) e no Canadá (CMHC, 2004) foram atendidos após a etapa biológica, enquanto de padrões mais restritivos (FIESP, 2005; USEPA, 2004) só foram atendidos após a desinfecção.

As Figuras 4.26 e 4.27 mostram a remoção dos parâmetros microbiológicos *E. coli* e Coliformes totais (CT). O tratamento biológico (RAC+FBAS) removeu aproximadamente 3 unidades logs, chegando a concentrações na ordem de 10^2 e 10^4 para *E. coli* e CT, respectivamente. Apesar dessas concentrações não atenderem as normas mais restritivas, elas foram inferiores as encontradas por Ornelas (2004) em amostras coletadas em selo hídrico de vasos sanitários, utilizando água potável (10^2 para *E. coli* e 10^5 para CT). Entretanto, os padrões mais restritivos foram alcançados após a etapa de desinfecção por cloro.

A Tabela 4.18 apresenta um resumo de como cada etapa de tratamento que compõe a ETAC contribui para a qualidade final da água cinza tratada. Observou-se que a maior parte dos compostos presentes na água cinza bruta foi removida no tratamento biológico RAC + FBAS. O incremento de qualidade da água cinza, deste a produção até o reúso, passando pela ETAC, pode ser visualizado na Figura 4.28.

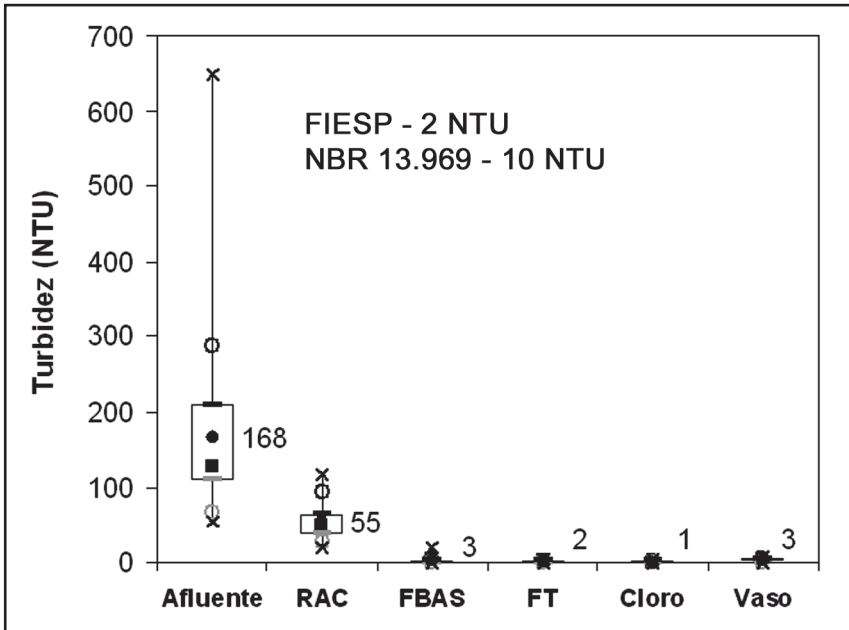


Figura 4.24 Remoção de turbidez

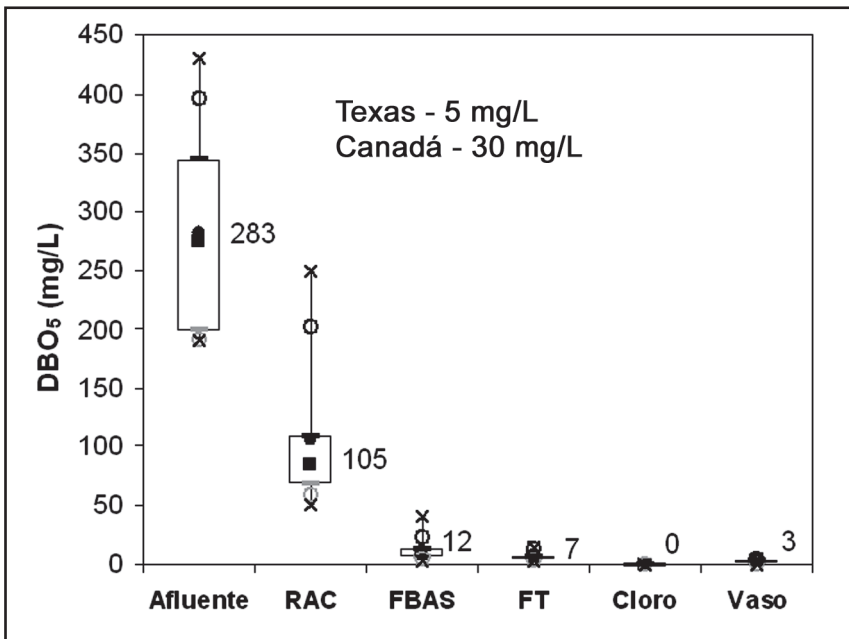


Figura 4.25 Remoção de DBO₅

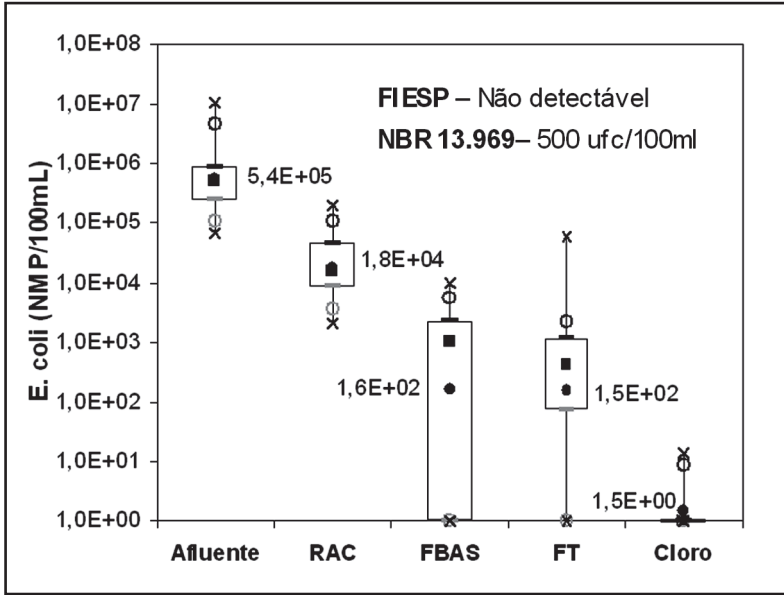


Figura 4.26 Remoção de *E. coli*

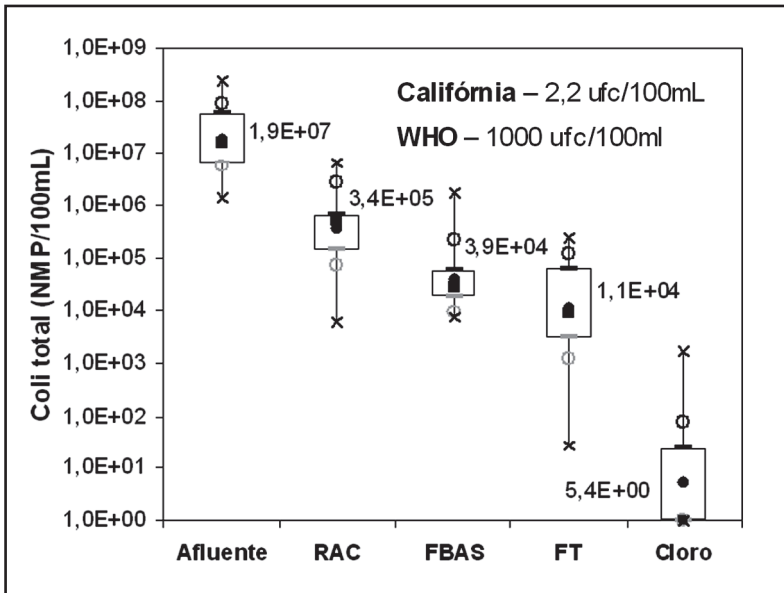


Figura 4.27 Remoção de Coliformes totais

Tabela 4.18 Resumo da remoção das etapas do tratamento para a qualidade final da água cinza tratada

| Parâmetros | Tratamentos | | | |
|------------------------|-------------|------|----|-------|
| | RAC | FBAS | FT | Cloro |
| Cor | +++ | ++++ | + | +++ |
| Turbidez | +++ | ++++ | ++ | ? |
| SST | ++++ | +++ | ? | + |
| DBO₅ | +++ | ++++ | ++ | |
| DQO | ++++ | ++++ | ++ | + |
| E.coli | ++ | +++ | + | ++ |
| Coli total | +++ | ++ | + | ++++ |

LEGENDA: ++++ - Eficiência de remoção de 100 a 70% (ou 4 logs)
 +++ - Eficiência de remoção de 69 a 40% (ou 3 logs)
 ++ - Eficiência de remoção de 39 a 10% (ou 2 logs)
 + - Eficiência de remoção < 10% (ou < 1 log)
 ? - Piora na qualidade em relação ao tratamento anterior

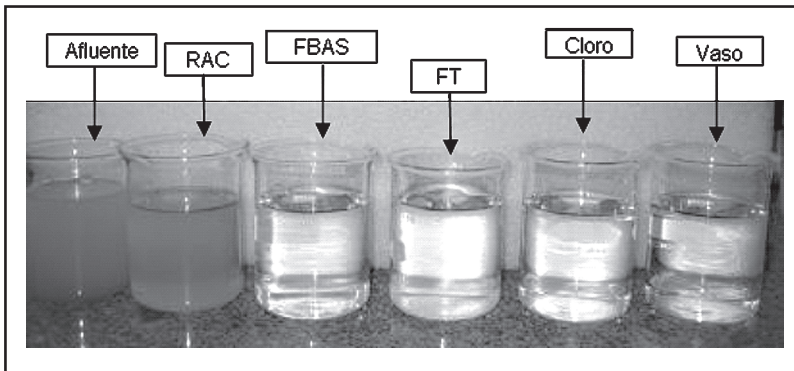


Figura 4.29 Amostras coletadas em cada etapa de tratamento e no vaso sanitário

Sistema de reúso predial - UFSC

A pesquisa desenvolvida pela UFSC, foi em uma residência unifamiliar, localizada no Bairro de Ratoles, norte da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis/SC. A residência tem ocupação média de 3 pessoas e é composta por 03 quartos, 01 banheiro, 01 sala e 01 cozinha. Uma pequena área externa abriga um tanque para lavagem de roupas.

A água cinza é proveniente do lavatório, do chuveiro e do tanque de lavar roupas. O sistema de tratamento da água cinza é composto por

uma caixa receptora das águas advindas das unidades hidro-sanitárias, por um filtro de brita aeróbio intermitente, uma caixa de passagem para desinfecção com cloro, reservatório de água cinza e tanque de mistura (água cinza + água de chuva). Neste último, a água é bombeada para o reservatório superior e utilizada na descarga da bacia sanitária. A Figura 4.29 apresenta de forma esquemática o sistema.

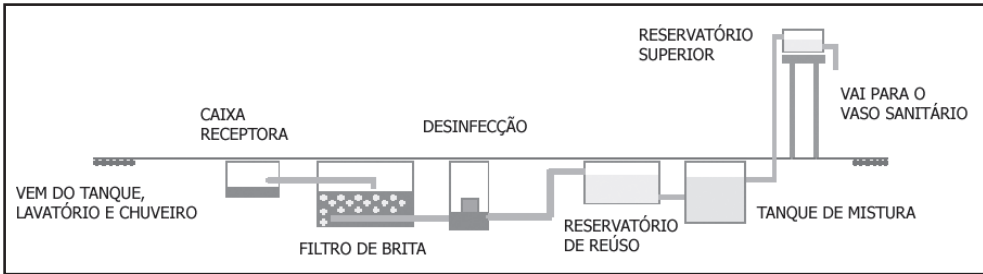


Figura 4.29 Esquema ilustrativo do sistema de reúso de água cinza – UFSC.

O filtro de brita (Figura 4.30) foi dimensionado a partir das indicações da NBR 13969/97 para filtro de areia, utilizando no dimensionamento uma taxa de aplicação hidráulica de 200 L/dia.m². (área superficial de 1,0 m² e altura do material filtrante de 0,7 m). A brita para este filtro é classificada como Brita 2 (diâmetro de 12,5 a 25,0 mm) e foi instalada em uma caixa de polietileno com capacidade para 1.000 litros. O efluente é distribuído superficialmente e percola pelo meio filtrante até o fundo onde há uma tubulação que encaminha a água cinza tratada para a desinfecção.



Figura 4.30 Filtro de brita para o tratamento da água cinza.

Após a passagem pela caixa de desinfecção, a água cinza é direcionada para um reservatório de acumulação com capacidade de 240 litros. A partir desse ponto, a água cinza tratada é bombeada para o tanque de mistura com capacidade de 360 litros (Figura 4.31a). Esta unidade recebe o efluente do tratamento da água cinza e parte da água pluvial.

Para o seu dimensionamento adotou-se como volume útil 60% do volume total necessário para abastecer a unidade sanitária durante 03 dias consecutivos. Utilizou-se um conjunto de bombas hidráulicas para o recalque destas águas ao reservatório superior (Figura 4.31b e 4.31c). Esta unidade foi confeccionada com anel de concreto pré-fabricado de 1,1 m de diâmetro interno e 0,40 m de altura útil sendo devidamente impermeabilizada.



Figura 4.31 Sistema de reúso de água cinza.

A partir de hidrômetros instalados nas tubulações de alimentação das unidades hidro-sanitárias (UHS), pode-se medir a quantidade de água utilizada em cada unidade. A Tabela 4.19 apresenta os valores das medições executadas com os hidrômetros instalados na UHS. De acordo com os resultados, em termos percentuais, o lavatório e o chuveiro

apresentaram a maior demanda na residência, com 33% do total. As outras unidades como a bacia sanitária, tanque de lavar roupa e a pia de cozinha representaram, respectivamente, 22%, 27% e 18%.

Tabela 4.19 Demanda nas UHS medida através dos hidrômetros, no período de janeiro a dezembro de 2005.

| Mês | UHS (litros/dia) | | | | |
|--------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| | Lavatório + Chuveiro | Bacia sanitária (Reúso) | Tanque de Lavar Roupa | Pia de Cozinha | Consumo Total |
| JAN | 108,7 | 45,0 | 72,2 | 59,6 | 285,5 |
| FEV | 99,0 | 44,7 | 142,4 | 65,6 | 345,7 |
| MAR | 99,0 | 47,8 | 138,8 | 62,5 | 351,2 |
| ABR | 99,3 | 51,0 | 92,6 | 58,7 | 305,4 |
| MAI | 111,8 | 112,7 | 102,9 | 43,3 | 386,1 |
| JUN | 104,8 | 102,5 | 48,3 | 52,4 | 298,9 |
| JUL | 79,1 | 48,3 | 68,8 | 42,5 | 248,6 |
| AGO | 86,6 | 52,6 | 25,3 | 42,7 | 207,0 |
| SET | 59,0 | 41,5 | 16,9 | 36,8 | 160,1 |
| OUT | 58,5 | 45,5 | 34,9 | 33,7 | 175,7 |
| NOV | 75,0 | 48,0 | 68,9 | 39,7 | 225,6 |
| DEZ | 96,2 | 54,5 | 68,1 | 43,0 | 258,5 |
| Média | 89,7 | 57,8 | 76,3 | 48,7 | 270,7 |

O volume médio de água cinza gerado foi de 166 L/dia representando aproximadamente 60% do volume de água consumido na residência.

Os resultados de alguns dos parâmetros físico-químicos avaliados, podem ser visualizados nas Figuras 4.32 e 4.33. Os valores médios obtidos nos parâmetros cor e turbidez para a água cinza bruta foram de 214,1 uC e 154,9 NTU respectivamente. Ao passar pela filtração estes valores decaíram para 83,3 uC e 86,6 NTU. A partir destes resultados, verifica-se a necessidade de um tratamento primário, com telas nas tubulações de chegada de efluente, e uma posterior decantação para reduzir a concentração de sólidos na água cinza e possibilitar uma remoção maior destes componentes no filtro de brita.

Já no reservatório de água cinza a cor aumentou para 109,4 uC e a turbidez decaiu para 39,6 NTU conforme pode-se observar na Figura 4.33. Este aumento de cor no reservatório pode ser explicado devido à formação de ácido húmico, oriundo da

degradação da matéria orgânica, pois, como a água reservada só é utilizada nas descargas de bacia sanitária e o tempo de detenção é indeterminado, a matéria orgânica continua degradando-se ao longo do tempo.

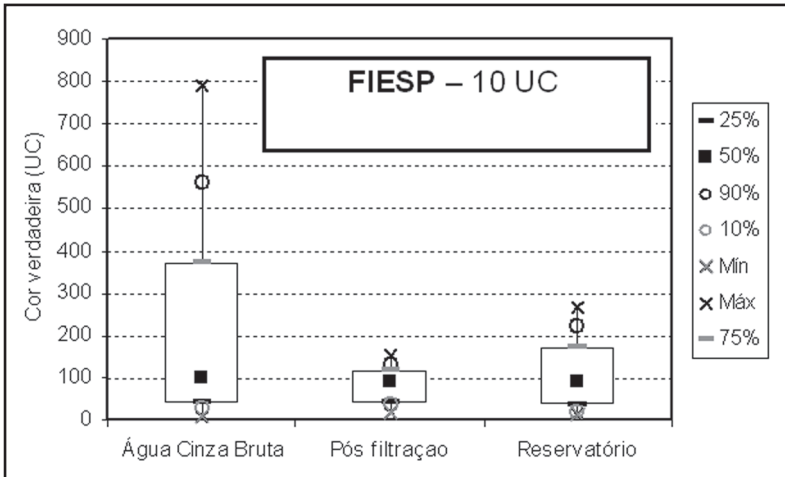


Figura 4.32 Remoção de Cor

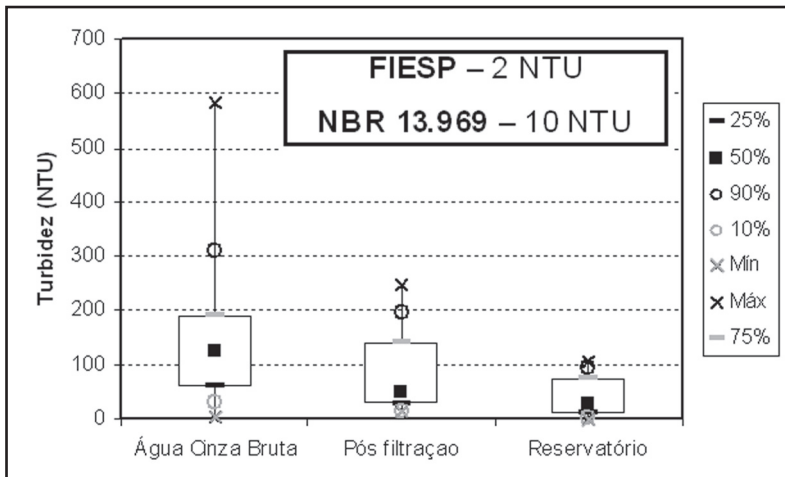


Figura 4.33 Remoção de turbidez

Com relação à matéria orgânica a faixa dos valores encontrados para a água cinza bruta foi ampla. Valores compreendidos entre 23,6 – 808,0

mg/L foram obtidos para DBO e de 35,4 – 921,5 mg/L para DQO, corroborando com a literatura (ERICSSON *et al.*, 2002; DIXON, *et al.*, 1999; ALMEIDA *et al.*, 1999). A média dos valores encontrados para água cinza bruta, pós-filtro e reservatório, respectivamente, foram de 266,7 mg/L, 77,0 mg/L e 31,8 mg/L para DBO e 279,6 mg/L, 222,0 mg/L e 71,7 mg/L para DQO (Figura 4.34 e 4.35).

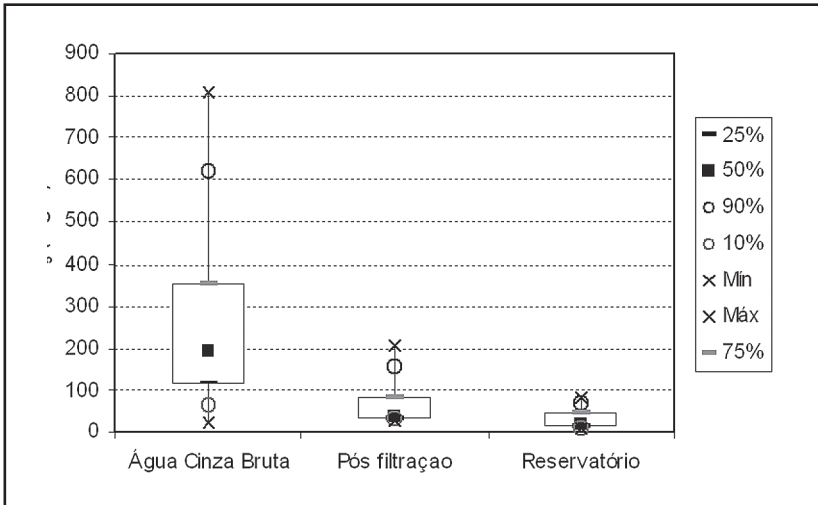


Figura 4.34 Remoção de DBO₅

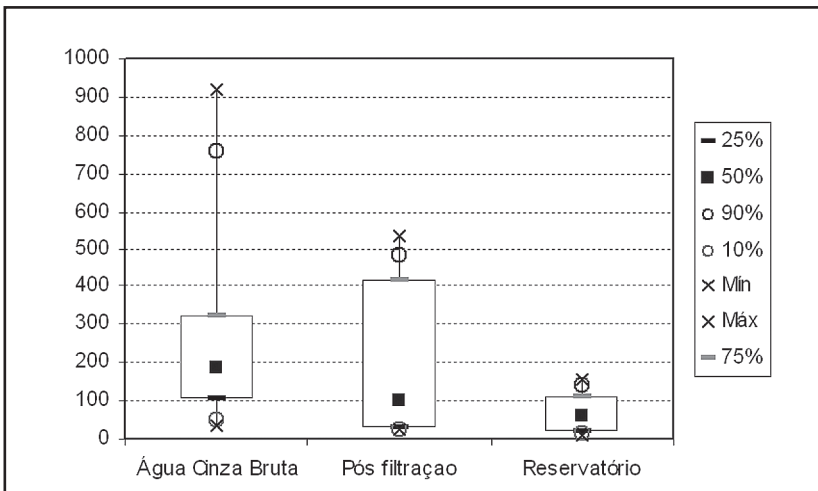


Figura 4.35 Remoção de DQO

Embora a água cinza não receba matéria fecal, observou-se a presença de *E. Coli* na mesma. Isso se deve a limpeza das mãos no lavatório, lavagem de roupas contaminadas ou pelo próprio banho. A água cinza bruta apresentou concentrações médias de *E. Coli* na ordem de 10^4 NMP/100 mL, decaindo uma casa decimal após a passagem pelo filtro e obtendo-se valor médio no reservatório na ordem de 10^3 NMP/mL. As concentrações obtidas foram menores do que as reportadas na literatura (LAZAROVA *et al*, 2003; OTTOSON & STENSTRÖM, 2003). Entretanto o aumento nas concentrações deste parâmetro na reservação, corrobora com Ledin *et al.* (2001), que relatam em seus estudos, que devido ao crescimento biológico na estocagem, pode haver um aumento das concentrações de microorganismos, inclusive os coliformes fecais. As concentrações de *Coli Total* e *E. Coli* no sistema podem ser observadas na Figura 4.36 e 4.37. Vale salientar que estes resultados foram analisados sem a etapa de cloração para verificar o decaimento da concentração bacteriana, e a partir do uso das pastilhas de cloro, os valores obtidos para concentração de patógenos, tanto na desinfecção quanto na reservação foram menores que 1 NMP/100 ml.

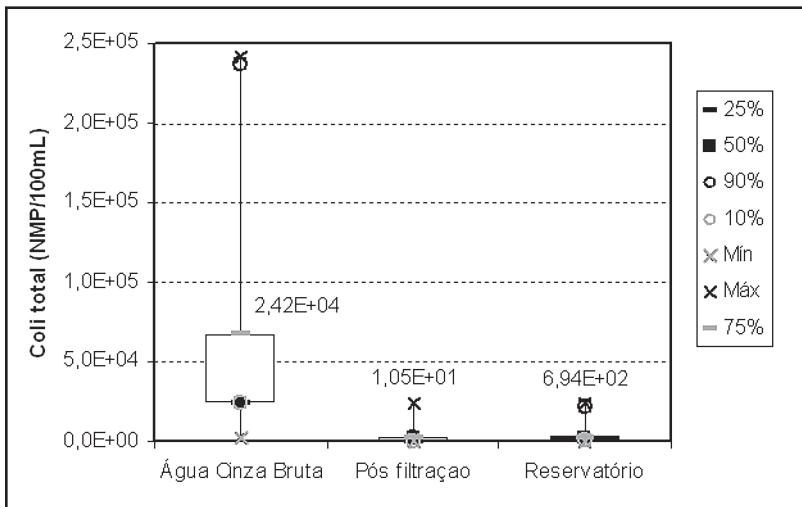


Figura 4.36 Remoção de *Coli Total*

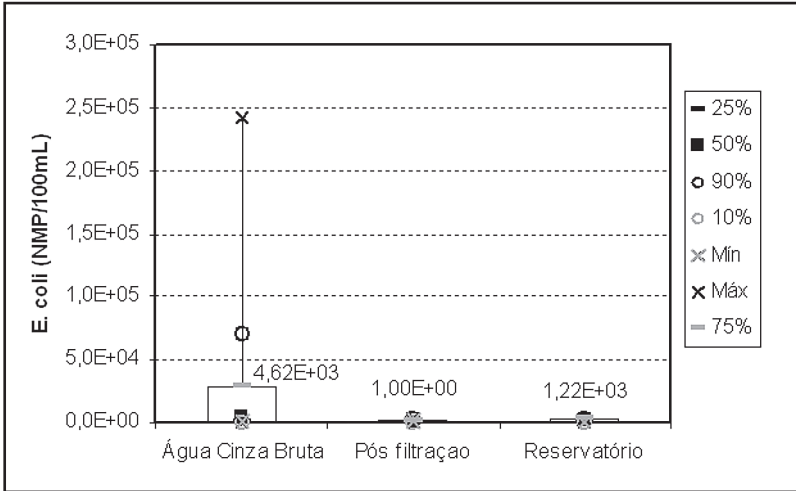


Figura 4.37 Remoção de E. Coli

Exemplos de Dimensionamento

Exemplo 1: Estimar a produção e a demanda de águas cinzas para reúso em um conjunto habitacional composto por 4 edifícios de 4 pavimentos, com 4 apartamentos tipo por andar e 2 dormitórios. Dimensionar uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC) para atender a demanda de água para o uso na descarga de vasos sanitários e na lavagem de áreas externas do condomínio

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Número de edifícios | 4 |
| Número de pavimentos | 4 |
| Número de apartamentos por pavimento | 4 |
| Número de habitantes por apartamento | 4 |
| Número de banheiros | 1 |
| Área impermeável total | 400 m ² |

a) Cálculo das demandas não potáveis

Para o cálculo das demandas não potáveis utiliza-se a equação 3.9, após a determinação das demandas internas e externas da edificação. Serão adotados os seguintes dados para o cálculo das demandas não potáveis:

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Vaso sanitário | 6 L/descarga |
| | 5 descargas por dia |
| | perdas por vazamento de 10% |
| Lavagem da área impermeabilizada | 4,0 L/dia/m ² |
| | 8 utilizações/mês |

- Cálculo das demandas internas

População:

$N = 4$ edifícios x 4 pavimentos x 4 apartamentos x 4 pessoas por apartamento

$N = 256$ pessoas

A demanda interna corresponde apenas ao volume de água a ser utilizada nos vasos sanitários, acrescida de um potencial de perdas de 10%.

$$Q_{INT} = Q_{VS}$$

$$Q_{VS} = 256 \times 6 \times 5 \times 1,1$$

$$Q_{INT} = 8.448,0L / d$$

- Cálculo das demandas externas:

A demanda externa, neste caso, será considerada como a lavagem da área impermeabilizada do edifício.

$$Q_{EXT} = Q_{AI}$$

$$Q_{AI} = \frac{(400 \times 4 \times 8)}{30}$$

$$Q_{EXT} = 426,67L / d$$

- Cálculo da demanda total de água não potável:

A demanda total será dada pela soma das demandas internas e externas à edificação:

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT}$$

$$Q_{NP} = 8.448,0 + 426,67$$

$$Q_{NP} = 8.874,67 L/d$$

$$Q_{NP} = 213,0m^3 / mês$$

b) Estimativa da produção de água cinza

Serão adotados os seguintes dados para cálculo da produção de água cinza:

| | | |
|-------------------------|--------------------------------|---|
| Lavatório | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{LV} = N \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 4 min/hab.dia | $Q_{LV} = 256 \times 20 \times 4 \times 1$ |
| | Frequência (f) = 1,0 vez/dia | $Q_{LV} = 20.480 \text{ L/dia}$ |
| Chuveiro | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{CH} = N \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 10 min/hab.dia | $Q_{CH} = 256 \times 20 \times 10 \times 1,5$ |
| | Frequência (f) = 1,5 vez/dia | $Q_{CH} = 76.800 \text{ L/dia}$ |
| Tanque | Vazão (q) = 20 L/min | $Q_{LV} = N_{apt} \times q \times t \times f$ |
| | Duração (t) = 5 min/hab.dia | $Q_{LV} = 64 \times 20 \times 5 \times 1$ |
| | Frequência (f) = 1 vez/dia | $Q_{LV} = 6.400 \text{ L/dia}$ |
| Máquina de lavar | Vazão (q) = 108 L/ciclo | $Q_{LV} = N_{apt} \times q \times t \times f$ |
| | Frequência (f) = 1 ciclo/dia | $Q_{LV} = 64 \times 108 \times 1 \times 0,20$ |
| | 20% de apartamento com máquina | $Q_{LV} = 1.382 \text{ L/dia}$ |
| PRODUÇÃO TOTAL = | | 105.062 L/dia 4,38 m³/h 3.152 m³/mês |

O processo de tratamento adotado nesse exemplo foi a associação em série dos processos biológicos RAC (Reator Anaeróbio Compartimentado), Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), Decantador Secundário, Filtro Terciário e Desinfecção por cloração. As principais características destes processos anaeróbios e aeróbios de alta taxa são: compactidade, alta concentração de biomassa ativa, idades de lodo elevadas (resultando em pequena produção de lodo), resistência a choques hidráulicos e de carga orgânica e possibilidade de cobertura (evitando problemas com odores e impacto visual). Características bastante interessantes para esse tipo de edificação. Para o dimensionamento da ETAC adotou-se como vazão a demanda de água não potável calculada no exercício 1.

$$Q_{NP} = 8.874,67L / d = 0,37m^3 / h$$

a) Dados de entrada

| | |
|-----------------|--------|
| Altura ETAC (H) | 2,50 m |
|-----------------|--------|

b) Dimensionamento do Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)

O RAC foi dimensionado com geometria retangular, para uma temperatura média no esgoto de 20°C. Para assegurar uma eficiência mínima de 65% na remoção de DBO, tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento o tempo de detenção hidráulica (q) de 10 horas e uma compartimentação de 3 (três) câmaras.

$$V_{\text{RAC}} = K2 \cdot Q_{\text{med}} \cdot \theta$$

onde:

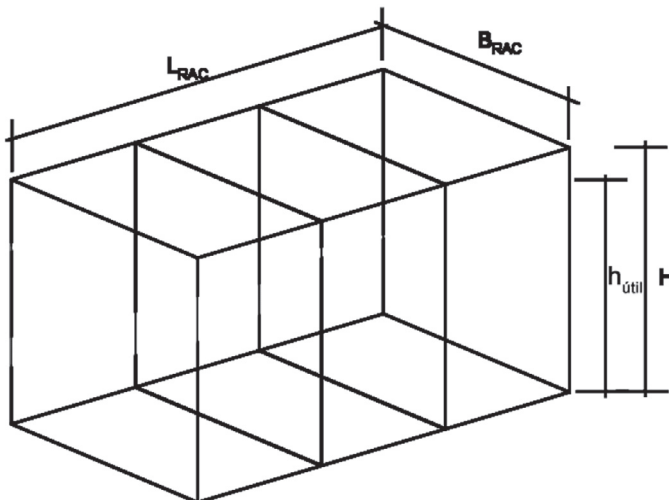
V_{RAC} : volume útil do RAC (m^3)

Q_{med} : vazão de água cinza média (m^3/h)

$K2$: coeficiente de pico horário ($K2 = 3$)

θ : tempo de detenção hidráulica (h)

Assim:



$$V_{\text{RAC}} = 0,37 (\text{m}^3 / \text{h}) \cdot 12\text{h}$$

$$V_{\text{RAC}} = 3,7 \text{ m}^3$$

Adotando uma altura útil (h_{RAC}) de 2,00m, calculou-se a área superficial (A_{RAC}):

$$A_{RAC} = \frac{V_{RAC}}{h_{util}} = \frac{11,1}{2,00} = 5,50m^2$$

A área de cada compartimento será:

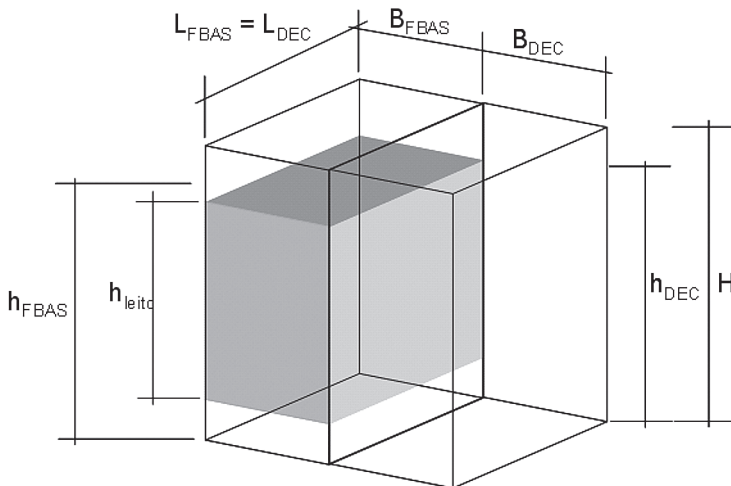
$$A = \frac{A_{RAC}}{3} = \frac{5,50}{3} = 1,83m^2$$

Dimensões adotadas para cada compartimento: 1,15 x 1,60 x 2,50m

c) Dimensionamento Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)

O FBAS foi dimensionado com seção retangular, tomando-se como parâmetro principal de dimensionamento a carga orgânica volumétrica sobre o meio granular (C_v DBO em kg DBO5/m3.dia). Os principais parâmetros adotados no dimensionamento são:

- C_v DBO = 0,5 kgDBO5/m3.d
- DBO5 = 300mg/L (DBO5 na água cinza bruta)
- h_{leito} = 1,20m (altura útil do meio granular)
- E_{rac} DBO5 = 60% (eficiência de remoção de DBO5 do RAC)
- T_{ar} = 30Nm3/kgDBO5aplicado (taxa de aeração no FBAS)



Calculando a carga orgânica aplicada sobre o meio granular (CDBO_{FBAS}):

$$CDBO_{FBAS} = (1 - E_{rac}) \cdot K_2 \cdot Q_{med} \cdot DBO = (1 - 0,65) \cdot 3 \cdot (0,37 \cdot 24) \cdot \left(\frac{200}{1000}\right) =$$

$$CDBO_{FBAS} = 1,07 \text{ kgDBO5/d}$$

Calculando o volume de meio granular ou leito filtrante (V_{FBAS}):

$$V_{FBAS} = \frac{CDBO_{FBAS}}{CvDBO_{FBAS}} = \frac{1,07}{0,5} =$$

$$V_{FBAS} = 2,14 \text{ m}^3$$

Calculando a área superficial (A_{FBAS}):

$$A_{FBAS} = \frac{V_{FBAS}}{h_{leito}} = \frac{2,14}{1,2} = 1,78 \text{ m}^2$$

Adotando B_{FBAS} = 1,15 m, tem-se:

$$L_{FBAS} = \frac{A_{FBAS}}{B_{FBAS}} = \frac{1,78}{1,15} = 1,55 \text{ m}$$

Dimensões adotadas: 1,15 x 1,55 x 2,50m e altura do leito (h_{leito}) = 1,20 m

Calculando a vazão de ar;

$$Q_{ar} = T_{ar} \cdot CBO_{FBAS} = 30 \cdot 1,07 = 32 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

d) Decantador Secundário (DEC)

O DEC foi dimensionado com seção retangular, prevendo-se uma taxa superficial (t_s) de 25 m³/m².dia. Calculando a área superficial (A_{DEC}):

$$A_{DEC} = \frac{K_2 \cdot Q_{med} (m^3 / d)}{t_s (m^3 / m^2 \cdot d)} = \frac{3 \cdot 0,37 \cdot 24}{25} = 1,07 \text{ m}^2$$

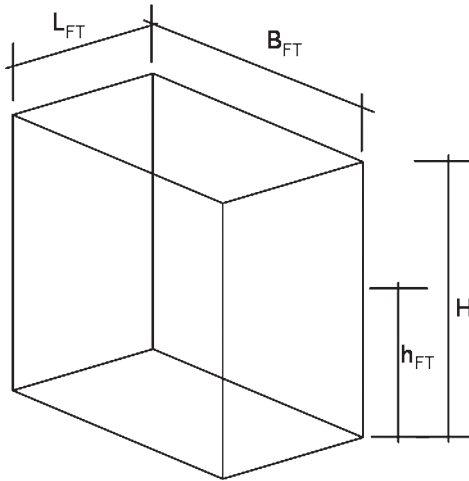
Adotando B_{DEC} = 1,15 m, tem-se:

$$L_{DEC} = \frac{A_{DEC}}{B_{DEC}} = \frac{1,07}{1,15} = 0,93 \text{ m} \rightarrow \text{adotar } L_{DEC} = 0,95 \text{ m}$$

Dimensões adotadas: 1,15 x 0,95 x 2,50m

e) Filtro Terciário (FT):

O FT foi dimensionado com geometria retangular e tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento a velocidade ascensional (v) de 4,0 m/h. Calculando a área superficial (A_{FT}):



$$A_{FT} = \frac{K_2 \cdot Q_{med}}{v} = \frac{3,0,37}{3,5} = 0,32m^2$$

Adotando $B_{FT} = 0,6m$

$$L_{FT} = \frac{A_{FT}}{B_{FT}} = \frac{0,32}{0,6} = 0,53m$$

Adotou-se: $L_{FT} = 0,60 m$

Dimensões adotadas: 0,6 x 0,6 x 2,50m

Exemplo 2: Dimensionar uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC) para atender a demanda de água para o uso em vaso sanitário e na lavagem de áreas externas, em uma residência típica de classe média.

Para este exemplo de dimensionamento foi utilizado um filtro de brita para o tratamento da água cinza, uma desinfecção com pastilhas de cloro e reservação do efluente tratado para posterior bombeamento e uso com capacidade para atender a demanda no vaso sanitário e lavagem de

áreas externas de uma residência unifamiliar composta por 5 habitantes.

| | |
|-------------------------|-----|
| Nº de pavimentos | 1 |
| Nº de habitantes | 5 |
| Possui máquina de lavar | sim |

a) Cálculo das demandas não potáveis

Tomando como base o exercício 1 tem-se:

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Vaso sanitário | 6 L/descarga |
| | 5 descargas por dia |
| | perdas por vazamento de 10% |
| Lavagem da área impermeabilizada | 4,0 L/dia/m ² |
| | 8 utilizações/mês |

- Cálculo das demandas internas

A demanda interna corresponde apenas ao volume de água a ser utilizada nos vasos sanitários, acrescida de um potencial de perdas de 10%.

$$Q_{INT} = Q_{VS}$$

$$Q_{VS} = 5 \times 6 \times 5 \times 1,1 = 165,0L/d$$

$$Q_{INT} = 165,0L/d$$

- Cálculo das demandas externas:

A demanda externa, neste caso, será considerada como a lavagem da área impermeabilizada e rega de jardim da residência.

$$Q_{EXT} = Q_{AI}$$

$$Q_{VS} = 5 \times 6 \times 5 \times 1,1 = 165,0L/d$$

$$Q_{EXT} = 106,67L/d$$

- Cálculo da demanda total de água não potável:

A demanda total será dada pela soma das demandas internas e

externas à edificação:

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT}$$

$$Q_{NP} = 165,0 + 106,67$$

$$Q_{NP} = 271,70L / d$$

$$Q_{NP} = 66,56m^3 / mês$$

b) Estimativa da produção de água cinza

Serão adotados os seguintes dados para cálculo da produção de água cinza:

| | Vazão | Duração | Freqüência |
|------------------|--------------|----------------|-------------------|
| Lavatório | L/min | min/hab.d | dia |
| | 20 | 4 | 1 |
| Chuveiro | L/min | min/hab.d | banho/hab |
| | 20 | 10 | 2 |
| Tanque | L/min | min/.d | dia |
| | 20 | 5 | 1 |
| Máquina de lavar | Litro/ciclo | | ciclo/dia |
| | 108 | | 1 |

| Produção individual | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Lavatório | 20x4x1x5 = 400 l/d |
| Chuveiro | 20x10x2x5 = 2.000 l/d |
| Tanque | 20x5x1 = 100 l/d |
| Máquina de lavar | 108x1 = 108 l/d |
| | |
| DEMANDA TOTAL | 2.608,0 l/d |
| | 0,030 l/s |
| | 0,109 m ³ /h |
| | 78,240 m ³ /mês |

c) Dimensionamento do Filtro de brita

A partir dos dados de demanda, pode-se dimensionar o filtro de brita para o tratamento da água cinza, que neste caso, o filtro será circular. Tem-se então:

$$A = Q / TAS$$

$$D = (A \times 4 / \pi)^{1/2}$$

Onde:

A = área superficial;

D = diâmetro em metros;

Q = 2.608 litros/dia (2,6 m³/dia)

TAS = taxa superficial aplicada de 200 L / m².dia (0,2 m³ / m².dia);

$$A = 2,6 / 0,2$$

$$A = 13,0 \text{ m}^2$$

$$D = (13,0 \times 4 / \pi)^{1/2}$$

$$D = 2,74 \text{ m}$$

A altura da camada filtrante deverá ser de 70 cm e a brita é classificada como brita n°2.

a) Desinfecção

A cloração poderá ser feita em uma caixa de passagem, desde que a pastilha de hipoclorito de sódio fique em contato com o efluente 30 minutos ou mais.

b) Reservatório Inferior de Água Cinza Tratada

Esta unidade receberá o efluente do tratamento das Águas Cinza. Para o seu dimensionamento foi adotado como volume útil, 60% ou três quintos do volume total necessário para abastecer a unidade sanitária durante 2(dois) dias consecutivos. Será utilizado um conjunto motor-bomba para bombeamento destas águas ao Reservatório de Água para Reúso (RIAC).

$$\text{Volume Total de Reservação} = Q(\text{litros/dia}) \times 2(\text{dias})$$

$$\text{Volume Total de Reservação} = 2.600 \times 2 = 5.200 \text{ litros}$$

$$V(\text{CAR}) = 3/5 \times 5.200 \text{ litros} = 3.120 \text{ litros}$$

c) Reservatório Superior de Água Cinza Tratada

Para seu dimensionamento foi adotado como volume útil, 40% ou dois quintos do volume total necessário para abastecer a unidade sanitária durante 2(dois) dias consecutivos.

$$\text{Volume Total de Reservação} = Q(\text{litros/dia}) \times 2(\text{dias})$$

$$\text{Volume Total de Reservação} = 2.600 \times 2 = 5.200 \text{ litros}$$

$$V(\text{RSAC}) = 2/5 \times 5.200 \text{ litros} = 2.080 \text{ litros}$$

Referências Bibliográficas

- ABNT (1997) -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. (1999) - At-source domestic wastewater quality. *Urban Water*. v. 1, n.1, p. 49-55.
- ANDERSON, J. (2001) - Prospect for international guidelines for water recycling. *Water* 21, ago 2001, p. 16-21.
- BARRY, P.L. e PHILLIP, T. (2006) - Water on the Space Station, Artigo publicado em <http://spaceflight.nasa.gov/living/factsheets/water.html>, visitado em 31 de julho de 2006, 4 pgs
- BAZZARELLA, B. B. (2005) - Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- BORGES, L. Z. (2003) - Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BORTONE, G., CIMATTI, E., FAILLA, B., SPADONI, M., STANTE, L. (1999) - Innovative Water Saving Systems In Households In Europe - 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water 99, Zurich, Suíça.
- BURNAT, J. M. Y.; MAHMOUD, N. (2004) - Evaluation of on-site gray wastewater treatment plants performance in Bilien and Biet-Diko Villages/ Palestine. In: International water demand management conference, Dead Sea, Jordan. Disponível em: <http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/jamal_burnat.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2005.
- BUTLER, D. FRIENDLER, E. GATT, K. (1995) - Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Water Science Technology*. v. 31, n. 7, p. 13-24.
- CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. (1996) - An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. V.106, n. 1-3, p. 391-397.
- CMHC - CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. Water reuse standards and verification protocol. Research Highlight. Technical Series 04-131, 2004. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca>>. Acesso em: 11 ago. 2005.
- CURITIBA. Lei nº10.785, de 29 de março de 2003. Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional de água nas edificações - PURAE. Disponível em: <http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2005.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. (1999) - Water saving potential of domestic systems using greywater and rainwater in combination. *Wat. Sci. Tech.* v. 39, n. 5, p. 25-32.

EACT (2006) - Greywater Use Around the Home. Environment Australian Capital Territory Governement (www.environment.act.gov.au acesso em junho de 2006) 6pp.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. (2002) - Characteristics of grey wastewater. *Urban Water.* v. 4, n.1, p. 58-104.

GONÇALVES, R. F. (2003) - (coordenador) Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 438p.

GONÇALVES, R. F. (2004) - Plano de integração – Rede 5. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Edital 4 (PROSAB 4). 12p.

GONÇALVES, R. F.; SILVA, G. M.; WANKE, R. (2004) - Relatório técnico: Memorial descritivo e de dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas do Hotel Comfort Suítes de Macaé-RJ. Fluir Engenharia Ambiental Ltda. 20p.

GONÇALVES, R.F. e BAZZARELLA, B.B. (2005) - Reúso de águas cinzas e gerenciamento alternativo das águas amarelas (urina) em áreas urbanas, Anais eletrônicos do Workshop sobre Reúso. Campina Grande, PB.

GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. (1996) - Revision of the national reclaimed water guidelines. *Desalination.* v. 106, n. 1-3, p. 263-268.
water guidelines. *Desalination.* v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

GREYWATER (2004) - What is it...how to treat it... how to use it. Disponível em: <<http://www.greywater.com/>>. Acesso em: 7 mar. 2004.

GÜNTER, F. (2000) - Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. *Ecological Engineering.* v. 15, n. 1-2, p. 139-146.

JAMARAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S.; AHMED, M.; AL-HARRASI, A. (2004) - Evaluating greywater reuse potencial for sustainable water resources management in the Sultanate of Oman. In: International water demand management conference, Dead Sea, Jordan,. Disponível em: <http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/ahmad_jamrah.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2005.

JERFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. (1999) - Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water.* v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. (2005) - Tratamento de Esgoto Doméstico. 4 ed. Ed. Segrac, Rio de Janeiro.

LAZAROVA, V. HILLS, S. BIRKS, R. (2003) - Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology.* v. 3, n. 4, p. 69-77.

LEDIN, A.; ERIKSSON, E.; HENZE, M. (2001) - Aspects of groundwater recharge using grey wastewater. In: Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, systems and implementation. Cap. 18. p 354-369. London/UK: IWA Publishing.

LITTLE, V.L. (1999) – Graywater Guidelines - Water Conservation Alliance of Southern Arizona (site: www.watercasa.org, acesso em julho de 2006), 28 pg

MARINGÁ, Lei nº 6.076, de 21 de janeiro de 2003. Dispõe sobre o reúso de água não potável e dá outras providências. Disponível em: <http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2005.

MARINGÁ, Lei nº 6.345, de 15 de outubro de 2003. Institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Disponível em: <http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2005.

NEAL, J. (1996) - Wastewater reuse studies and trials in Canberra - Desalination 106 pp.399-405

NOLDE, E. (1999) - Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. Urban Water. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSW HEALTH (2002) . - Greywater reuse in Sewered single domestic premises., Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2004.

ORNELAS, P. (2004) - Reúso de água em edifícios públicos: o caso da escola politécnica. 2004. Dissertação (mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

OTTERPOHL, R. (2001) - Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. Water 21. p. 37-41, out. 2001.

OTTOSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. (2003) - Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. Water Research. v. 37, n. 3, p. 645-655.

PETERS, M. R. (2006) - Potencialidade do uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. 2006 . Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PRILLWITZ, M. e FARWELL, L. (1995) - Graywater Guide: Using graywater in your home landscape. Ed. California Department of Water Resources, Sacramento, EUA. 45 pp.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. (1991) - Microbial and persistence of enteric pathogens in graywater from various household source. Water Research. v. 25, n. 1, p. 37-42.

SANTOS, D. C. (2002) - Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

SAUTCHUK, C., FARINA, H., HESPANHOL, I., OLIVEIRA, L. H., COSTI, L. O., ILHA, M.S.O., GONÇALVES, O.M., MAY, S., BONI, S.S.N., SCHMIDT, W. (2005) – *Conservação e reúso da água em edificações – Manual da FIESP*. São Paulo. 151 p.

USEPA (2004) - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse.

USEPA 625-R-04-108. Office of Water, Washington, DC, EUA.

VON SPERLING, M. (2005) - *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. V.1. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 452 p.

Capítulo 5

Gerenciamento de Águas Negras e Amarelas

Edson Aparecido Abdul Nour, Luiz Sérgio Phillippi, Denis Miguel Roston, Luciano Zanella e Ricardo Franci Gonçalves

No presente capítulo serão discutidos vários aspectos relacionados ao gerenciamento de águas residuárias de origem doméstica: águas negras e amarelas. Esses aspectos serão: origem, características qualitativas e quantitativas de sua geração, formas de tratamento e potencial de reutilização do efluente tratado. A utilização destas duas formas de classificação são importantes não somente para o melhor gerenciamento do tratamento de esgotos, mas também para facilitar ou viabilizar o seu reúso. Vale ressaltar que a segregação de águas residuárias é uma prática cada vez mais utilizada no tratamento de efluentes líquidos em indústrias das mais variadas características, e desta forma, uma prática que pode ser aplicada com resultados muito promissores na resolução de alguns impasses existentes no reúso e reciclagem de efluentes domésticos.

Definições

Conforme foi visto no capítulo 2, um dos pontos-chave para viabilizar a utilização de fontes alternativas de água nas edificações é a segregação das águas residuárias na escala residencial. Esta prática permite soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos, aumentando a eficiência da reciclagem da água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (OTTERPOHL, 2001).

Segregação de águas residuárias

No início do século passado, a utilização de excretas humanas como

fertilizante era prática comum em quase todas as culturas e sociedades. Ainda hoje em alguns países e regiões, especialmente nos mais pobres, a população ainda recorre a esta prática.

Recentemente, uma nova abordagem com relação ao uso das excretas humanas vem surgindo, principalmente na Europa e, mais especificamente, em países como Suécia e Dinamarca. A recomendação é que fezes e urina sejam utilizadas como fertilizantes ou complemento nas mais variadas culturas agrícolas, respeitando as suas características diferentes em termos de patogenicidade, conteúdo de nutrientes e benefícios ao solo e plantas.

Usando o procedimento de “não misturar”, estudos suecos propõem o “Saneamento Ecológico”, ou ECOSAN, que sinaliza para uma maneira segura de se recuperar nutrientes de excretas humanas (ver capítulo 2) (ESREY *et al.*, 2000). Na Figura 5.1 pode-se visualizar o conceito proposto, que pode ser de útil aplicação em regiões pobres ou rurais.

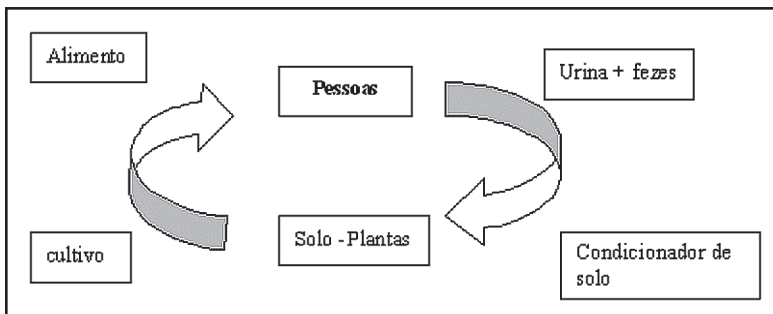


Figura 5.1 O ciclo excreta ↔ alimento. Fonte: ESREY *et al.* (2000)

A separação da urina e fezes tem como um dos atrativos o fato de não conterem resíduos industriais, que podem apresentar contaminantes químicos que potencialmente inviabilizam o reúso do esgoto municipal. No entanto, devem ser tratados para redução de patogênicos em níveis de segurança. Algumas vantagens e desvantagens em se aplicar formas distintas de gerenciamento de fezes e urina são relacionadas a seguir:

- Menor volume: o volume de material fecal será menor, assim como o sistema de coleta de urina terá menor volume.
- Menos odor: O odor característico será menor.

- O tamanho das partículas afeta os processos físicos e biológicos de remoção: sólidos em suspensão (material particulado) têm menor velocidade de biodegradação que os sólidos dissolvidos, os quais, por sua vez, são mais difíceis de serem removidos em unidades de sedimentação e flotação.
- O lodo gerado em ETE que trata esgotos sanitários, onde ocorreu a separação (retirada) da urina, apresenta menores quantidades de nutrientes, principalmente nitrogênio. O mesmo efeito é muito menor quanto ao fósforo presente.

O gerenciamento alternativo de águas amarelas, baseado na separação das rotas de evacuação da urina e das fezes, maximiza a recuperação e a recirculação de nutrientes que não contenham resíduos perigosos. A urina perfaz menos de 1% do volume do esgoto sanitário gerado em áreas urbanas, mas contém a maior parte dos nutrientes que são essenciais na agricultura (N, P, K), em quantidades bastante adequadas para o uso direto na produção (ESREY *et al*, 1998). Estima-se que este tipo de reciclagem dos nutrientes poderia substituir de 20 a 25% dos fertilizantes químicos comerciais atualmente (LIND, 2001). Sua utilização pode ser feita tanto na forma líquida quanto na forma de cristais precipitados, como por exemplo, estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$),.

Outro aspecto de grande importância é a economia de água potável e de energia que resulta do gerenciamento alternativo das águas amarelas. Considerando-se que uma pessoa urina, em média, quatro vezes por dia, e que, por isso, efetua quatro descargas sanitárias para evacuação, o dispêndio de água potável decorrente é de pelo menos 24 Litros/ pessoa.dia (caso se utilize descargas reduzidas de 6 litros). Isso equivale à cerca de 1/6 do consumo “per capita” de água potável, que pode ser preservado mediante a coleta da urina para posterior utilização na agricultura. Portanto, a utilização nas edificações de mictórios ou de vasos sanitários com dispositivos de separação urina / fezes pode resultar em preservação de significativa quantidade de água potável e, conseqüentemente, de energia para distribuí-la à população.

Outro aspecto importante refere-se à minimização de consumo de energia para o tratamento de efluentes e à utilização menor dos recursos hídricos hoje pouco disponíveis. Quando se retira a urina do esgoto sanitário, diminuindo a carga de nitrogênio, reduz-se concomitantemente

os custos de tratamento e o potencial de eutrofização do corpo receptor deste efluente.

Por outro lado, a urina, além de conter mais de 90 % da carga de nitrogênio presente nos esgotos sanitários (Tabelas 5.3 e 5.4), apresenta compostos de nitrogênio, fósforo e potássio de muito fácil assimilação por plantas quando esta é disposta no solo. Quando se compara o potencial de biodisponibilidade de nutrientes no lodo gerado em ETE tratando esgoto sanitário com os nutrientes presentes na urina, verifica-se a importância da coleta segregada visando a utilização da urina na agricultura. Estes resultados podem ser observados na Figura 5.2, onde se compara o potencial de reciclagem de nutrientes por pessoa por ano por meio do lodo de ETE, lodo de ETE mais 40 % de urina produzida recuperada e lodo de ETE mais 100 % da urina total produzida.

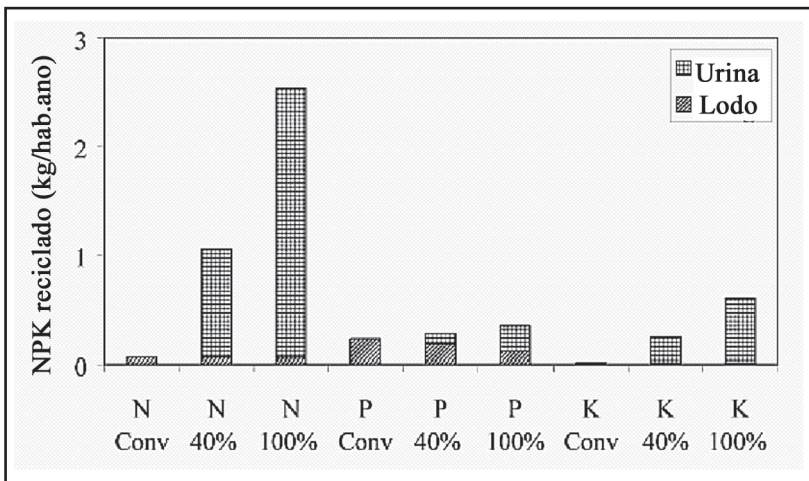


Figura 5.2 Quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio que podem ser reciclados na agricultura, na forma de lodo de ETE convencional, tratando esgoto sanitário, ou urina, a diferentes porcentagens de separação. Fonte: JÖNSSON (2002)

Quando se analisa o sistema de coleta em separado, visando a recuperação da urina, pode-se inferir que existe uma economia de energia ao se utilizar esta urina como insumo agrícola. Esta economia se traduz na diminuição e/ou substituição de compostos de nitrogênio presentes em fertilizantes químicos, diminuindo assim o gasto energético necessário para todo o processo de obtenção destes compostos, podendo chegar a uma economia de 36 % da energia gasta (JÖNSSON, 2002). A própria

diminuição da energia necessária aos processos de nitrificação, denitrificação e remoção de fósforo seria evitada. Se toda a urina produzida fosse coletada em separado, cerca de 80 a 85 % das emissões de compostos de nitrogênio e 50 % de compostos de fósforo deixariam de contaminar e comprometer a qualidade dos corpos de água (JÖNSSON, 2002).

Pesquisadores holandeses da Universidade Holandesa de Delft (WILSENACH & VAN LOOSDRECHT, 2003) avaliaram também as vantagens advindas da separação da urina para o tratamento do esgoto sanitário. Os principais resultados indicaram que:

- uma separação de 60 % da urina produziria uma diminuição na carga de nitrogênio da ordem de 2,5 a 7,5 mg N/L. Valores maiores de 60 % não apresentaram maiores vantagens pois um valor baixo de amônia prejudicaria a eficiência do processo de tratamento do esgoto sanitário;
- os efluentes tratados apresentaram baixa concentração de amônia e fosfato, com valores menores que 1 mg/L;
- diminuição no consumo de energia necessário para o tratamento em nível terciário do efluente (nitrificação e denitrificação).

Estes resultados confirmam aqueles obtidos por outros pesquisadores.

Origem e características básicas das águas negras e das águas amarelas

As águas denominadas negras são águas residuárias proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico. Apresentam elevada carga orgânica e presença de sólidos em suspensão, em grande parte sedimentáveis, em elevada quantidade.

Uma definição que também existe na literatura para designar uma água residuária de origem semelhante às águas negras, já apresentando um conceito de segregação, são as águas marrons. Estas são provenientes de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Águas marrons segregadas das demais resultam em

estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos sub-produtos.

Alguns autores como Nolde (1999) e Christova-Boal et al (1996) não consideram como água cinza, mas sim como água negra a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes. Contudo, o que deve ser sempre considerado quando se pretende efetivar a segregação de águas residuárias em um projeto hidráulico, é como será o processo de tratamento adotado, de forma a minimizar custos de instalação, construção e manutenção.

São consideradas águas amarelas, as águas residuárias provenientes de dispositivos separadores de fezes e urina. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. Ou seja, urina é o componente principal deste resíduo líquido, além da própria água utilizada no aparelho sanitário para a condução deste excreta para a rede coletora. As águas amarelas podem ser recuperadas com ou sem tratamento, tendo como um dos destinos a sua utilização como importante fonte de nitrogênio na agricultura.

Tecnologias de segregação de águas residuárias

Conforme foi visto no capítulo 2, a separação “urina / fezes” pode ser realizada por meio de mictórios ou de vasos sanitários separadores, que possuem em seu interior um compartimento específico para coleta de urina (JOHANSSON *et al*, 2000). Os vasos sanitários separadores (*urine separating toilets*) experimentam aceitação crescente e vêm sendo instalados em várias eco-vilas ao redor do mundo, como por exemplo, Suécia e Alemanha (LIND *et al*, 2001). Na Figura 5.3 são apresentados alguns exemplos destes equipamentos sanitários. Além do dispositivo separador, é importante que se instale o reservatório de estocagem da urina, a partir do qual a urina será removida para utilização na agricultura.

A utilização do conceito de segregação também influencia diretamente o consumo de água para a descarga nos vasos sanitários. A tabela 5.1 apresenta a redução no volume consumido de água, possível de ser obtida quando da utilização de vasos sanitários convencionais com volume reduzido de descarga e vasos sanitários com separadores de urina.

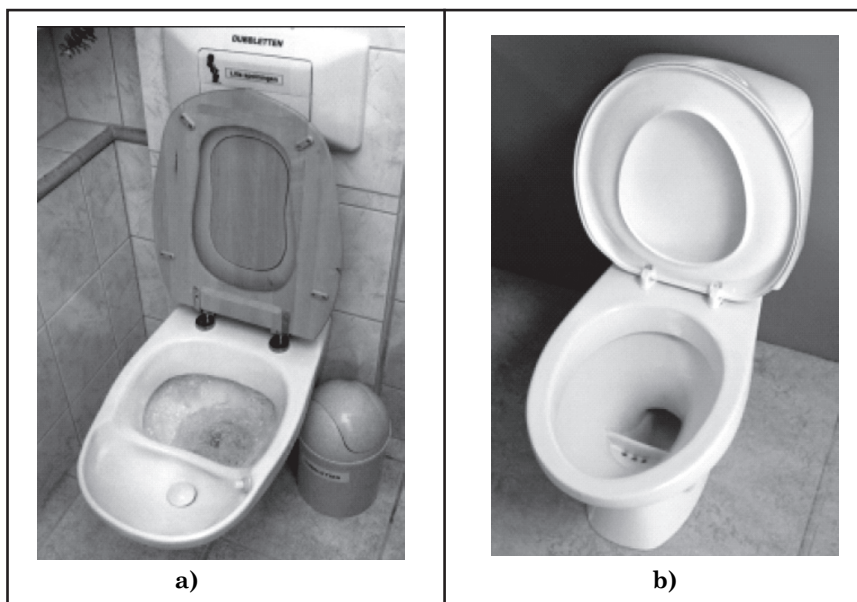


Figura 5.3 Vasos separadores de urina (*Urine-separating toilets*)
 a) Dubbletten from BB Innovation & Co AB;
 b) DS toilet from Wost Man Ecology AB

Tabela 5.1 Diferentes tipos de vasos sanitários quanto ao tipo de descarga utilizada.

| Tipo de vaso sanitário | Volume por descarga (L/descarga) | Descarga longa (L/descarga) ** | Descarga pequena (L/descarga) *** | Volume total (L/pessoa.d) **** |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Volume de descarga muito pequeno | 0,6 a 1,0 | 2 | 0,2 | 3 a 6 |
| Descarga a vácuo | 0,8 a 1,0 | -- | -- | -- |
| Com separador de urina | -- | 4 a 6 | 0,2 | 5 a 7 |
| Volume de descarga pequeno convencional, com dois botões * | -- | 4 | 2 | 14 |
| Volume de descarga convencional | 6 a 12 | -- | -- | 36 a 72 |

* - um botão para descarga longa e outro para descarga pequena
 ** - volume de água utilizado só para fezes
 *** - volume de água utilizado só para urina
 **** - volume de água calculado assumindo que uma pessoa utiliza o vaso sanitário uma vez para fezes e 5 vezes para urina num período de um dia

Fonte: Adaptado de Kujawa-Roeleveld and Zeeman (2006)

Características Quantitativas e Qualitativas

O volume de urina que é excretado pelo corpo humano varia tanto de pessoa para pessoa quanto de um dia para o outro. As razões principais dessa flutuação são as quantidades de líquido ingerido e as perdas por transpiração. De acordo com estudos feitos por Raunch *et al* (2003), o volume médio de urina diário por pessoa adulta é aproximadamente 1,5 L com uma faixa de variação entre 1,0 e 2,5 L. Valores muito próximos também foram obtidos por Fittscher & Hermann (1998), encontrando como volume médio 1,57 L e valores mínimos e máximos 0,69 e 2,5 L, respectivamente. Os resultados obtidos na pesquisa realizada pela UFES encontram-se resumidos na tabela

Tabela 5.2 Resultados da caracterização quantitativa da urina humana – Pesquisa da UFES

| Amostra | Produção diária | | | | | |
|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|-------|-------|-----------|
| | Total (L/dia) | Média (L/pessoa.dia) | Desv. padrão | Máx. | Mín. | Coef. Var |
| Masculino (n = 8) | 11,796 | 1,475 | 0,427 | 2,063 | 0,820 | 29% |
| Feminino (n = 10) | 12,485 | 1,249 | 0,664 | 2,223 | 0,356 | 53% |
| Misto (n = 18) | 24,281 | 1,349 | 0,568 | 2,223 | 0,356 | 42% |

Pesquisadores do Instituto de Engenharia Ambiental da Universidade de Innsbruck, Áustria, avaliaram as características e forma de produção da urina humana em regiões da Suíça, de forma a verificar o potencial de influência de sua segregação em um projeto de estações de tratamento de esgoto (RAUCH *et al*, 2003). A frequência, o volume e o perfil de produção de urina foram avaliados utilizando um vaso sanitário com separador para urina. Pela figura 5.4, e considerando o volume de 1,5 L (variando entre 1,0 a 2,5 L) de urina produzida por pessoa adulta por dia, tanto do sexo feminino como do masculino, o resultado confirma esta informação. Na figura 5.5 verifica-se que o volume de urina produzido por uso do vaso sanitário esteve na faixa de 200 a 400 mL, mas que pode chegar a valores de 1.000 mL.

Outro resultado interessante é o apresentado na Figura 5.6, onde foi avaliado o número de pessoas que utilizaram o mesmo vaso sanitário, num universo de pesquisa de 18 cidades de população próxima de 20.000 habitantes, cidades típicas da Suíça. Este número foi influenciado principalmente pelo dia da semana, ou seja, nos fins de semana a frequência de uso era maior. Ao mesmo tempo foi verificado que 60 % do volume de urina era produzido por volta das 14:50 h do dia (Figura 5.7).

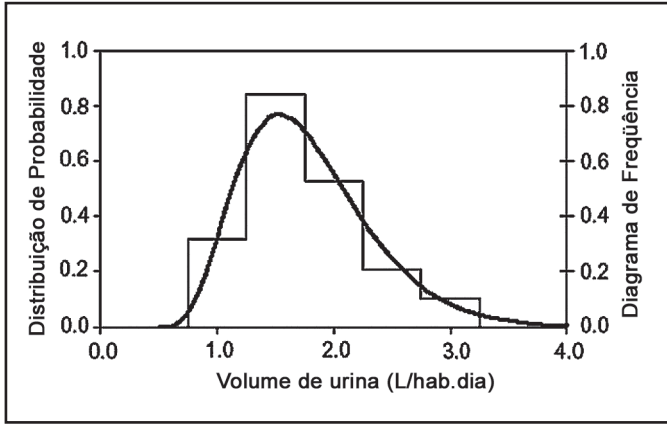


Figura 5.4 Distribuição diária do volume de urina produzida por um suíço adulto. Fonte: adaptado de RAUCH et al (2003).

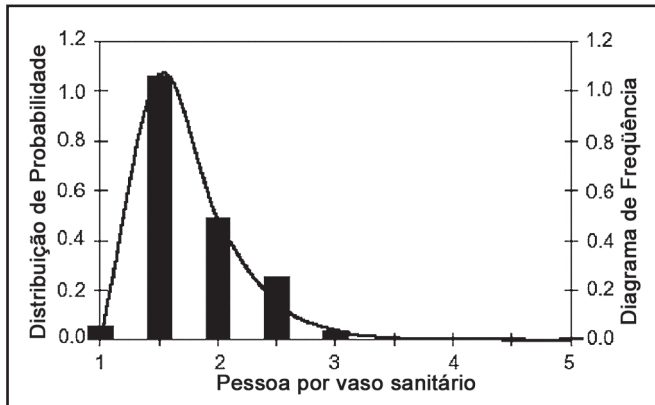


Figura 5.5 Distribuição do número de pessoas que usam o mesmo vaso sanitário, em numa típica região da Suíça. Fonte: adaptado de RAUCH et al (2003).

probability distribution = distribuição de probabilidade
 frequency diagram = diagrama de frequência
 urine volume [(litre/(person*day))] = volume de urina (L/pessoa.d)
 person per wc = pessoas por vaso sanitário

Mesmo ainda iniciais e restritos ao espaço geográfico e cultural da Suíça, os resultados encontrados indicaram mais uma vez que existem vantagens a serem obtidas utilizando o conceito de segregação. Foi verificado que a retirada da urina do esgoto sanitário reduziu em 30% o pico na carga de amônia presente no esgoto, resultado este que aumenta a capacidade de nitrificação, se ela existir, e que poderia evitar possíveis

ampliações futuras em uma ETE. Outro aspecto importante é a redução do impacto ao corpo d'água receptor, do efluente tratado, pela menor descarga do nutriente nitrogênio.

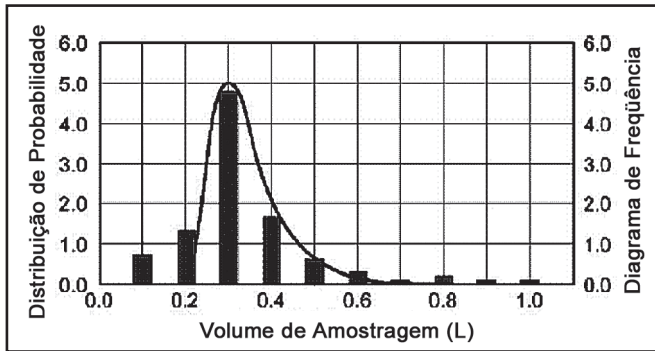


Figura 5.6 Distribuição de valores do volume de urina coletado em cada uso do vaso sanitário, relativos a pesquisa Suíça. Fonte: adaptado de RAUCH et al (2003).

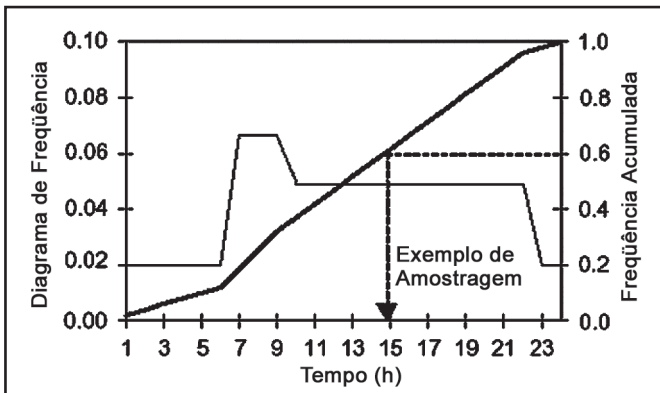


Figura 5.7 Gráfico de frequência acumulada de coleta de urina em vaso sanitário. Fonte: adaptado de RAUCH et al (2003).

Do ponto de vista qualitativo, a urina humana é uma solução complexa de água contendo altas concentrações de sais e nutrientes. O cloreto de sódio (NaCl) e a uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] são os principais, mas também estão presentes o potássio (K), o cálcio (Ca), os sulfatos (SO_4), e o fósforo. O fósforo está disponível como fosfatos (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}) e o potássio como um componente iônico (K^+).

Embora os números possam variar, em geral, a urina contribui com

80% do nitrogênio, 50% do fósforo e 90% do potássio da carga de nutrientes que chega a uma estação de tratamento de esgoto convencional (LARSEN *et al*, 2001). Ao mesmo tempo, constitui menos de 1% do volume desse esgoto total (JOHANSSON *et al*, 2000). Com a eliminação da urina no esgoto doméstico os níveis de carbono e nitrogênio ficam praticamente balanceados para facultar o crescimento bacteriano. Dessa forma, as bactérias que crescem como resultado da degradação da matéria orgânica em ambiente aeróbio podem assimilar o conteúdo de nitrogênio e de fósforo, produzindo esgoto tratado com baixos residuais desses nutrientes.

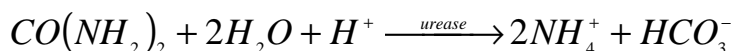
A Tabela 5.3 indica a quantidade de nutrientes contidas nas fezes e urina. Estes valores podem variar um pouco, sendo influenciados por características regionais e culturais de uma população. Um valor referencial importante é que normalmente um ser humano adulto produz cerca de 500 litros de urina e 50 litros de fezes por ano.

Tabela 5.3 Conteúdo de nutrientes nas fezes e urina.

| Nutrientes | Urina* | Fezes* | Total* |
|---|--------|--------|--------|
| Nitrogênio, N (kg) | 5,6 | 0,09 | 5,7 |
| Fósforo, P (kg) | 0,4 | 0,19 | 0,6 |
| Potássio, K (kg) | 1,0 | 0,17 | 1,2 |
| * Para o cálculo do conteúdo total para cada nutriente foram utilizadas as seguintes proporções: urina = 500 L/hab. ano fezes = 50 L/hab. ano | | | |

Fonte: Adaptado de DRANGERT (2005)

Na urina recém excretada grande parte do nitrogênio aparece na forma de uréia [CO(NH₂)₂]. Mas quando estocada, a hidrólise bioquimicamente induzida da uréia gera grandes quantidades de amônia e bicarbonato (amonificação) (reação 1). A enzima catalisadora é a uréia amidohidrolase, também conhecida como urease. As bactérias que a processam são encontradas em toda parte, inclusive nos sistemas separadores de urina (UDERT *et al*, 2003).



Devido à liberação da amônia e do bicarbonato ocorre um aumento no pH na urina, podendo ocasionar precipitação de cristais de inorgânicos

como estruvita, calcita e hidroxiapatita (HAP).

Como visto, a maior proporção de nutrientes está na urina. As fezes também contêm nutrientes. Comparado com a urina, que tem nutrientes solúveis em água, as fezes apresentam nutrientes solúveis em água e nutrientes que estão combinados com partículas maiores não solúveis em água. O fósforo está presente em partículas de fosfato de cálcio, lentamente solúvel em água. O potássio está presente principalmente na forma de íons dissolvidos (DA SILVA & WILLIAMS, 1997).

Quando utilizadas como fertilizantes para as plantas, a disponibilidade dos nutrientes contidos na matéria fecal é menor e mais lenta do que os presentes na urina. Isto é devido ao fato de a maior parte do fósforo e do nitrogênio originar-se de matéria não digerida e esta matéria necessitar ser degradada no solo para tornar-se disponível. Depois de degradada, o nitrogênio orgânico e o fósforo tornam-se disponíveis para as plantas. A matéria orgânica contribui, principalmente, com solos pobres, melhorando sua estrutura, a capacidade de retenção de água e fornecendo fonte de energia para os microrganismos.

As águas negras, amarelas e o esgoto sanitário: percentual em volume e carga orgânica

Os resultados qualitativos contidos na Tabela 5.3 indicam que a urina tem grande contribuição na carga de nutrientes no esgoto doméstico, correspondendo a aproximadamente 90% da carga de nitrogênio e 40% da carga de fósforo. As cargas de DBO_5 e DQO não são tão significativas, contribuindo apenas com 10% cada. Os cálculos das cargas diárias de nutriente, matéria orgânica e inorgânica por pessoa foram feitos com os dados obtidos nos primeiros dias de estocagem (Tabela 5.4).

Na Tabela 5.5 são apresentadas possíveis composições de um esgoto sanitário sem a contribuição da urina. Os valores foram obtidos a partir da razão entre as cargas diárias obtidas por Bazzarella et al (2005) e o per capita de esgoto de 160 L/hab.d, multiplicado pela porcentagem de infiltração na rede de 20%. Esses dados indicam que a segregação e coleta de urina na fonte se constituem em alternativas interessantes às

complexas estações de tratamento de esgoto com remoção de nitrogênio, principalmente.

Tabela 5.4 Cargas diárias excretadas na urina humana e no esgoto doméstico bruto por pessoa.

| Urina Humana (g/hab.d) | | | |
|--|--------------------------------|---|--|
| Variável | Bazzarella <i>et al</i> (2005) | Fittschen e Hahn (1998) | SNV (1995)* apud Fittschen e Hahn (1998) |
| NTK | 11,5 | 10,8 | 11,0 |
| P total _l | 0,55 | 0,93 | 1,0 |
| DBO ₅ | 2,24 | 6,06 | - |
| DQO | 9,34 | 12,97 | - |
| Esgoto doméstico bruto (g/hab..d) | | | |
| Variável | von Sperling (2005) | ATV (1991)** apud Fittschen e Hahn (1998) | SNV (1995)* apud Fittschen e Hahn (1998) |
| NTK | 8,0 | 11,0 | 13,5 |
| P total _l | 2,5 | 2,5 | 2,1 |
| DBO ₅ | 50 | 60 | 48 |
| DQO | 100 | 120 | - |
| * SNV : Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket) | | | |
| ** ATV: normas técnicas alemã | | | |

Tabela 5.5 Composição típica de um esgoto sanitário com e sem contribuição da urina.

| Parâmetro (mg/l) | Esgoto sanitário (von Sperling, 2005) | Urina | Esgoto sanitário sem urina |
|-------------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| DQO | 700 | 49 | 651 |
| DBO ₅ | 350 | 12 | 338 |
| NTK | 70 | 60 | 10 |
| P total | 14 | 3 | 11 |

A urina contribui apenas com pequena parte do volume total do esgoto. No entanto, a água utilizada para transporte constitui uma fração significativa do volume total, atingindo cerca de 35 L/capita.dia (JÖNSSON *et al.*, 1997). Portanto, se 100% da urina é separada e assumindo a produção de 1,50 L de urina/pessoa.dia, ter-se-ia uma redução de 36,5 L/pessoa.dia no volume de água residuária chegando a ETE. Alguns tipos modernos de vasos sanitários utilizam menos água, produzindo um volume (urina + água) em torno de 2 L/pessoa dia (WILSENACH e VAN LOOSDRECHT, 2003).

Na Tabela 5.6 é apresentada uma comparação feita por pesquisadores do grupo de engenharia e tecnologia sustentável da *University of Western Sydney*, Austrália, entre águas cinzas e águas negras contendo urina segundo diversos parâmetros, inclusive o grau de patogenicidade. Pode-se verificar que as águas negras contendo urina contém uma grande concentração de matéria orgânica (valores de DBO e DQO) mesmo sendo gerada em menor quantidade (g/hab.dia). Estes resultados vêm confirmar que os compostos nitrogenados estão presentes em maior quantidade na urina, corroborando para a segregação.

Tabela 5.6 Comparação entre águas cinzas e negras contendo urina

| Parâmetro | Águas cinzas | Águas Negras (contendo urina) |
|---|--------------------------------|--|
| DBO ₅ (g/hab.d)* (mg/L) | 25 150 a 300 | 20 2.000 a 3.000 |
| DQO (g/hab.d)* (mg/L) | 48 300 | 72 2.000 a 6.000 |
| Fósforo total (g/hab.d)* (mg/L) | 2 4 a 35 | 1,6 -- |
| Nitrogênio total (g/hab.d)* (mg/L) | 1 0,6 a 5,0 | 11 (urina é o principal contribuidor) -- |
| Sólidos em suspensão (g/hab.d)* | 18 | > 50 |
| Patogenicidade | baixa | alta |
| Principal característica | Presença de compostos químicos | patogenicidade |
| * g/hab.d = grama por habitante por dia | | |

Fonte: adaptado de PANIKKAR *et.al.* (2003).

Na Figura 5.8 são apresentados gráficos da caracterização realizada em um esgoto sanitário, onde se verificou a presença de matéria orgânica e nutrientes. Nesta figura é possível verificar mais uma vez que a urina contém a maior parte da carga de nutrientes e as águas fecais, (águas negras sem urina) representando uma quantidade importante da matéria orgânica juntamente com as águas geradas pela pia da cozinha durante o manuseio de alimentos e a preparação de refeições (KUJAWA-ROELEVELD AND ZEEMAN, 2006)

A água negra proveniente dos vasos sanitários representa uma fração de 20 a 30% do volume dos esgotos domésticos (e o mesmo para a carga

orgânica), porém, estes aportam mais de 70% do nitrogênio sob a forma orgânica essencialmente amoniacal. A proporção de fósforo aportada pelos esgotos domésticos é bastante variável: 9 % para Siegrist *et al.* (1976) a 90% para Brandes (1978). Estas diferenças podem, em parte, serem explicadas pelas variações na composição das águas residuárias segundo a utilização de produtos de limpeza (tipos e quantidades, por exemplo).

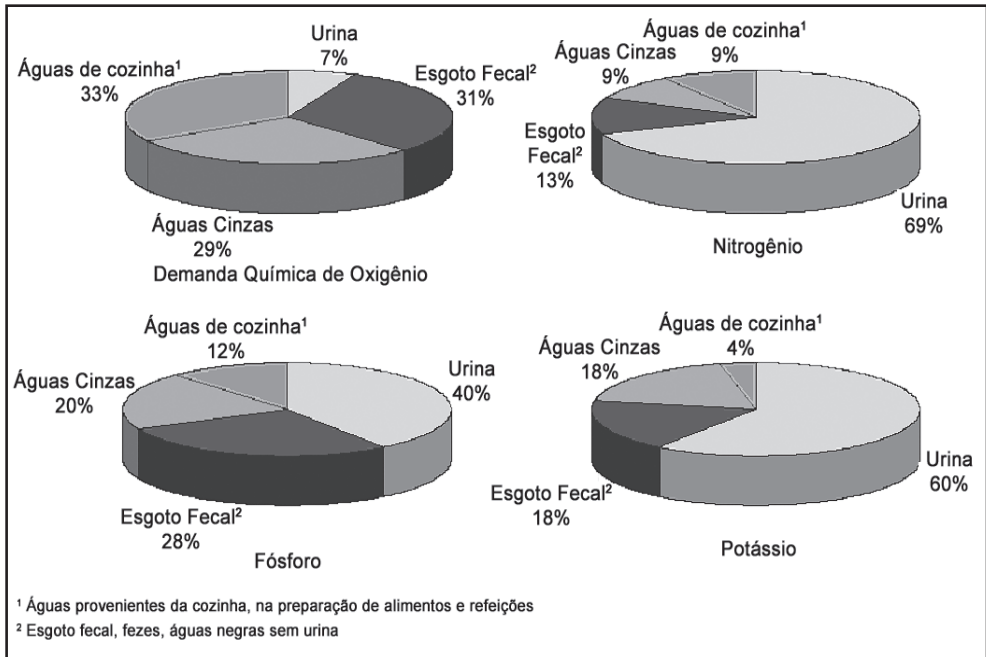


Figura 5.8 Representação da quantidade de matéria orgânica (DQO) e nutrientes (N, P, K) presentes nos diversos tipos de segregação realizada no esgoto sanitário. (Fonte: KUJAWA-ROELEVELD, K. e ZEEMAN 2006)

Aspectos microbiológicos

A ocorrência de organismos causadores de doenças na excreta humana é resultado da infecção nos indivíduos geradores. Essas infecções não se manifestam necessariamente por sintomas clínicos, porém resultará na excreção de patógenos. Embora infecções sejam sempre exceções e não uma situação normal em indivíduos, há necessidade, por segurança, de se conhecer a potencialidade de causar danos à saúde

quando a água se torna um veículo para a transmissão de doenças.

As fezes como agente transmissor

Infecções entéricas podem ser transmitidas por espécies patogênicas de bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Como regra geral, a exposição a fezes não tratadas é sempre considerada insegura devido à presença potencial de organismos patogênicos.

Em países subdesenvolvidos, as bactérias vêm tradicionalmente “liderando” o grupo de organismos que mais causam doenças gastrointestinais, principalmente pela larga ocorrência de surtos de cólera (*Vibrio cholera*), febre tifóide (*Salmonella typhi*), shigelose. Bactérias de importância sanitária são as *Salmonella*, *Campylobacter* e a enterohemorrágica *E.coli*.

Os vírus também devem ser considerados, pois mais de 100 tipos podem ser evacuados nas fezes. Os grupos mais comuns são os rotavírus, enterovírus e adenovírus.

Protozoários e helmintos são particularmente importantes devido à persistência no ambiente, portanto, com possibilidade de transmissão de doenças por longos períodos. A Tabela 5.7 indica alguns organismos patogênicos que podem ser excretados juntamente com as fezes, as doenças que causam e/ou sintomas presentes.

A urina como agente transmissor

Vários tipos de bactérias podem causar infecções do trato urinário, mas a transmissão via meio ambiente é tida como pouco provável. A Tabela 5.8 mostra os patogênicos que usualmente são expelidos na urina, mas a presença destes não é considerada como risco significativo de transmissão de doenças quando lançado ao ambiente. O principal risco de transmissão de doenças pelo uso e manejo de urina humana está relacionado com a contaminação cruzada de fezes e urina ou da urina diretamente, ou seja, o contato direto com o agente.

Tabela 5.7 Exemplos de patogênicos que podem ser excretados nas fezes.

| Grupo | Organismo Patogênico | Doenças/Sintomas |
|---------------------|----------------------------------|--|
| Bactéria | <i>Aeromonas spp.</i> | Enterites |
| | <i>Campylobacter jejuni/coli</i> | Campilobacteriose - diarreias, cólicas, dores abdominais, febre, náuseas. |
| | <i>Escherichia coli</i> | Artrite Síndrome de Guillain-Barré |
| | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Várias; Infecção de pele, infecção de ouvido, meningite, pneumonia |
| | <i>Salmonella ssp</i> | Salmonelose – diarreia, febre, cólicas abdominais |
| | <i>Samonella typhi/paratyphi</i> | Tifo/Febre paratifoide – dor de cabeça, febre, anorexia, bradicardia, tosse |
| | <i>Shigella spp</i> | Shigelose – disenteria, vômito, cólica, febre. |
| | <i>Vibrio cholerae</i> | Síndrome de Reiter Cólera – Diarreia, letal se severa e não tratada |
| Vírus | Adenovirus | Doenças respiratórias |
| | Astrovirus | Enterites |
| | Hepatite A | Hepatite – Febre, anorexia, náusea, desconforto abdominal. |
| | Hepatite E | Hepatite |
| | Poliovirus | Poliomielite |
| | Rotavirus | Enterites |
| Protozoários | <i>Cryptosporidium parvum</i> | Criptosporidiose – Diarreia, cólicas abdominais, dor |
| | <i>Cyclospora cayetanensis</i> | Freqüentemente assintomático, diarreia, dor abdominal. |
| | <i>Entamoeba histolytica</i> | Amebíase – Freqüentemente assintomático, disenteria, desconforto abdominal, febre, arrepios. |
| | <i>Giardia intestinalis</i> | Giardase – Diarreia, cólica abdominal, perda de peso. |
| Helmintos | <i>Ascaris lumbricoides</i> | Geralmente nenhum ou poucos sintomas, tosse, febre, enterites. |
| | <i>Taenia solium/saginata</i> | |
| | <i>Shistosomiasis spp.</i> | |

Fonte: Adaptado de Schönning e Stenström (2004)

Tabela 5.8 Organismos patogênicos que podem ser excretados na urina e a importância como rota de transmissão.

| Patógenos | Urina como rota de transmissão | Importância |
|---|--|---|
| <i>Leptospira interrogans</i> | Usualmente pela urina animal. | Provavelmente baixa |
| <i>Salmonella typhi/paratyphi</i> | Não usual; excretado pela urina em infecções sistêmicas. | Baixa comparada com outras rotas de transmissão |
| <i>Schistosoma haematobium</i> (excreção de ovos) | Indiretamente; infecção via contato com água. | Necessário considerar em áreas endêmicas |
| Mycobacteria | Não usual; geralmente via ar. | Baixa |
| Vírus: CMV, JCV, BKV, adeno, hepatite e outros | Normalmente não reconhecido. Casos isolados de hepatite A e sugestão de hepatite B. Necessário mais estudos. | Provavelmente baixa |
| Microsporídia | Sugerida, mas não reconhecida. | Baixa |
| Microrganismos causadores de doenças venéreas | Não. Sobrevivem por períodos muito pouco significativos fora do corpo. | -- |
| Infecções do trato urinário | Não. Improvável transmissão direta via ambiente | Baixa |

Fonte: Adaptado de SCHÖNNING AND STENSTRÖM (2004)

Tecnologias de Tratamento

Águas amarelas

Os principais processos de tratamento das águas amarelas, objetivando-se sua reciclagem na agricultura, são a estocagem em reservatórios fechados por períodos de tempo pré-determinados, a concentração para redução de volume e a precipitação de cristais (hidroxiapatita e estruvita). Dentre estes, a prática mais comum é a estocagem da urina, necessária para reduzir os riscos biológicos da sua utilização na agricultura. Embora ao sair dos rins de indivíduos são a urina seja desprovida de patógenos, a contaminação é possível na saída da uretra. Durante a estocagem, a liberação da amônia e do bicarbonato causa um importante aumento do pH da urina, podendo ocasionar precipitação de cristais de inorgânicos como estruvita, calcita e hidroxiapatita (HAP). Causa ainda a inativação de microrganismos, sobretudo quando os valores atingem pH maior do que 8,5, o que, dependendo da temperatura ambiente, pode ocorrer em poucas semanas (Figura 5.9). No exemplo em questão, referente a pesquisas realizadas na UFES, constatou-se que houve um crescimento de coliformes termotolerantes e *E. coli* na urina até os 20 primeiros dias de estocagem, chegando a praticamente zero ao final dos 30 dias. Os resultados repercutem o impacto do tipo de

estocagem, em reservatório (bombona) aberto e em reservatório fechado.

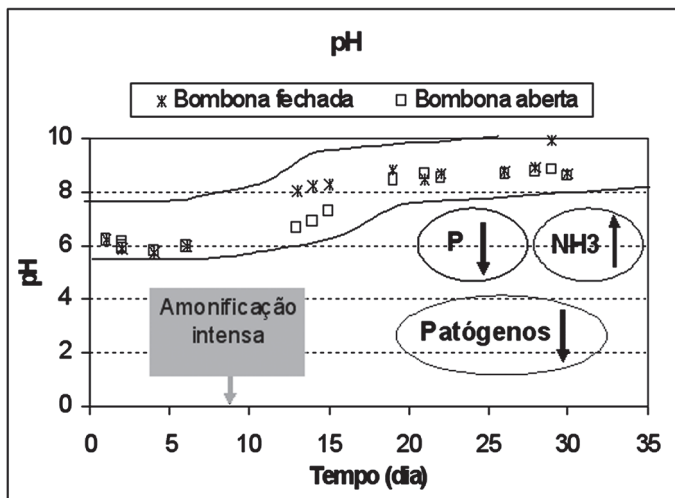


Figura 5.9 Evolução do pH da urina durante a estocagem em duas formas de reservação. FONTE: Bazzarella *et al*, 2005

Tabela 5.9 Diretiva da Suécia para a utilização da urina na agricultura em grandes sistemas*

| Temperatura de estocagem (°C) | Tempo de estocagem (meses) | Patógenos possivelmente presentes na urina após estocagem ** | Cultivos agrícolas recomendados |
|-------------------------------|----------------------------|--|---|
| 4 | ≥ 1 | Vírus e protozoários | Alimentos cultivados e forragem que serão processados |
| 4 | ≥ 6 | Vírus | Alimentos cultivados que serão processados, forragem ^(c) |
| 20 | ≥ 1 | Vírus | Alimentos cultivados que serão processados, forragem *** |
| 20 | ≥ 6 | Provavelmente nenhum | Todo tipo de cultivo **** |

* “Grandes sistemas” – significa que a urina humana é utilizada para fertilizar cultivos que serão consumidos por outras pessoas que não os próprios geradores da mesma.
 ** Bactérias gram-positivas e que formam esporos não foram incluídas.
 *** Exceto pastagens para a produção de alimento para animais.
 **** No caso de produtos consumidos crus é recomendada a fertilização com urina de forma descontínua com incorporação no solo, pelo menos um mês antes da colheita.

Por tal motivo, a Suécia estabeleceu uma diretiva para a utilização da urina na agricultura, estabelecendo períodos de estocagem mínimos para eliminação de determinados tipos de patógenos e as possíveis culturas passíveis de receber a urina estocada (Tabela 5.9).

Exemplo 1

Considerando que em um projeto de uma casa se deseja incluir o conceito de segregação de esgotos nela gerados, qual seria o tamanho do reservatório para estocar a urina? Supõe-se que a coleta e disposição final da urina serão realizadas por firmas especializadas. Para tanto, serão utilizados vasos sanitários com separadores de urina e as diretrizes suecas para gerenciamento da estocagem da urina coletada (ver Tabela 5.3). Dois cenários serão utilizados: a utilização menos restritiva e a mais restritiva em atividades agrícolas.

Dados:

- População atendida: uma residência, ocupada por 5 moradores.
- Produção média diária adotada: 1,5 L/hab.d
- Tempo de estocagem: 1mês (30 dias) para utilização menos restritiva da urina
6 meses (180 dias) para utilização mais restritiva da urina
- Temperatura média da urina durante a estocagem: 20 °C

Solução:

a) Volume de urina produzido diariamente

$$V_{\text{urina}} = 1,5 \text{ L/hab.d} \times 5 \text{ hab} = 7,5 \text{ L/d}$$

b) Volume útil do reservatório de estocagem

- utilização menos restritiva

$$V_{\text{util}} = 7,5 \text{ L/d} \times 30 \text{ d} = 225 \text{ L}$$

- utilização mais restritiva

$$V_{\text{util}} = 7,5 \text{ L/d} \times 180 \text{ d} = 1.350 \text{ L}$$

Águas negras

Em função das características das águas negras, sob o ponto de vista do regime de geração e das características físicas, químicas e biológicas, deve-se optar por sistemas de tratamento que atendam de forma adequada todas estas particularidades.

Sob o ponto de vista do regime de geração, a vazão é muito variável, sendo normalmente descontínua ao longo do tempo.

Pode-se destacar então que o sistema de tratamento a ser utilizado deve se adequar as seguintes características apresentadas por este tipo de água residuária:

- Elevada concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão;
- A matéria orgânica presente pode estar principalmente sob a forma particulada, concentração que aumenta se houver separação da urina;
- O perfil de vazão apresenta características de grande variação temporal, geração descontinuada e vazões pontuais elevadas;
- Para banheiros localizados em locais públicos de grande movimentação, como centros comerciais, rodoviárias, aeroportos, etc, a vazão é descontinuada. Porém, devido à frequência de uso dos aparelhos sanitários, o regime se aproxima de uma geração contínua de esgoto;
- As características de consumo de água do aparelho sanitário utilizado também influenciam nas características do esgoto gerado, ou seja, menor consumo de água implica na concentração maior dos compostos presentes nas fezes e urina no efluente;
- A inclusão das águas originadas da pia da cozinha (lavagem de louça e preparação de alimentos) na tubulação de coleta do vaso sanitário é atualmente uma prática recomendada, tendo em vista a presença de grande quantidade de sólidos em suspensão e compostos graxos, óleos e gorduras de origem animal e vegetal. Vale destacar que a presença dos compostos graxos alteram em muito a possibilidade de um tratamento mais simplificado destas águas.

O processo de tratamento mais adequado deve ainda considerar o

número de contribuintes: o esgoto gerado em uma casa, grupo de casas, prédio de escritórios, hotel, sempre com o objetivo de otimizar ao máximo o consumo de energia, a qualidade do efluente final e a geração de biossólidos. Para um número significativo de pesquisadores, as unidades mais recomendadas para este tipo de efluente seriam: tanque séptico e reator UASB (Figura 5.10).

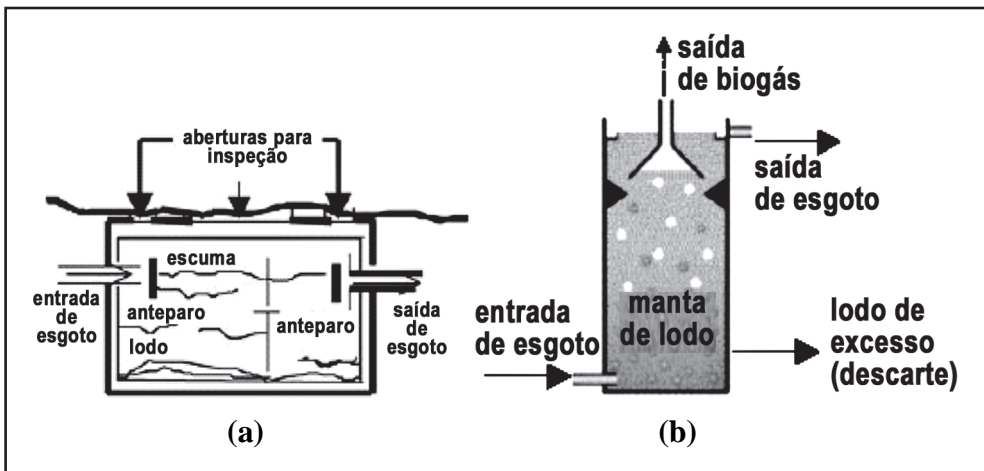


Figura 5.10 Reatores anaeróbios recomendados para tratamento de águas negras e fecais: (a) tanques sépticos, (b) reator UASB

A USEPA, em sua publicação “*Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*”, (USEPA, 2002), coloca como uma das opções para o tratamento de efluentes com elevada carga orgânica o tanque séptico seguido de filtro anaeróbio ascendente ou seguido de reator UASB, de forma a produzir efluentes adequados a sistemas de disposição de efluentes no solo por infiltração, diminuindo muito os problemas operacionais decorrentes da elevada concentração de sólidos e matéria orgânica.

Em outras palavras, sistemas de tratamento que utilizam o processo anaeróbio de estabilização da matéria orgânica são aqueles que se adaptam com mais flexibilidade as características deste tipo de efluente, tendo em vista suas características consagradas: reduzido consumo de energia, tamanho pequeno, reduzida produção de lodo, lodo de descarte já estabilizado e pronto para a disposição final, porém com um efluente final que não se adequa à legislação para o lançamento em corpos d’água.

Assim, um pós-tratamento é necessário, podendo serem estes os mais variados possíveis, mas desde que produzam um efluente final adequado aos padrões de lançamento. A publicação produzida pelos pesquisadores do Edital 2 do PROSAB, “Pós-tratamento de efluentes anaeróbios”, apresenta todas as possíveis opções de pós-tratamento, cada uma adequada às condições de geração de cada água residuária. Desta forma, um fluxograma das possibilidades de tratamento de águas negras é apresentado na Figura 5.11. A disposição final recomendada poderia ser vala de infiltração ou sumidouros, segundo norma NBR 13969 (ABNT, 1997).

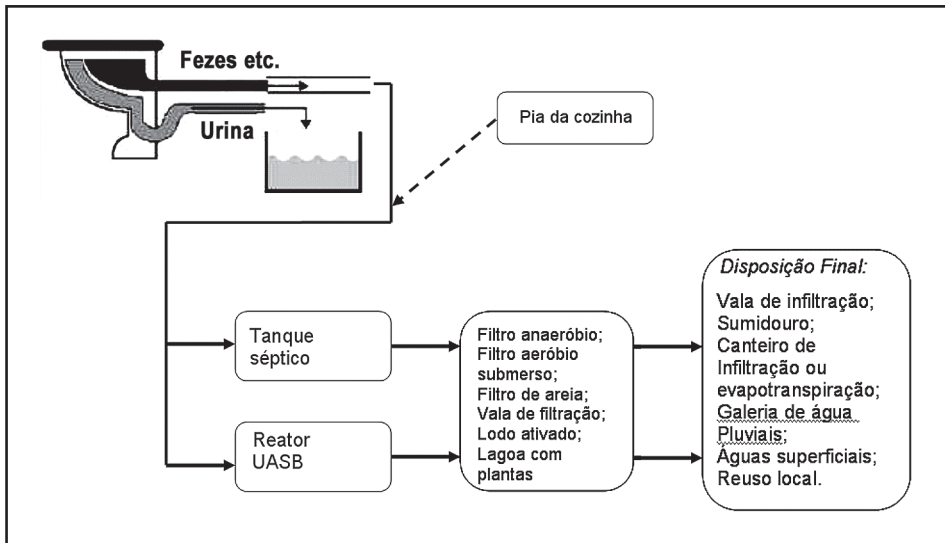


Figura 5.11 Fluxograma das possibilidades de tratamento de águas negras.

Para o tratamento de esgotos de uma residência ou grupo de residências, onde foi realizada a coleta segregada de águas negras, três opções podem ser propostas: a primeira utilizando uma concepção de tratamento já consagrado e duas utilizando duas concepções que foram alvo de estudo por este grupo de pesquisa do PROSAB.

Tanque séptico seguido de filtro anaeróbio

Esta primeira configuração refere-se à utilização das recomendações contidas nas normas ABNT NBR 7229/1980 e NBR

7229/1993 (ABNT 1980 e ABNT 1993), também conhecidas por “normas da fossa-filtro”, constituída de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio (Figura 5.12). A primeira unidade se encarregaria de reter os sólidos sedimentáveis presentes, que em redes coletoras de pequena extensão, como no caso em questão, apresentam uma particularidade não observada em redes longas: os sólidos são constituídos também por fezes ainda no seu formato original. Esta particularidade produz uma mudança no conceito de gerenciamento operacional, de modo que a primeira unidade, tanque séptico, funciona não somente como um decanto-digestor convencional para sólidos orgânicos de pequenas dimensões, mas para todos os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto.

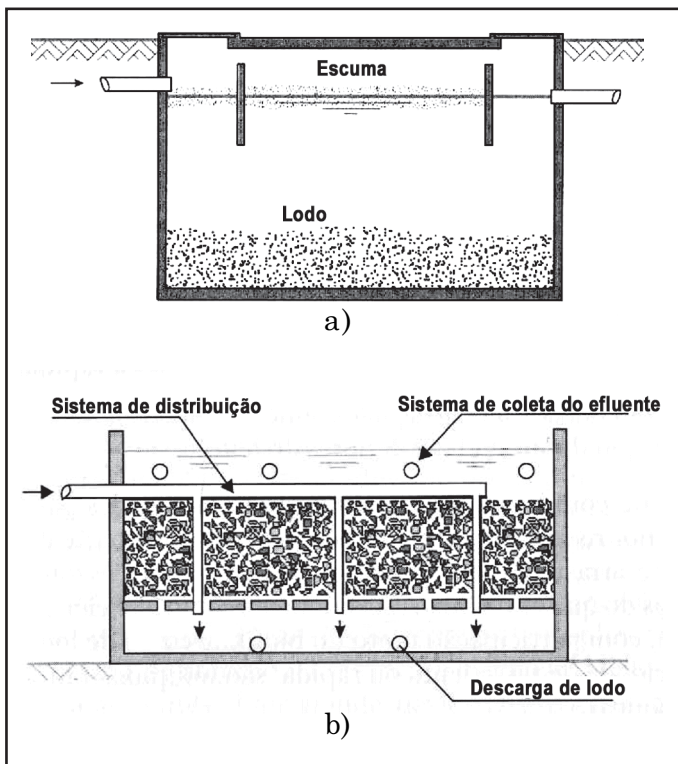


Figura 5.12 Representação esquemática do tanque séptico (a) e filtro anaeróbio (b)

Uma consideração a ser feita sobre a forma de dimensionar esta unidade, segundo as recomendações contidas na norma (equação 1), seria

quanto à contribuição “per capita” da fase líquida (esgoto) e fase sólida (lodo retido).

$$V = 1.000 + N_*(C_*TDH + L_{f*}k) \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

V = volume do tanque séptico (L)

N = número de contribuintes (hab ou unid.)

C = volume diário de esgoto de cada contribuinte (L/hab.d ou L/unid.d)

TDH = tempo de detenção hidráulica do esgoto no tanque (d)

L_f = contribuição de lodo fresco, ou seja, contribuição diária de sólidos (L/hab.d ou L/unid.d)

K = taxa de acumulação de lodo (d^{-1})

Como pode ser verificado sempre será acrescido um valor de 1.000 litros ao volume calculado em função das características do esgoto a ser tratado. Este acréscimo é importante para um pequeno número de contribuintes, o qual se dilui com o aumento da vazão de contribuição. Por esta perspectiva, ao se propor a utilização do tanque séptico para tratar águas negras, esta unidade estará hidraulicamente sempre superdimensionada. Cabe então a sugestão de se estudar e propor novos critérios de dimensionamento para o tratamento de águas negras, visando otimizar e minimizar o custo de construção.

Um primeiro aspecto a ser avaliado seria a quantificação real do volume de águas negras produzidas e a concentração de sólidos nela presente. Segundo a norma NBR 7229/1993, os valores de C e L_f podem variar segundo a Tabela 5.10. Verifica-se que o valor de L_f é constante para todas as categorias de edificações com ocupantes permanentes, variando muito quando na ocupação temporária, porém guardando uma certa semelhança quando para atividades de trabalhadores da indústria e comércio. Sendo assim, para ocupação temporária, o volume total do tanque séptico poderia ser reduzido em maior grau do que na ocupação temporária, tendo como referência o volume de lodo fresco produzido.

Tabela 5.10 Contribuição diária de esgoto (C) e lodo fresco (L_F) por tipo de prédio e ocupante

| Prédio | Unidade | Contribuição de esgoto (L/unid.d) | |
|---|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | esgoto (C) | lodo fresco (L_F) |
| 1. Ocupantes permanentes | | | |
| - residência | | | |
| padrão alto | pessoa | 160 | 1 |
| padrão médio | pessoa | 130 | 1 |
| padrão baixo | pessoa | 100 | 1 |
| - hotel (exceto lavanderia e cozinha) | pessoa | 100 | 1 |
| - alojamento provisório | pessoa | 80 | 1 |
| 2. Ocupantes temporários | | | |
| - fábrica em geral | pessoa | 70 | 0,30 |
| - escritório | pessoa | 50 | 0,20 |
| - edifícios públicos ou comerciais | pessoa | 50 | 0,20 |
| - escolas (externatos) e locais de longa permanência | pessoa | 50 | 0,20 |
| - bares | pessoa | 6 | 0,10 |
| - restaurantes e similares | refeição | 25 | 0,10 |
| - cinemas, teatros e locais de curta permanência | lugar | 2 | 0,02 |
| - sanitários públicos * | bacia sanitária | 480 | 4,0 |
| * apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviárias, logradouro público, estádio esportivo, etc) | | | |

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993)

Na seqüência do sistema, o filtro anaeróbio recebe o efluente do tanque séptico, o qual pode obedecer as recomendações de projeto da norma ou ser concebido e construído segundo as recomendações já estudadas no âmbito do PROSAB, ou seja, outros tipos de meio suporte (anéis de bambu, anéis plásticos, tijolos perfurados, outras granulometrias de brita, escoria de alto forno) e altura mínima necessária para este meio suporte (acima de 0,80 m). A disposição final do efluente seria no solo, feita então por valas de infiltração, adequadamente dimensionadas.

Um resumo dos principais critérios para direcionar o projeto de filtros anaeróbios tratando efluentes provenientes de tanques sépticos é apresentado na Tabela 5.11, os quais já foram apresentados em publicação do PROSAB destinada ao pós-tratamento de reatores anaeróbios (CHERNICHARO, 2001).

Tabela 5.11 Taxas de aplicação recomendadas para o projeto de filtros anaeróbios aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

| Critério ou parâmetro de projeto | Faixa de valores, em função da vazão | | |
|---|--------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Vazão média | Vazão máxima diária | Vazão máxima horária |
| Meio suporte | pedra | pedra | pedra |
| Profundidade do meio suporte (m) | 0,8 a 3,0 | 0,8 a 3,0 | 0,8 a 3,0 |
| Tempo de detenção hidráulica * (h) | 5 a 10 | 4 a 8 | 3 a 6 |
| Taxa de aplicação superficial (m ³ /m ² .d) | 6 a 10 | 8 a 12 | 10 a 15 |
| Carga orgânica (kg DBO/m ³ .d) | 0,15 a 0,50 | 0,15 a 0,50 | 0,15 a 0,50 |
| Carga orgânica no meio suporte (kg DBO/m ³ .d) | 0,25 a 0,75 | 0,25 a 0,75 | 0,25 a 0,75 |

* A adoção dos limites inferiores de TDH para o dimensionamento do filtro anaeróbio requer cuidados especiais com relação ao tipo de recheio, à presença de SST no afluente e à altura da camada de recheio. Além disso, a rotina operacional demandará uma maior frequência de descarte de lodo a fim de evitar problemas de colmatação do recheio

Fonte: CHERNICHARO (2001)

É importante ressaltar que a operação e manutenção deste sistema se restringem basicamente à limpeza do tanque séptico nos períodos pré-estabelecidos que, por ironia, acaba sendo um ponto de fragilidade quando do desconhecimento e/ou desrespeito as recomendações das normas e projetistas.

Tanque séptico seguido de filtro de areia e disposição no solo

A proposição é de um sistema constituído de tanque séptico seguido de filtro de areia e disposição no solo (Figura 5.13), subprojeto da UFSC, o qual visa o tratamento do efluente segregado de uma residência. As águas provenientes do vaso sanitário e pia de cozinha são separadas das demais águas provenientes das unidades sanitárias (lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupas) chamadas de águas cinzas. Esta proposta foi construída em uma residência, localizada na zona rural da cidade de Florianópolis, ocupada por 3 moradores, possuindo como característica importante a verificação do gerenciamento de esgoto em uma situação real. Nesta mesma unidade de moradia foram feitos outros estudos para tratamento e posterior uso de águas cinzas e aproveitamento da água de chuva.



Figura 5.13 Vista do Sistema instalado na UFSC.

O volume dos esgotos sanitários está diretamente ligado à utilização das descargas e depende, portanto, da capacidade das caixas de descarga e do número de utilizações, este dependendo do modo e do tempo de ocupação das habitações. No entanto, estes rejeitos situam-se numa faixa de variação mais próxima, devido ao volume similar das caixas de descarga. A válvula de descarga hidráulica não entra nesta avaliação, pois seu volume descarregado depende de fatores diversos, porém é de se notar que seu uso não é adequado quando se fala de gestão sustentada da água. Em países como a França estas caixas de descarga representam geralmente um volume diário de 15 a 25 litros por pessoa, contrariamente aos valores citados de 35 litros nos EUA e 20-30 litros na Bélgica (ROUHART, 1986).

No estudo desenvolvido pela UFSC, foi quantificado o número de descargas no vaso sanitário durante um período de 17 meses. Obteve-se uma média diária de 7,7 acionamentos, sendo que o vaso sanitário é de caixa acoplada com capacidade para 6 litros. A pesquisa apresentou que cada habitante, salvo algumas particularidades, como o tempo de permanência na residência, utiliza aproximadamente 15,4 L/dia de água na descarga.

De acordo com o NSW HEALTH (1999), que fez um estudo comparando o esgoto bruto e a água cinza gerada em uma residência,

pode-se verificar que a água negra (vaso sanitário e pia de cozinha) apresentou uma demanda correspondente a 40% do esgoto total (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 Proporções de esgoto bruto e água cinza gerados em uma residência.

| Fonte | Esgoto Bruto | | Água Cinza | |
|-----------------------|--------------|------------|------------|-------|
| | % | L/dia | % | L/dia |
| Vaso Sanitário | 32 | 186 | - | - |
| Lavatório | 5 | 28 | 7 | 28 |
| Chuveiro | 33 | 193 | 48 | 193 |
| Cozinha | 7 | 44 | 11 | 44 |
| Lavanderia | 23 | 135 | 34 | 135 |
| Total | 100 | 586 | 100 | 400 |

Fonte: Adaptado de NSW HEALTH (1999).

No sistema desenvolvido pela UFSC, o tanque séptico foi dimensionado com capacidade para 5 pessoas, considerando que o vaso sanitário e a pia de cozinha contribuem com 40% do total per capita de esgotos gerados na residência (40 L/hab.dia) e baseado nas indicações da NBR 7229/93 (ABNT, 1993), para uma residência de padrão baixo. Destaca-se a adoção de 2 anos de intervalo de limpeza e a temperatura média ambiente, nos meses mais frios, variando entre 10° e 20° Celsius – característico da região. A filtração compacta (Filtro de areia) foi baseada nas indicações da NBR 13969/97 (ABNT, 1997), destacando-se a taxa hidráulica aplicada de 100 litros/m².dia. O material filtrante é composto por areia grossa – obtida junto ao comércio local. O dimensionamento das valas de infiltração, também foi baseado nas indicações da NBR 13969/97 (ABNT, 1997), tomando-se como parâmetro a permeabilidade do solo local (obtido a partir do perfil geológico executado *in loco*). Ressalta-se que esta unidade de disposição final foi dimensionada a partir da contribuição total da residência (águas negras e águas cinzas).

O estudo realizado com o tanque séptico seguido de filtro de areia e infiltração no solo por meio de valas de infiltração mostrou que o seu desempenho foi adequado, mesmo para um efluente mais concentrado. A Figura 5.14 (a e b) apresenta as concentrações médias de alguns parâmetros, obtidos no sistema, onde se pode observar as eficiências médias de remoção de DBO, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio amoniacal e SST que foram de 91,6%, 87,7%, 72,9%, 67,2 e 92,3%, respectivamente.

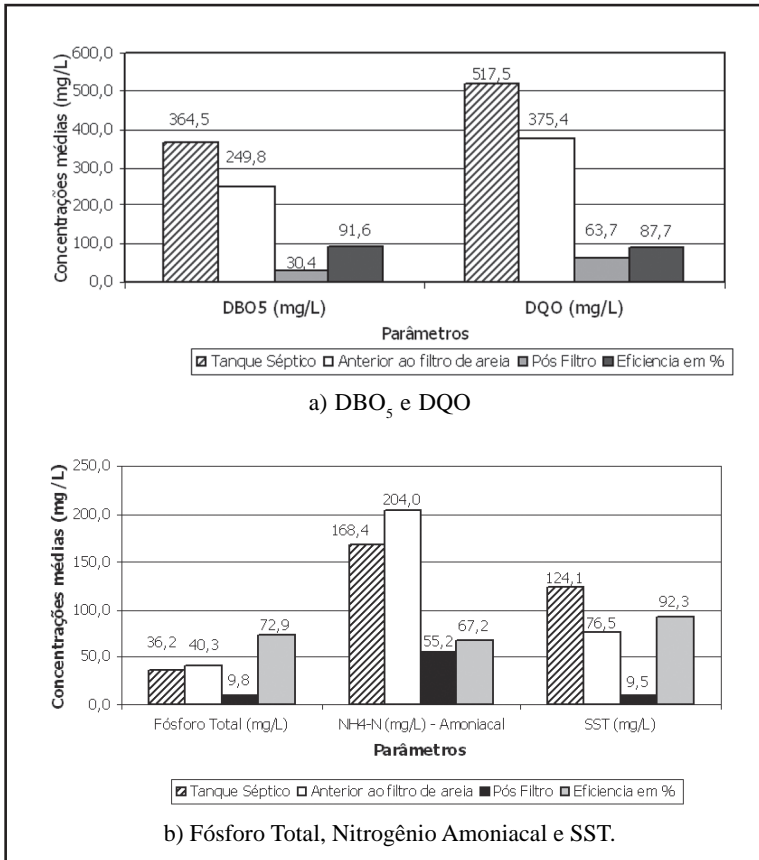


Figura 5.14 Resultados obtidos na pesquisa desenvolvida pela UFSC.

Com relação ao lodo gerado no tanque séptico, a taxa de acumulação, isto é, o volume de lodo em relação à idade da fossa (após seu início de funcionamento ou da última limpeza) e ao número de usuários, permite apreciar a situação de digestão no interior do tanque séptico, sendo este o principal parâmetro de gestão do sistema (PHILIPPI, 1993). Valores inferiores a 0,2 L/pessoa.dia assinalam um funcionamento hidráulico e biológico adequado.

Para a coleta e a verificação da altura do lodo no tanque séptico em estudo, utilizou-se uma mangueira de silicone fixada a uma haste de madeira graduada, conectada em uma bomba peristáltica. Esta mangueira era disposta verticalmente na superfície do líquido do tanque

séptico. A bomba era então ligada e a haste era lentamente mergulhada. Durante esse processo, o líquido efluente era descartado até que se atingisse a camada de lodo, facilmente identificada devido a sua coloração mais escura e maior viscosidade. Atingida a camada de lodo, o efluente à mangueira era então direcionado a um recipiente de amostragem e posteriormente encaminhado ao laboratório para realização das análises físico-químicas. O volume coletado era em torno de 1 litro.

Os resultados obtidos na pesquisa por meio das análises físico-químicas realizadas com as amostras de lodo coletadas no interior do tanque séptico são apresentadas na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 Caracterização do lodo do tanque séptico na pesquisa da UFSC

| Parâmetros | 1° Coleta | 2° Coleta | 3° Coleta |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Altura do Lodo (cm) | 18 | 18 | 18 |
| Densidade (kg/m ³) | - | 1005 | - |
| Alcalinidade Total (mg/L) | 1.958,6 | 1.796,6 | 2.444,6 |
| Acidez (mg/L) | - | 10 | 39 |
| pH | 7,51 | 7,95 | 7,54 |
| DQO (mg/L) | 22910* | 995,5** | 901** |
| DBO ₅ | - | - | 2.320 |
| N-NH ₄ (mg/L) | 353,9 | 430,6 | 495,4 |
| P-PO ₄ | 161,0 | 106,7 | 260,4 |
| Umidade 65° (%) | 97,9 | 98,0 | 98,4 |
| Umidade 105° (%) | 95,9 | 95,2 | 94,4 |
| Sólidos Totais (g/L) | 41,7 | 47,82 | 56,2 |
| Sólidos Totais Voláteis (g/L) | 28,8 | 33,0 | 31,7 |
| Sólidos Suspensos Fixos (g/L) | 11,5 | 12,3 | 22,6 |
| Sólidos Suspensos Voláteis (g/L) | 27,4 | 35,7 | 29,0 |
| % Sólidos | 3,88 | 4,8 | 5,59 |
| * Bruta | | | |
| ** Centrífuga | | | |

Analisando a tabela acima, pode-se notar que o lodo apresenta características de lodo orgânico, como era de se esperar, uma vez que recebe apenas os efluentes na cozinha e vaso sanitário. Isso pode ser observado pelos altos valores de DQO e DBO, além da concentração de sólidos voláteis que apresentou valores da ordem de 65% dos sólidos totais, em média. A fração orgânica dos sólidos é composta de proteínas, carboidratos e gorduras. Esses componentes, particularmente os dois

primeiros, servem como excelente alimento para as bactérias, inerentes a tratamentos biológicos. A densidade do lodo de 1,005 g/cm³, muito próxima a da água e a umidade a 105 °C de 95% em média, comprovam a predominância de água no lodo. A altura encontrada foi de 18 cm.

A Tabela 5.14 apresenta uma comparação, de alguns parâmetros analisados, com o estudo realizado por Belli Filho (2002) sobre a bioestabilização de lodos de tanque sépticos com resíduos sólidos orgânicos em digestores anaeróbios. Cabe lembrar que o sistema estudado pela UFSC envolve a segregação dos efluentes gerados, sendo que o tanque séptico recebe contribuições apenas da pia de cozinha e vaso sanitário.

Tabela 5.14 Comparação entre os estudos de Belli Filho (2002) e os da UFSC.

| Parâmetros | DBO ₅ (mg/L) | pH | Alcalinidade (mg/L) | NH ₃ (mg/L) |
|---------------------------|------------------------------|-------------|------------------------|---------------------------|
| Belli Filho (2002) | 2.808 | 6,8 | 994 | 116,0 |
| UFSC | 2.320 | 7,7 | 2.000 | 426,6 |
| <hr/> | | | | |
| Parâmetros | P _{total} (mg/L) | ST (g/L) | SV (g/L) | SSV (g/L) |
| Belli Filho (2002) | 24,1 | 12,1 | 7,8 | 6,1 |
| UFSC | 176,0 | 48,6 | 31,2 | 30,5 |

Com relação à taxa de acumulação de lodo, vale salientar que durante o período de monitoramento do sistema, o tanque séptico sofreu uma limpeza. Sendo assim, foram 15 meses operando, recebendo diariamente a contribuição de 3 indivíduos. A taxa de acumulação de lodo no interior do tanque séptico foi calculada da seguinte forma:

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{4} \times h \right) \times 1000$$

$$V = \left(\frac{\pi(1,1)^2}{4} \times 0,18 \right) \times 1000$$

$$V = 171 \text{ litros}$$

$$T_x = \frac{V}{N \times t}$$

$$T_x = \frac{171}{3 \times 450}$$

$$T_x = 0,126 \text{ L/pessoa.d}$$

Onde: V = Volume de lodo acumulado no interior do tanque séptico (litros);

D = Diâmetro interno do tanque séptico (m);

h = Altura de lodo medida (m);

N = Número de habitantes (pessoa);

t = Número de dias de operação (dia); e

T_x = Taxa de acumulação de lodo (L/pessoa.d).

Conforme demonstrado, através de cálculos, a taxa de acumulação de lodo apresentou valores da ordem de 0,126 L/pessoa.dia.

Philippi (1993) em um estudo realizado no Sul da França, monitorando 42 fossas durante 3 anos, observou que a taxa de acumulação de lodo estabiliza-se à 0,2 L/pessoa.dia. Sendo assim, o tanque séptico analisado funciona de maneira a promover a digestão e o tratamento adequado ao seu afluente.

Exemplo 2

Dimensione um sistema prevendo a associação em série de um tanque séptico, um filtro de areia e valas de infiltração para uma residência com 5 pessoas. Os seguintes dados devem ser adotados:

Para o Tanque Séptico:

- População atendida: 5 moradores;
- Padrão das residências contribuintes: médio (130 L/hab.dia);
- Produção relativa diária adotada para o vaso sanitário e pia de cozinha (C): 40 % do esgoto gerado, neste caso: 52 L/hab.dia;
- Contribuição de lodo fresco (Lf): 1 L/hab.dia;
- Tempo de detenção hidráulica (TDH): 1 dia;
- Intervalo entre limpezas: 2 anos;
- Temperatura média no mês mais frio: 10 - 20 °C

Solução:

$$V = 1000 + N.(C.T + K.Lf)$$

Onde:

- N = 5 pessoas;
- C = 52 litros de esgoto/ pessoa/dia;
- TDH = 1,0 dia;
- K = 105 dias (2 anos);
- Lf = 1,0 L/ hab.dia

Logo:

$$V = 1000 + 5[(52 \times 1) + (105 \times 1)]$$

$$V = 1,785 \text{ m}^3$$

Para um tanque de câmara única, este poderá ser prismático ou circular, atendendo o limite mín e máx de profundidade estabelecido pela NBR 7229/93:

Para o Filtro de Areia:

- População atendida: 5 moradores;
- Padrão das residências contribuintes: médio (130 L/hab.dia);
- Produção relativa diária adotada para o vaso sanitário e pia de cozinha (C): 40 % do esgoto gerado, neste caso: 52 L/hab.dia;
- Vazão (Q): 52 L/hab.dia x 5 hab = 260 L/dia;
- Taxa Hidráulica Aplicada (TAS): 100 L/m².dia;

Solução:

$$A = Q / TAS$$

$$D = (A \times 4 / \pi)^{1/2}$$

- A = área superficial;

- D = diâmetro em metros;

$$A = 0,26 / 0,1$$

$$D = (2,6 \times 4 / \pi)^{1/2}$$

$$A = 2,6 \text{ m}^2$$

$$D = 1,82 \text{ m}$$

Altura da camada de brita deverá ser de 0,15 m e altura da camada de areia de 0,70 m;

O material filtrante deverá ser composto por areia com d_{10} superior a 0,25mm e coeficiente de uniformidade inferior a 4 unidades.

Para as Valas de Infiltração:

- População atendida: 5 moradores;
- Padrão das residências contribuintes: médio (130 L/hab.dia);
- Produção relativa diária adotada para o vaso sanitário e pia de cozinha (C): 40 % do esgoto gerado, neste caso: 52 L/hab.dia;
- Vazão (Q): 52 L/hab.dia x 5 hab = 260 L/dia;
- Taxa Hidráulica Aplicada (TAS): 100 L/m².dia;

$$A = Q / TAS \quad \rightarrow \quad A = 260 / 100 \quad \rightarrow \quad A = 2,6 \text{ m}^2$$

Reator anaeróbio compartimentado seguido de alagados construídos

A utilização do reator UASB para o tratamento de águas negras, com posterior pós-tratamento, é uma das opções que podem ser utilizadas. Tanto pela sua capacidade de tratar efluentes com as mais diversas concentrações de matéria orgânica e sólidos em suspensão, quanto pela simplicidade operacional e eficiência. Diversos trabalhos têm comprovado a viabilidade da utilização do reator UASB para o tratamento de efluentes como resíduos da suinocultura cervejarias, por exemplo, resíduos estes com elevada concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão, ou seja, efluentes com aparente semelhança com as águas negras. Este fato vem mostrar que a alternativa de se utilizar reatores anaeróbios é viável e possível nesta escala de uso, onde as cargas orgânicas volumétricas (kg DQO/m³.d) e carga de sólidos (kg SSV/m³.d) são aparentemente semelhantes às apresentadas por reatores tratando os efluentes anteriormente mencionados.

Uma proposição de configuração de reator tipo UASB é a utilização do reator anaeróbio compartimentado (do inglês ABR - *anaerobic baffled reactor*), composto de três ou quatro câmaras em série, onde em cada uma delas o efluente atravessa, em fluxo ascendente, uma região com elevada concentração de biomassa (manta de lodo), comportamento semelhante ao reator UASB (Figuras 5.15 e 5.16). Pode ser descrito como uma seqüência de reatores tipo UASB. Algumas de suas vantagens são a não necessidade de separação de fases no topo do reator, a pequena altura (ao redor de 1,2 a 2,0 m), boa resistência a cargas de choque (a primeira câmara apresenta o dobro do volume das demais) e simplicidade operacional (NOUR, 1996; ZANELLA, 2000; SILVA, 2002). Como necessita de pequena altura ele pode ser construído até mesmo semi ou totalmente enterrado.

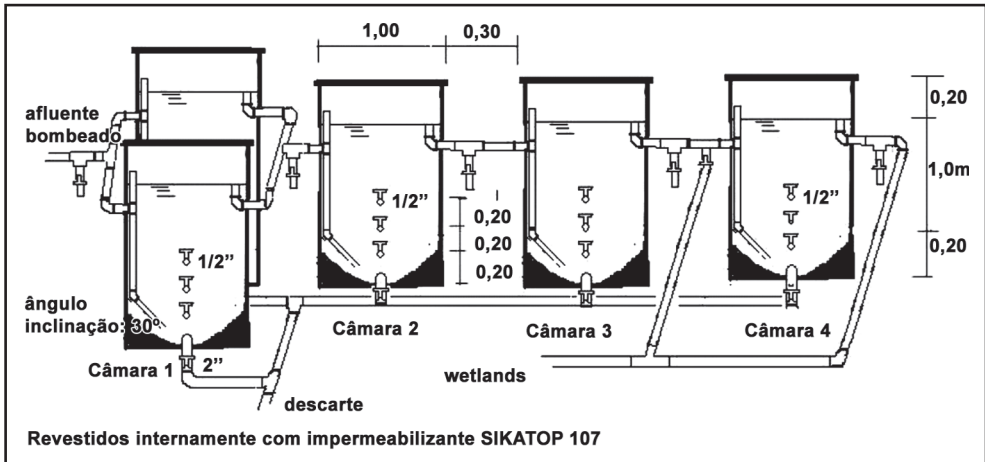


Figura 5.15 Esquema do reator anaeróbico compartimentado utilizado no sub-projeto da UNICAMP para esgoto sanitário.



Figura 5.16 Vista do RAC instalado na UNICAMP

O estudo realizado com o reator anaeróbico compartimentado (RAC) tratando esgoto sanitário gerado nas dependências da Faculdade de Engenharia Agrícola, sem qualquer tipo de segregação, pela UNICAMP, mostrou que o seu desempenho foi adequado mesmo para um efluente bruto com valores médios de DBO e DQO relativamente baixos: 108 mg/L e 386 mg/L, mas com grande amplitude de variação (Tabela 5.16), com eficiências médias de remoção de DBO, DQO e SST 57, 53 e 67 % respectivamente, para um tempo de detenção hidráulica (TDH) médio de 8,0 horas. Estes

valores de eficiência são compatíveis às características do esgoto bruto e ao TDH utilizados. Para efluentes com maior concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão, o seu desempenho não se altera, tendendo a melhorar.

Em função destes resultados e dos relatos contidos na literatura, a utilização do RAC se mostra como uma importante opção para o tratamento de águas negras. A presença de câmaras em série vem tornar mais adequado o uso do RAC, principalmente pela primeira câmara apresentar um volume maior em relação às demais. Este fato é uma decorrência das próprias características deste tipo de configuração em ser mais robusta e poder amortecer melhor as diversas variações que podem ocorrer nas características do esgoto bruto, inclusive as relacionadas à vazão. A utilização de um valor maior de TDH, de até 12 horas, pode aumentar ainda mais a sua capacidade de suportar variações de vazão.

Um pós-tratamento é necessário para adequar o efluente tratado pelo RAC, aos padrões de emissão. O estudo da UNICAMP serve como exemplo de um pós-tratamento bem sucedido: os alagados construídos seguidos de filtro lento. Neste caso os alagados construídos eram de fluxo sub-superficial (Figura 5.17), utilizando brita número 1 como meio suporte e papiro (*Cyperus Papyrus*). A altura do meio suporte utilizada foi de 0,40 m e o com TDH médio de 2,5 dias.

A configuração proposta para o tratamento de esgotos sanitários e também águas negras é apresentada na Figura 5.18. Na Tabela 5.15 são apresentados os resultados obtidos para o sistema RAC seguido de *wetlands* construídas do tipo subsuperficial com meio suporte em brita 1 e papiro.

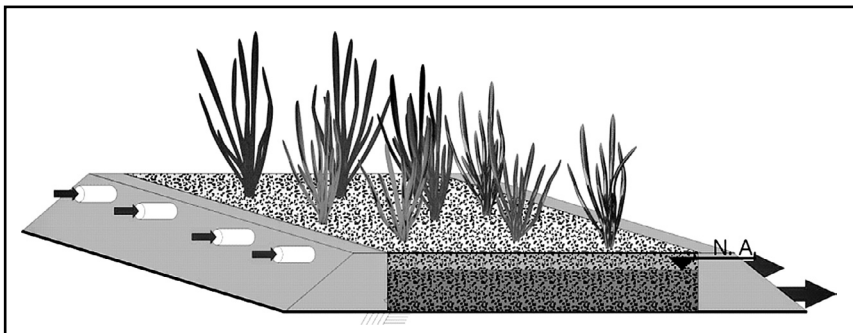


Figura 5.17 Esquema de um alagado construído com escoamento sub-superficial. Fonte: ZANELLA (2006)

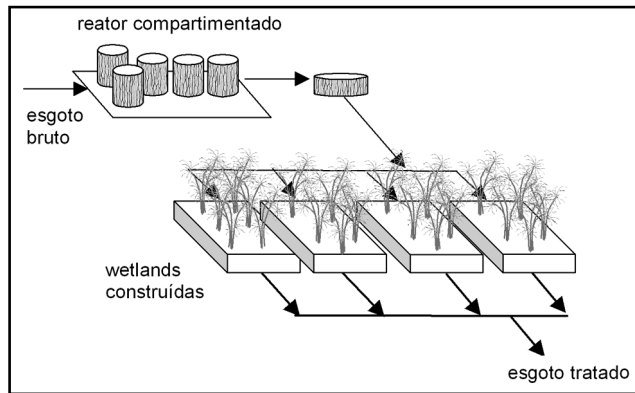


Figura 5.18 Representação do sistema de tratamento utilizando RAC e alagados construídos. Fonte: adaptado de ZANELLA (2006)

Tabela 5.15 Caracterização do efluente bruto e efluentes do RAC e alagado construído do sistema de estudo da UNICAMP. Valores mínimos e máximos (média \pm desvio padrão).

| Parâmetro | unidade | Esgoto bruto | Efluente RAC | Efluente <i>wetland</i> com brita e papiro |
|----------------------------|--------------|-------------------------------------|---|--|
| pH | -- | 7,1 a 9,1 (8,0 \pm 0,4) | 8,6 a 7,1 (7,8 \pm 0,3) | 8,1 a 6,1 (7,1 \pm 0,4) |
| Alcalinidade | mg/L | 73 a 515 (197 \pm 68) | 62 a 667 (312 \pm 107) | 134 a 550 (276 \pm 93) |
| Ac. voláteis | mg/L | 17 a 164 (54 \pm 30) | 17 a 251 (72 \pm 50) | 13 a 142 (48 \pm 31) |
| Temperatura | $^{\circ}$ C | 20,5 a 30,0 (25,6 \pm 1,7) | 20,0 a 30,0 (24,9 \pm 2,1) | 18,0 a 28,0 (24,3 \pm 2,1) |
| Turbidez | UNT | -- | -- | 2,3 a 71,5 (27,0 \pm 18,5) |
| Cor aparente | mg Pt/L | -- | -- | 56 a 520 (242 \pm 120) |
| Oxigênio dissolvido | mg/L | -- | -- | 0,9 a 6,3 (3,3 \pm 1,3) |
| SST | mg/L | 54,5 a 636,8 (194,3 \pm 114,4) | 6,0 a 340,2 (64,2 \pm 54,9) | 0,3 a 55,5 (12,9 \pm 10,9) |
| SSV | mg/L | 0,7 a 473,2 (152,3 \pm 92,6) | 2,3 a 285,0 (42,9 \pm 43,1) | 0,3 a 40,2 (9,1 \pm 80,7) |
| DQO | mg/L | 103 a 1.021 (386 \pm 174) | 31 a 476 (185 \pm 94) | 1 a 154 (61 \pm 40) |
| DBO | mg/L | 37 a 200 (108 \pm 50) | 12 a 130 (54 \pm 33) | 1 a 68 (23 \pm 19) |
| Fósforo | mg/L | 4,2 a 12,9 (7,4 \pm 2,4) | 3,6 a 16,9 (7,5 \pm 2,6) | 1,0 a 13,4 (5,7 \pm 2,9) |
| Coliformes totais | NPM/100mL | -- | 1,3x10 ⁷ a 1,6x10 ⁸ | 6,0x10 ⁵ a 3,0x10 ⁷ |
| Coliformes fecais | NPM/100mL | -- | 2,7x10 ⁶ a 1,6x10 ⁸ | 1,0x10 ⁵ a 3,0x10 ⁶ |

Na Figura 5.19 são apresentados gráficos com as características dos efluentes produzidos no sistema da UNICAMP, em relação a concentração de DQO, DBO e SST.

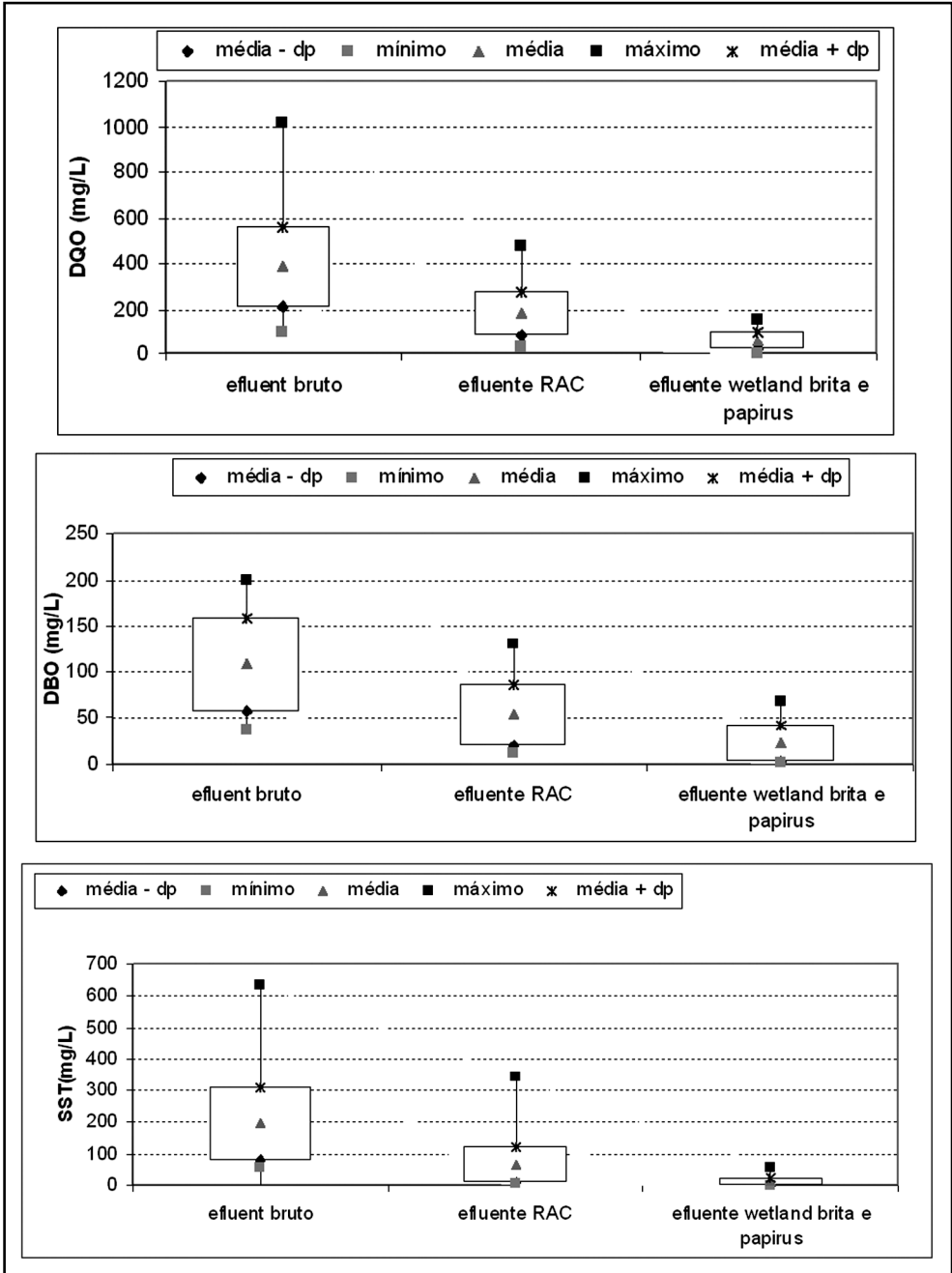


Figura 5.19 Características de desempenho do sistema de tratamento RAC mais alagado construído estudado pela UNICAMP, frente aos valores de DQO, DBO e SST.

Exemplo 3

Considerando um projeto com o conceito de segregação de esgotos, uma rede coletora seria utilizada para o tratamento das águas coletadas nos mesmos vasos sanitários com separadores de urina, para um grupo de 16 casas. Para tanto serão considerados os seguintes dados:

- População atendida: 16 residências, cada uma ocupada por 5 moradores;
- Padrão das residências contribuintes: médio;
- Produção relativa diária adotada para o vaso sanitário: 40 % do total de esgoto
- Tempo de detenção hidráulica (TDH) para o RAC: 10 horas;
- Número de compartimentos para o RAC: 3, sendo o primeiro com o dobro de volume dos demais, todos com formato retangular;
- Altura útil do RAC (h_1): 1,20 m
- Tempo de detenção hidráulica (TDH) para os alagados construídos: 2,5 dias;
- Altura do meio suporte dos alagados construídos (h_2): 0,40 m
- Tipo de meio suporte utilizado nos alagados construídos: brita #2
- Índice de vazios do meio suporte (IV) = 0,45 (45 %)

Reator Anaeróbio Compartimentado

Vazão de esgoto diária

$$Q = N \times C \times \text{produção relativa} = 5 \text{ hab/resid} \times 16 \text{ resid} \times 130 \text{ L/hab.d} \times 0,40$$

$$Q = 4.160,0 \text{ L/d} \quad (4,20 \text{ m}^3/\text{d})$$

Volume útil do RAC

$$V_{\text{RAC}} = Q \times \text{TDH} = (4,20 \text{ m}^3/\text{d}) \times [(10 \text{ h}) \times (1 \text{ d}/24 \text{ h})]$$

$$V_{\text{RAC}} = 1,75 \text{ m}^3$$

Volumes úteis dos compartimentos do RAC

Compartimento 1 (V_{C_1})

$$V_{C_1} = (V_{\text{RAC}}/4) \times 2 = (1,75 \text{ m}^3/4) \times 2$$

$$V_{C_1} = 0,875 \text{ m}^3$$

Compartimentos 2 e 3 (V_{C_2} e V_{C_3})

$$V_{C_2} = V_{C_3} = V_{\text{RAC}}/4 = 1,75 \text{ m}^3/4$$

$$V_{C_2} = V_{C_3} = 0,438 \text{ m}^3$$

Para o cálculo da área superficial de cada compartimento (A_C), será considerado o formato cilíndrico (seção circular) e também que o compartimento 1 será constituído de dois cilindros iguais aos compartimentos 2 e 3.

$$A_C = V_{C_2}/h_1 = 0,438 \text{ m}^3/1,20 \text{ m}$$

$$A_C = 0,365 \text{ m}^2$$

O diâmetro equivalente para esta área seria:

$$D = [(4 \times A_C) / \pi]^{1/2} = [(4 \times 0,365 \text{ m}^2) / \pi]^{1/2}$$

$$D = 0,68 \text{ m (68 cm)}$$

Alagados construídos

Volume útil

$$V_{\text{WET}} = Q \times \text{TDH} = (4,16 \text{ m}^3/\text{d}) \times (2,5 \text{ d})$$

$$V_{\text{WET}} = 10,4 \text{ m}^3$$

Volume total, incluindo o meio suporte

$$V_{\text{TOTAL WET}} = V_{\text{WET}} / IV = (10,4 \text{ m}^3)/0,4$$

$$V_{\text{TOTAL WET}} = 26,0 \text{ m}^3$$

Para o cálculo da área superficial do alagado construído será utilizado a altura de meio suporte de 0,40 m (h_2).

$$A_{\text{WET}} = V_{\text{TOTAL WET}}/h_2 = 26,0 \text{ m}^3/0,40 \text{ m}$$

$$A_{\text{WET}} = 65,0 \text{ m}^2$$

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13969, *Tanques sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação tanques sépticos*, 60p, 1993.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7229, *Projeto, construção e operação tanques sépticos*, 15p, 1993.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7229. *Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais*, 37p. 1982.

- BELLI FILHO, Paulo . Estabilização e Higienização de lodo. Subprojeto 1: PROSAB – Edital 3 – Tema 4. In: CASSINI, S. T. A. (Coord.). *Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás*. Reunião Nacional: PROSAB – Edital 3 – Tema 4. Vitória, 2002.
- BRANDES, M. Characteristics of effluents from gray and black water septic tanks. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* (50): 2547-2559. 1978.
- CHERNICHARO, C.A.L. (Coordenador), *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Rio de Janeiro, ABES - PROSAB, 544p., 2001.
- DRANGERT, J.O. The urine equation. *3day Workshop on Ecological Sanitation Option*. Department of Water and Environmental Studies. Linköping University. Sweden, 2005.
- ESREY, S.A., ANDERSON, I., HILLERS, A., SAWYER, R. Closing the loop – Ecological Sanitation for food security. *Publication on Water Resources n° 18*. Swedish International Development Agency. Sweden, 2000.
- FAUSTO da SILVA, J.J.R. & WILLIAMS, R.J.P. *The biological chemistry of the elements – The inorganic chemistry of life*. Oxford, UK, 1997.
- J. WILSENACH, J. & VAN LOOSDRECHT, M. Impact of separate urine collection on wastewater treatment systems. *Water Science and Technology*, **48** (1), 103–110, 2003
- JÖNSSON, H. Urine separating sewage systems – environmental effects and resource usage *Water Science and Technology*, **46** (6–7), 333–340 (2002).
- JÖNSSON, H., STENSTRÖM T. A., SVENSSON, J. AND SUNDIN, A. Source separated urine-nutrient and heavy metal content, water savings and faecal contamination. *Water Science and Technology*, **35** (9), 145-152, 1997.
- KUJAWA-ROELEVELD, K. AND ZEEMAN, G. Anaerobic treatment in decentralized and source-separation-based sanitation concepts, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, **5**, 115–139, 2006.
- LENIVE, A. D., TCHOBANAGLOUS, G. AND ASANO T. Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications. *J. Water Pollut. Control Fed.* **57** (7), 805 - 816. (1985)
- NOUR, E. A. A., *Tratamento de Esgoto Sanitário Empregando-se Reator Anaeróbio Compartimentado. Tese (Doutorado) – São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP*, 266 p, 1996.
- NSW HEALTH. *Greywater reuse in sewerred single domestic premises*, 1999. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/public_health/ehb/general/wastewater/greywater~policy.pdf> Acesso em 14 set 2005.

PANIKKAR, A., SHRESTHA, S., HACKNEY, P. AND RILEY, S. A residential blackwater and municipal solid waste treatment –safety issues and municipal solid waste treatment system - safety issues and risk management, in *ORBIT 2003*, Prathap, P., Murdoch University, Perth, Australia, 118-126, 2003.

PHILIPPI, L. S.. *Funcionamento de fossas sépticas em condições reais: volume e acumulação de lodo*. ANAIS: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Natal, RN. 1993.

RAUCH, W., BROCKMANN, D., PETERSA, I., LARSEN, T. A., GUJERA, W., Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production, *Water Research*, 37, 681–689, 2003.

ROUHART, J. L'épuration des eaux usées domestiques. *Trib. Cebedeau*, N° 513-514: 54 P. Cebedoc Editeur. Liège, Belgique. 1986.

SCHÖNNING C. AND STENSTRÖM T A. Guidelines for safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems. *Report 2004-1. EcoSanRes Programme. Stockholm Environment Institute*. Stockholm, Sweden, 2004

SIEGRIST, R. L., WITT, M. et BOYLE, W.C. Characteristics of rural household wastewater. *J. Environ. Engng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs.*, Juin : 533-548.1976

SILVA, G. H. R., *Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio Tratando Esgoto Sanitário: Desempenho e Operação. Dissertação (Mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP*, 166 p, 2001.

TERPSTRA, P.M.J. Sustainable water usage systems: models for the sustainable utilisation of domestic water in urban areas *Wat. Sci. Tech.*, 39(5), 65-72. 1999.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*, EPA/625/R-00/008, 2002.

WILSENACH, J. & van LOOSDRECHT, M.. Impact of separate urine collection on wastewater treatment systems. *Water Science and Technology*, 48 (1), 103-110, 2003.

ZANELLA, L., *Partida de um reator Compartimentado Híbrido Anaeróbio/Aeróbio Tratando Esgoto Sanitário. Dissertação (Mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP*, 118 p, 1999.

ZANELLA, L. *Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes domésticos: “wetlands” utilizando brita e bambu como meio suporte. Exame de Qualificação (Doutorado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP*, 84 p, 2006.

ZEEMAN, G. and LETTINGA, G. The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level. *Water Science and Technology*, 39 (5), 187-194, 1999.

Capítulo 6

Aparelhos Sanitários Economizadores

WolneyCastilho Alves, Adilson Lourenço Rocha, Ricardo Franci Gonçalves

Neste capítulo, sob a denominação genérica *aparelhos sanitários*, apresenta-se um conjunto de peças, aparelhos e equipamentos empregados em edifícios de usos diversos: habitações, escritórios, indústrias, comércio, serviços, públicos, etc.

Entre os diversos edifícios e possibilidades de uso destacam-se neste texto os ambientes de um edifício onde normalmente se usa água: banheiros, cozinhas, áreas de serviços, áreas verdes, garagens, entre outros. Os principais aparelhos sanitários através dos quais a água é usada nesses ambientes são abordados neste capítulo, a saber:

- bacia sanitária, banheira, chuveiro e ducha, lavatório, mictório e bidê nos banheiros;
- pia e lavadora de louças, panelas e utensílios nas cozinhas;
- tanque e lavadora de roupa nas áreas de serviço;
- torneira de jardim e outras torneiras em garagens, pátios e superfícies similares.

Nas seções subseqüentes apresentam-se esses aparelhos abordados segundo três linhas principais de critérios: o consumo de água e as possibilidades de sua redução; as características mais importantes de seu funcionamento e a disponibilidade desses aparelhos no mercado brasileiro.

A Importância dos Aparelhos Sanitários no Consumo de Água

A quantidade de água potável consumida em aparelhos sanitários é função de um grande número de variáveis que, num largo panorama,

vão do local e da época do ano em que se dá o uso, passam pelo tipo de instalação predial e tecnologias envolvidas e chegam ao campo da cultura humana e correspondentes hábitos.

De maneira bastante simplificada pode-se, no entanto, considerar o consumo sob dois aspectos. A primeira vertente de abordagem se refere à tecnologia do aparelho sanitário, ou seja, as características intrínsecas de construção e funcionamento que determinam, por exemplo, a vazão de água de um certo aparelho. É o caso de uma torneira que tem suas características fixadas em norma técnica e que, dependendo da pressão disponível na tubulação onde está instalada, dará lugar a um escoamento com certo valor de vazão dependendo do número de voltas que se imprime ao volante que a abre. As torneiras podem ser dotadas de um arejador na extremidade de saída e a introdução desse pequeno dispositivo poderá modificar substancialmente a vazão de água que sai da torneira para o mesmo número de voltas do volante de acionamento. Observa-se em condições reais de uso que uma torneira dotada de arejador implica numa menor quantidade de água consumida em lavatórios, por exemplo. Isso ocorre porque o usuário satisfaz suas necessidades com o jato “sólido” de uma torneira sem arejador no mesmo tempo de uso que com o jato “arejado” originado na torneira com o dispositivo.

A segunda vertente, nessa abordagem simplificada, é a comportamental, ou seja, aquela decorrente dos hábitos pessoais associados a um certo meio cultural. No caso exemplificado do uso da torneira esses hábitos vão levar a um certo consumo maior ou menor em função da vazão que o usuário escolher, ou seja, do número de voltas que ele imprimir ao volante e do tempo que ele mantiver a torneira aberta. Obviamente há uma variação no procedimento de uso, considerados aspectos individuais. Percebe-se, no entanto, que o grau de consciência sobre o valor da água e das problemáticas envolvidas, dada a sua escassez e degradação, vem crescendo e pode levar a modificações de padrões de comportamento.

A adoção de aparelhos economizadores de água no Brasil vem crescendo de forma acelerada, notadamente em prédios de uso público como *shopping centers*, teatros, cinemas, estádios, aeroportos, escolas e outros, principalmente porque o seu emprego proporciona redução das despesas na conta de água e esgoto, bem como com a conta de energia

elétrica e associa o local a valores ambientalistas difusos que ganham espaço no nosso país especialmente em contextos de escassez crônica.

Essa tendência se reflete numa menor escala no caso das edificações residenciais e, com especial ênfase, nas habitações populares.

Sistema Bacia Sanitária

Neste item faz-se a apreciação sobre o sistema bacia sanitária, ou seja, os diversos tipos de bacias sanitárias e aparelhos de descarga que as servem, buscando construir um histórico do desenvolvimento desses aparelhos e suas principais características de funcionamento, de aplicação e de uso mais eficiente da água.

A bacia sanitária é o componente da instalação hidráulica predial que serve à evacuação da excreção humana, composta tanto de dejetos sólidos, as fezes, como de dejetos líquidos, a urina. Além desse uso mais freqüente, recebe, eventualmente, vômitos e secreções do aparelho respiratório lançadas pela boca, bem como outros tipos de excreções eventuais devidas a doenças crônicas ou agudas. Em conjunto com excreções sólidas e líquidas é admissível e provavelmente desejável sob o ponto de vista de saúde pública, que o papel higiênico seja lançado na bacia, o que não se constitui em prejuízo ao seu funcionamento. No entanto, o lançamento de restos de comida na bacia, bem como de outros detritos, constitui-se em uso não adequado para o qual a bacia não foi projetada a atender.

As bacias sanitárias disponíveis são de três tipos: acoplada, integrada e convencional. A bacia convencional que é o tipo mais freqüentemente utilizado no Brasil é fornecida de forma independente do aparelho de descarga, aparelho destinado a promover sua limpeza que nesses casos pode ser uma caixa de descarga convencional ou uma válvula de descarga. A figura 6.1 ilustra esse tipo de bacia.

As bacias sanitárias integradas e acopladas são do tipo em que a caixa de descarga é fornecida junto com a bacia. A integrada é um tipo de bacia que forma com a caixa de descarga uma peça monolítica. Na acoplada a bacia e a caixa são peças diferentes e na instalação a saída da caixa fica posicionada sobre a entrada da bacia. A figura 6.2 ilustra esses tipos de bacia.

Quanto à forma de funcionamento, as bacias sanitárias podem ser de arraste ou por ação sifônica. Em ambos os casos a bacia possui um sifão. No caso da bacia por ação sifônica, o sifão possui alguns estrangulamentos (conforme ilustra a figura 6.3) na sua parte interna que provoca o sifonamento da descarga de água e que garante a limpeza da bacia. No caso da bacia de arraste, o sifão não tem nenhum estrangulamento (conforme ilustra a Figura 6.4) e a limpeza da bacia é garantida pela quantidade de movimento da água sob escoamento que constitui a descarga da bacia.

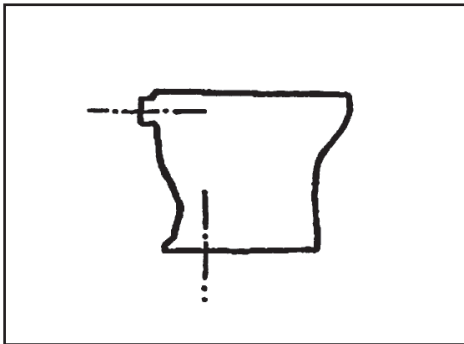


Figura 6.1 Bacia sanitária convencional

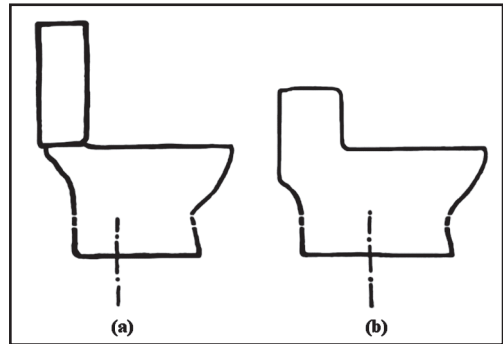


Figura 6.2 Bacia sanitária acoplada (a) e integrada (b)

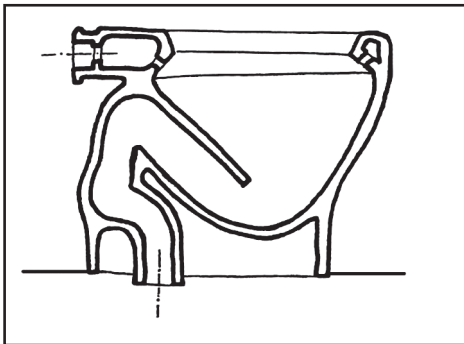


Figura 6.3 Corte esquemático da bacia de ação sifônica

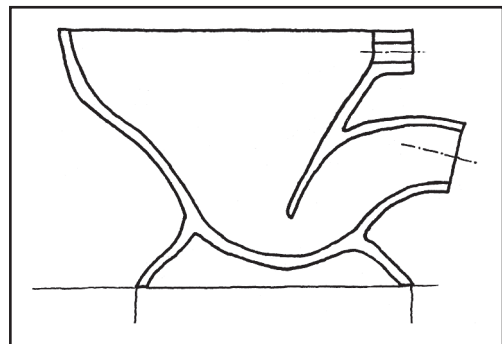


Figura 6.4 Corte esquemático da bacia de arraste

O volume de água consumido nas bacias sanitárias em relação ao total do consumo na residência merece especial atenção. Em meados da década de 70 foram realizados estudos na Grã-Bretanha sobre o perfil do consumo residencial de água, ou seja, as magnitudes da distribuição do volume consumido segundo o uso ou o aparelho. Uma referência

clássica é dada por Thackray *et al.* (1978) que mediram o perfil de consumo nas cidades de Malvern e Mansfield. Nesse estudo os autores mostraram que, nessas cidades, a bacia sanitária era responsável por cerca de 31% a 33% do consumo doméstico total. No entanto, é de suma importância mencionar que os autores mostram que as pessoas tomavam uma média de 1,8 banho/semana, principalmente de banheira, o que correspondia a aproximadamente 16% do consumo total da residência. Outros aspectos do estudo são igualmente importantes, especialmente para mostrar o risco de fazer transposição de resultados sem levar os fatores condicionantes de cada realidade: o consumo *per capita* diário era de aproximadamente 100 L/hab.dia; havia uso da água em rega de jardins e em trituradores de lixo, etc.

Conforme estimativa realizada no capítulo 2, a incidência de bacias sanitárias no consumo residencial no caso brasileiro varia entre 18% e 24% do consumo mensal, considerando-se bacias antigas, ou seja, não conformes com a norma atual. Esta faixa de variação serve apenas a uma primeira aproximação para residências onde o *per capita* é de cerca de 150 L/hab.dia.

O conhecimento da realidade do consumo doméstico segundo o uso, depende de trabalhos de pesquisa. Estudos para a determinação do perfil do consumo doméstico na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), segundo diversos estratos amostrais, vêm sendo desenvolvidos pelo IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, sob patrocínio da SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Por conta da incidência relativamente alta no consumo doméstico observado na Grã-Bretanha e nos EUA, a bacia tornou-se um dos principais exemplos de aparelhos sanitários para os quais se buscam soluções de racionalização do consumo trabalhando-se sobre a redução do volume de água descarregada em cada operação de uso.

A utilização desse componente é feita com o emprego de um determinado aparelho de descarga, colocado à montante para gerar a quantidade de água necessária e suficiente para produzir um funcionamento adequado que significa limpar a superfície da bacia, remover os dejetos líquidos e sólidos do poço e transportar esses dejetos a uma distância considerada adequada.

O aparelho de descarga normalmente utilizado é uma caixa ou uma válvula de descarga. Existem modelos de bacias em que a caixa de descarga é fornecida junto pelo próprio fabricante, formando os conjuntos acoplados (quando caixa e bacia são peças cerâmicas diferentes) ou integrados (quando caixa e bacia são a mesma peça cerâmica, em um só bloco).

No mercado brasileiro, o emprego de conjuntos acoplados ou integrados é pouco freqüente. Na grande maioria das vezes, empregam-se as bacias sanitárias denominadas “convencionais”, onde os aparelhos de descarga são comercializados de forma separada, utilizando-se então caixas de descarga ou válvulas de descarga como aparelhos que promovem a limpeza da bacia.

Os corpos das caixas de descarga convencionais podem ser fabricados em qualquer material, inclusive material cerâmico. No passado, os corpos das caixas também eram fabricados de ferro fundido e de cimento-amianto, mas atualmente são largamente fabricados em material plástico, principalmente polietileno.

As válvulas de descarga são geralmente fabricadas em latão ou bronze (ligas de cobre), mas já começa a surgir no mercado válvulas fabricadas em material plástico (PVC).

As bacias sanitárias, contudo, pelas características geométricas e dimensionais do sifão é que determinam a quantidade de água a ser descarregada pelo aparelho de descarga, definindo assim o volume de descarga necessário.

No caso das bacias convencionais, há um outro parâmetro influenciando nessa determinação. Trata-se da vazão da água fornecida pelo aparelho de descarga que, inclusive, depende das características geométricas e dimensionais da argola da bacia sanitária.

Há 20 anos atrás os fabricantes de bacias sanitárias não se preocupavam absolutamente com a quantidade de água gasta para limpar a bacia sanitária. A grande preocupação era com o “design” do produto e com a qualidade do acabamento das superfícies esmaltadas.

Os fabricantes afirmavam verbalmente que as bacias eram projetadas para trabalhar com 12 litros por descarga, mas até para

conjuntos de bacia sanitária com caixa acoplada que são produtos onde o próprio fabricante da bacia define o volume de água descarregada pelo aparelho de descarga, que inclusive é fornecido junto com a bacia, encontravam-se produtos com 14 ou 17 litros por descarga.

Para o caso da bacia convencional, havia caixa de descarga disponível no mercado que apresentava valor da ordem de 15 litros por descarga, que propiciava um bom funcionamento da bacia, mas era, evidentemente, um consumo muito alto. Ou caixa com 5 litros por descarga, que era bem econômica mas exigia que se desse uma segunda descarga para a bacia funcionar de forma adequada.

Nesse contexto, a válvula de descarga de modo geral apresentava um melhor resultado quanto à economia de água, na medida em que o tempo da sua descarga é até certo ponto controlado pelo usuário. Nos casos em que há muito dejetos no poço da bacia e/ou ele é qualitativamente de mais difícil remoção, o tempo de acionamento da válvula é maior e, conseqüentemente, o volume de água descarregada maior. Na situação inversa, com menos dejetos e de mais fácil remoção, o tempo de acionamento é menor e o volume de água descarregado também menor. O resultando que importava era o consumo médio de água que se situava em torno de 9 litros por descarga, cifra média obtida em medições em uso real em banheiros do IPT (ROCHA *et al.*, 1987).

Caixa de descarga dual ou de volume indefinido e válvula de descarga de ciclo fixo

A caixa de descarga com descarga dual oferece ao usuário a possibilidade de escolha entre dois volumes de descarga, um maior, igual ao volume útil da caixa, e outro menor, igual à metade desse volume, utilizado, por exemplo, no caso da bacia sanitária ter uma quantidade menor de dejetos líquidos e sólidos.

Já a caixa de descarga de volume de descarga indefinido oferece a possibilidade do volume de descarga ser ajustado à vontade pelo usuário, para o valor que desejar, numa variação contínua de possibilidades.

A norma brasileira de caixa de descarga, cuja revisão está em

andamento, contempla o emprego da caixa de descarga denominada de *volume indefinido* “onde o cordão, botão ou alavanca de acionamento necessita permanecer acionado, durante toda a descarga, para garantir que o volume útil seja plenamente descarregado”. Dessa forma, o usuário pode interromper o acionamento antes do fim, gerando volume menor de descarga quando se tratar de dejetos líquidos ou menor quantidade de sólidos.

Essas caixas de descarga são produtos comercializados com a mesma vantagem da válvula de descarga de ciclo variável, onde o volume da descarga final é função direta do tempo de acionamento empregado, que varia com a quantidade de dejetos na bacia, o que resulta em menor consumo médio de água.

O sucesso no emprego desses produtos, pelas novidades que na maior parte das vezes incorporam, fica dependente do comportamento dos usuários, havendo o risco de ocorrer exatamente o contrário do que se pretendia inicialmente se eles não forem adequadamente treinados.

As alternativas acima comentadas tinham mais sentido de emprego quando as bacias sanitárias consumiam 12 ou 9 litros de água por descarga. Atualmente, pela normalização brasileira (NBR 15.097/04 – Aparelhos sanitários de material cerâmico – Requisitos e métodos de ensaio) e por especificação dos fabricantes, as bacias consomem somente 6,8 litros, ou seja, foi estabelecido que é necessário lançar esse volume de água na bacia para garantir o seu bom funcionamento.

Dado que essas alternativas (caixa de volume indefinido, de descarga dual ou válvula de ciclo fixo) encontram-se disponíveis no mercado, fica uma suspeita de que, com o emprego desses aparelhos o resultado final pode vir a ser ruim, tanto do ponto de vista da economia de água como do funcionamento da bacia sanitária. Mas uma avaliação dessas possíveis conseqüências só será possível de ser feita em futuro breve, daqui a 5 ou 10 anos, quando já haverá uma história do emprego da bacia de 6,8 L nas instalações prediais brasileiras.

Bacia VDR (volume de descarga reduzido)

Em meados dos anos 80 se colocou para o meio técnico brasileiro a

alternativa de uso das bacias sanitárias de ação por arraste, predominantes em países europeus, com consumo de água de 6 litros por descarga. Havia tipos de bacia, inclusive, onde o consumo podia chegar a 3 litros por descarga, mas neles a altura do fecho hídrico era reduzida para valor inferior a 50 mm e o emprego do produto ficava então restrito a alguns tipos de edificações, notadamente aquelas que não fossem muito altas onde as pressões positivas e negativas no interior das instalações prediais de esgoto não alcançassem valores iguais ou superiores a 50 mmH₂O.

Alguns fabricantes nacionais chegaram a desenvolver um tipo de bacia sanitária denominada VDR (volume de descarga reduzido) com um consumo máximo de água de 5 litros por descarga e altura do fecho hídrico variando entre 20 e 50 mm que seriam empregadas em instalações prediais de casas unifamiliares com no máximo dois pavimentos.

As bacias eram do tipo convencional e para elas também foram desenvolvidas caixas de descarga tipo VDR com 5 litros por descarga.

O resultado do emprego dessas bacias e respectivas caixas VDR em alguns locais em São Paulo não foram plenamente satisfatórios. Houve casos em que a vazão de descarga da caixa estava harmonizada com a necessidade da bacia e o sistema proporcionava funcionava adequadamente. Porém, houve casos em que isso não ocorreu e o sistema funcionou mal, gerando a necessidade de uma segunda descarga para fazer a limpeza adequada da bacia.

A restrição maior ao uso da bacia de arraste é dos próprios usuários porque ela não limpa de forma adequada a superfície interna e o próprio poço da bacia sanitária, havendo a necessidade dos moradores manterem nos banheiros uma escovinha para completar essa limpeza.

Como o mercado brasileiro prefere bacias de ação sifônica, os fabricantes desenvolveram bacias com 6,8 litros de descarga que serão descritas no item seguinte. A fabricação da bacia VDR foi abandonada.

Essas considerações remetem para a investigação de outras possibilidades de redução do consumo em bacias. Dada a relação entre volume consumido e altura do fecho hídrico na bacia sanitária, é possível

cogitar o desenvolvimento de bacias de ação sifônica de 3 litros por descarga, com fecho hídrico menor que 50 mm, para serem utilizadas em locais específicos, como, por exemplo, em assentamentos de habitações de até 2 ou 3 pavimentos.

Bacia de volume de descarga reduzida atualmente adotada no Brasil

O mundo definitivamente entrou na era da sustentabilidade ambiental e o consumo da água nos aparelhos sanitários empregados nas instalações hidráulicas prediais de modo geral passou a ser questionado e revisto.

Exemplos de ações conservacionistas envolvendo o combate às perdas nos sistemas públicos de abastecimento e nas edificações têm se multiplicado pelo Brasil. No estado de São Paulo, prolongados períodos de estiagem em anos subsequentes, aproximadamente entre 1998 e 2003, levaram os sistemas de abastecimento a situações críticas, principalmente na RMSP. A situação-limite de disponibilidade de água na Região foi agravada, o que levou a SABESP, companhia estadual de saneamento que produz quase a totalidade da água potável para a RMSP, a criar um Programa de Uso Racional da Água (PURA - SABESP) que buscava trabalhar do lado da redução do consumo, atuando principalmente sobre o consumo de água consumida nos aparelhos sanitários utilizados em edifícios de uso público.

Como uma resposta para contribuir de forma positiva para atenuar essa situação crítica e adotando a mesma evolução observada nos EUA, o setor de P&D, órgãos de governo de diversas esferas e os fabricantes de aparelhos fabricados em louça sanitária, fixaram para a bacia um consumo máximo de água de 6 litros por descarga para todos os tipos e modelos, a saber:

- bacia sanitária com caixa acoplada ou integrada, de ação sifônica ou de arraste, todos modelos;
- bacia sanitária convencional, de ação sifônica ou de arraste, todos modelos.

Essa resolução está estabelecida na norma brasileira aplicável (NBR 15.097/04), elaborada tomando-se como balizamento técnico a norma norte-americana (ASME A112.19.2M/03 – *Vitreous China Plumbing Fixtures and Hydraulic Requirements for Water Closets and Urinals*).

Junto com a fixação do limite máximo de consumo de água no aparelho, a norma estabeleceu também os requisitos e critérios destinados a avaliar o funcionamento da bacia sanitária, conforme detalhado no item seguinte.

As bacias sanitárias comercializadas no mercado brasileiro e norte-americano são na sua grande maioria de ação sifônica. São poucos os modelos de bacia de ação por arraste disponíveis no Brasil, sendo um exemplo as bacias sanitárias de saída horizontal, recentemente introduzidas no mercado, cujo emprego deve crescer junto com o sistema construtivo denominado parede “*dry-wall*”, para o qual foi particularmente desenvolvida e no qual a tubulação da instalação predial de esgoto não é embutida sob os pisos dos banheiros, dispensando o uso de pisos rebaixados, conseqüentemente eliminando as causas de vazamentos (piso seco).

A metodologia desenvolvida para a NBR 15.097/04, no entanto, aplica-se a todos os tipos de bacia sanitária. Assim, uma questão que hoje se coloca, frente às iniciativas de fabricação de bacias de arraste, seria observar se no futuro pode vir a ocorrer problemas com as bacias de arraste no requisito referente à lavagem de parede e o decorrente uso da escovinha.

Bacia sanitária convencional de volume nominal de descarga de 6 L

Para o bom funcionamento de uma bacia sanitária, qualquer tipo, importa, em primeiro lugar, o volume da água que nela é lançada. No caso da bacia convencional, importa também a forma como esse volume de água é lançado, importa como se dá a distribuição desse volume de água ao longo do tempo, ou, em resumo, importa o valor da vazão da água descarregada pelo aparelho de descarga empregado.

Considerando a bacia sanitária de forma holística, deve-se observar que existe uma interdependência entre as diversas vazões que percorrem

o sistema. Assim, a vazão da água na saída da caixa ou válvula de descarga (Q2) que é a mesma que entra na bacia, deve apresentar valor adequado para vencer a resistência representada pelo estrangulamento da argola da bacia (Q3) e promover a retirada dos dejetos (Q4), efetuando o transporte ao longo do ramal de descarga (Q5). A figura 6.5 ilustra o caminhamento do fluxo pelo aparelho de descarga, pela bacia e pelo ramal de descarga (ROCHA, 1990).

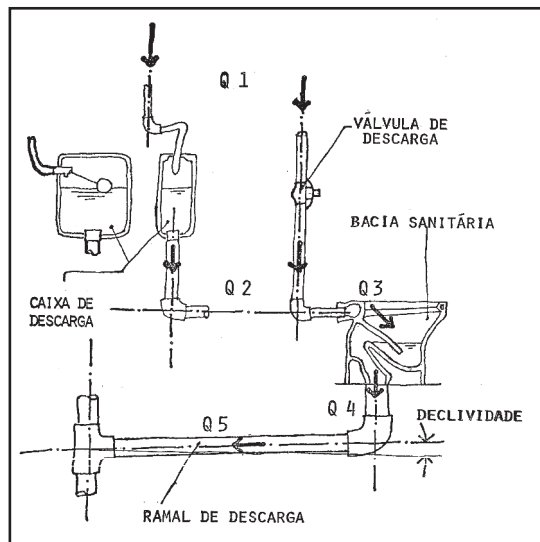


Figura 6.5 Sistema bacia sanitária

Sendo comercializada separadamente da caixa ou válvula de descarga, a bacia convencional corre o risco de não apresentar bom funcionamento por conta da inadequação do aparelho de descarga utilizado. O que ocorria, na prática, era que a compatibilidade entre a bacia sanitária e o aparelho sanitário adquiridos em uma compra ficava ao sabor do acaso.

De forma mais precisa, essa caráter aleatório ocorria pelo risco do aparelho não apresentar na sua saída a vazão de água com o valor desejado. Na normalização brasileira aplicável a esses aparelhos essa vazão é denominada vazão de regime (QR). A figura 6.6 ilustra a variação de Q2 com o tempo e o patamar de vazão, QR, estabelecido para o aparelho de descarga.

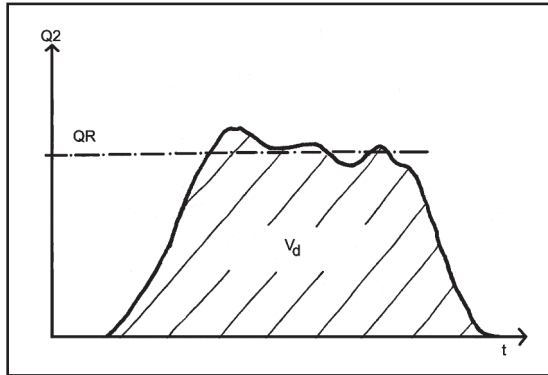


Figura 6.6 Variação da vazão Q_2 com o tempo

Para equacionar esse grave problema, os fabricantes de bacias sanitárias assumiram padronizar a perda de carga (Q_3) na argola das bacias sanitárias convencionais. Na prática, essa padronização significa que se pode padronizar também o valor da vazão Q_2 ao longo do tempo de descarga (vazão de regime do aparelho de descarga).

No laboratório, para possibilitar o trabalho de medição dessa vazão de regime (QR), a padronização da perda de carga na argola (Q_3) foi viabilizada pela introdução na extremidade do tubo de descarga do aparelho de descarga de “dispositivo de perda de carga padrão (DPC)” cujo desenho está indicado na figura 6.7. A perda de carga provocada pelo DPC simula a perda de carga da argola da bacia sanitária.

No caso das caixas de descarga foram criados dois tipos diferentes em função do valor da sua vazão de regime: caixas de baixa energia e caixas de alta energia. Tanto os fabricantes de bacias sanitárias como os fabricantes de caixas de descarga marcarão essas características durante a fabricação desses produtos, para que o consumidor no momento de optar por um dos dois tipos escolha bacia e caixa com características compatíveis. Observa-se que a nomenclatura “baixa” e “alta” energia, aplica-se às caixas de descarga. As válvulas de descarga são consideradas de alta energia, conforme mostra a tabela 6.1.

Tabela 6.1 Volume e vazão de regime de aparelhos de descarga

| Parâmetros considerados | Tipo de bacia | Aparelho de descarga usado | Valores normalizados |
|---|---------------|---------------------------------|----------------------|
| Volume útil | Convencional | Caixa | 6,8 ± 0,3 L |
| | | Caixa / válvula | |
| Vazão de regime | Convencional | Caixa de alta energia / válvula | 1,40 ± 0,15 L/s |
| | | Caixa de baixa energia | 0,90 ± 0,20 L/s |
| Vazão de reposição do fecho hidráulico | Convencional | Caixa | ≤ 0,025 L/s |
| Volume de reposição do fecho hidráulico | Convencional | Caixa | 650 ± 50 mL |

Nas normas técnicas aplicáveis às caixas e válvulas de descarga, cujos processos de revisão estão em andamento no âmbito do Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT (Associação Brasileira de Norma Técnicas), foram estabelecidas a utilização do “dispositivo de perda de carga padrão” (DPC) nos procedimentos de ensaio elaborados para a determinação dos valores de volume e vazão (Q2) dos aparelhos de descarga, e a classificação das caixas em baixa e alta energia. Os limites admissíveis aplicáveis estão indicados na tabela 6.1.

A reposição do fecho hidráulico em bacia sanitária com caixa acoplada ou integrada normalmente é feita através de tubo repositivo. Esse tubo garante a reposição do fecho, pois promove o lançamento de água no poço da bacia durante o período em que a caixa estiver sendo reenchida, após a descarga.

Nesse sentido, os fabricantes de bacias sanitárias propuseram, tendo sido aceito no âmbito da Comissão de Estudos, que esse sistema fosse universalizado no mercado brasileiro, que fosse adotado para todo tipo e modelo de caixa convencional a ser produzida no país.

Bacia sanitária com caixa acoplada ou integrada de volume nominal de descarga de 6 L

A bacia sanitária com caixa de descarga acoplada ou integrada nada mais é que um caso particular da convencional onde o aparelho de descarga no sistema bacia sanitária é uma caixa de descarga que é fornecida pelo mesmo fabricante da bacia.

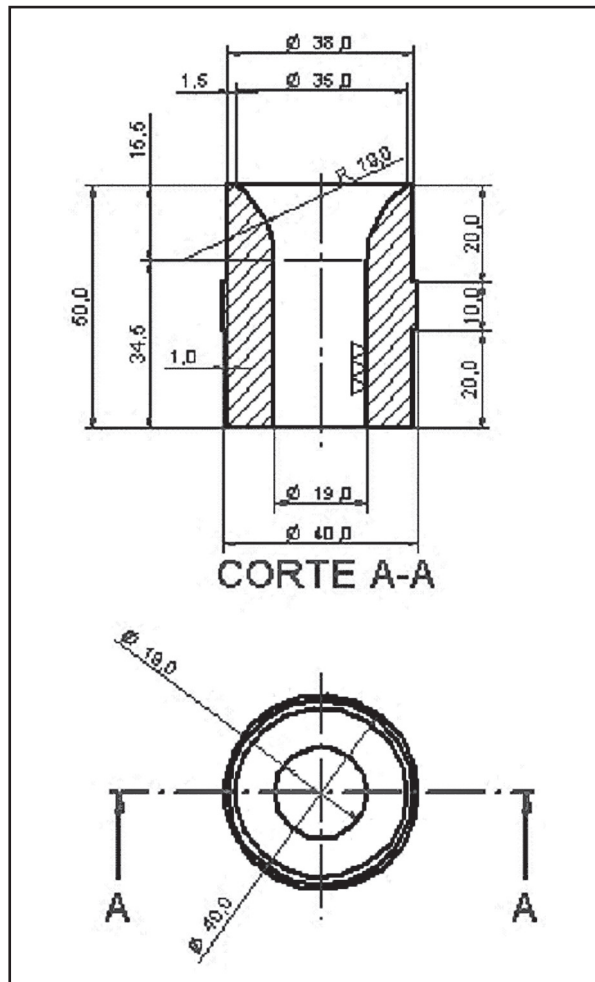


Figura 6.7 DPC (dispositivo de perda de carga) padrão

Aplicam-se aqui todas as considerações feitas anteriormente sobre o sistema bacia sanitária menos a discussão sobre o valor do Q_2 porque se trata de parâmetro que só interessa ao fabricante da bacia sanitária na sua atividade de garantir que o produto final tenha funcionamento adequado.

Assim, nesse caso, só interessa o valor do volume útil do aparelho de descarga, cujos limites admissíveis estão indicados na tabela 6.2.

Tabela 6.2 Volume de água do aparelho de descarga

| Parâmetros considerados | Tipo de bacia | Aparelho de descarga usado | Valores normalizados |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|
| Volume útil | Acoplada ou Integrada | Caixa | 6,8 ± 0,3 L |

Procedimento de verificação do funcionamento da bacia sanitária

A norma brasileira que estabelece os requisitos técnicos e os critérios destinados a avaliar o funcionamento da bacia sanitária é a NBR 15.097/04.

O procedimento basicamente consiste em verificar se a bacia opera sem interrupções, repondo o fecho hídrico e consumindo o volume de água fixado, promovendo a limpeza das superfícies internas da bacia, garantindo a remoção dos dejetos líquidos e sólidos do poço e transporte desses dejetos a uma distância considerada adequada e impedindo a ocorrência de respingos de água. O quadro 6.1 apresenta os requisitos de desempenho e correspondentes critérios da norma.

Verificação de compatibilidade do funcionamento entre aparelhos de descarga e bacias sanitárias

Tendo em conta a diversidade de possibilidades do sistema bacia sanitária encontrados no mercado atualmente, um conjunto de bacias sanitárias e aparelhos de descarga adquiridos em lojas de material de construção da cidade de São Paulo foi ensaiado para verificação da conformidade à NBR 15.097/04 no que respeita ao funcionamento. Os ensaios foram realizados pelo IPT no âmbito dos trabalhos da Rede 5 do PROSAB 4.

As bacias sanitárias, todas de ação sifônica, e respectivos aparelhos de descarga, formaram os seguintes tipos de conjuntos:

- Bacia sanitária convencional alimentada por caixa de descarga elevada de alta energia;
- Bacia sanitária convencional alimentada por caixa acoplada

baixa de baixa energia:

- Bacia sanitária convencional alimentada por válvula de descarga;
- Bacia sanitária com caixa acoplada.

Todas as bacias apresentaram resultados em conformidade com os requisitos e critérios de avaliação detalhados no item 6.2.4.

Uso de água não potável na caixa de descarga

O uso de água não potável para limpeza de bacias sanitária é uma alternativa que vai se enraizando no meio técnico e hoje já pode ser observada em edifícios que são planejados com esse fim e onde a instalação predial de água já é projetada com esse propósito.

Para edifícios existentes, onde a bacia é dotada de caixa de descarga acoplada ou convencional, pode-se usar o recurso de alimentar a caixa com água não potável, lançando-a no interior da caixa através de sua abertura superior, ou, eventualmente, pela própria tubulação ou mangueira de alimentação convencional quando houver um reservatório e tubulação exclusiva de água não potável. A água não potável poderia ser proveniente de alguns aparelhos sanitários como tanque, máquina de lavar roupa, chuveiros e outros. O aproveitamento de águas de chuvas, bem como o reuso de esgotos, também são alternativas a serem consideradas. Entretanto, essas formas adaptadas não devem prejudicar o adequado funcionamento da caixa e da bacia.

No que tange à qualidade da água não potável para descargas de bacias, há que estabelecer padrões adequados segundo uma série de condicionantes relativos ao funcionamento da caixa e da bacia, à aceitação por parte dos usuários, às garantias sanitárias, entre outros. Em atendimento a essas demandas observam-se pesquisas em franco desenvolvimento.

Os capítulos 3, 4 e 5 dão conta das diversas possibilidades e fatores condicionantes à obtenção de água não potável para descarga de bacias e novos estudos permitirão, em breve, estabelecer os padrões de qualidade aplicáveis.

Quadro 6.1 Requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às bacias sanitárias segundo a NBR 15.097/04

| Requisito | Critério | Verificação e comentários |
|--|--|---|
| Medir volume descarregado em operação normal | O volume de descarga deve ser de $6,8\text{ L} \pm 0,3\text{ L}$ | A verificação de caixas de descarga deve ser feita com pressão de alimentação tal que a correspondente vazão o seja de $0,20\text{ L/s} \pm 0,05\text{ L/s}$. A vazão de regime de caixa convencional deve obedecer a tabela 6.1. No caso de válvulas de descarga a vazão de regime deve ser ajustada através do registro integrado da válvula. A pressão hidráulica na alimentação pode variar entre 20 kPa e 400 kPa. |
| Reposição de fecho hidrôico para evitar o retorno de gases | Reposição automática e integral do fecho hidrôico após uma ação de descarga; a NBR 15.097/04 exige, adicionalmente, que seja reposto um volume de $650\text{ mL} \pm 50\text{ mL}$ no caso de caixa de descarga. | A norma NBR 8160/99 (Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução) exige que o fecho hidrôico da bacia sanitária seja no mínimo de 50 mm. |
| Respingos de água: evitar respingos no nível superior de transbordamento da bacia durante a descarga | Número de respingos de diâmetro, ou outra dimensão predominante, maior ou igual a 5 mm, seja igual ou inferior a 8. | A verificação é feita mediante observação visual e medição de eventuais respingos aderentes a placa de acrílico posicionada 10 mm acima do plano de transbordamento da bacia, após ação de descarga. |
| Limpeza da parede da bacia: lavagem das superfícies internas visíveis após ação de descarga | Uma linha contínua marcada com caneta de ponta porosa de tinta solúvel em água, a 25 mm abaixo dos pontos de saída de água da argola da bacia, deve ser lavada com o escoamento proporcionado pela descarga. | Exige-se que o comprimento dos maiores segmentos individuais de linha remanescentes seja menor ou igual a 12 mm e que a soma desses comprimentos de todos os segmentos seja menor ou igual a 50 mm. |
| Remoção dos dejetos líquidos (troca de água): capacidade de remover urina | Dos 100 cm^3 (cerca de 2500 unidades) de grânulos de polietileno de $0,95\text{ g/cm}^3$ de densidade e 4,3 mm de diâmetro colocados no poço da bacia, a quantidade removida deve ser de aproximadamente 95% dos grânulos colocados (deve restar no máximo 125 grânulos). | Nas versões anteriores da norma brasileira e norte-americana esse ensaio era feito com solução de azul de metileno cuja concen tração era a base do ensaio. Apesar de mais intuitivo, ele foi abandonado devido à subjetividades na interpretação dos resultados. |
| Remoção dos dejetos sólidos: verificar a remoção de fezes com ou sem papel higiênico | Exige-se que a quantidade de esferas removidas seja 80% das esferas colocadas (devem restar no máximo 20 esferas) e que o número de mídias (esponjas e folha de papel) removidas da bacia, na primeira descarga, seja aproximadamente 79% das mídias colocadas no poço, onde deve restar no máximo 6 mídias. Complementarmente, exige-se que mídias não removidas da bacia na primeira descarga o sejam na segunda. | A simulação de sólidos é feita sob duas formas: a) 100 esferas de 19 mm de diâmetro, de polipropileno, densidade igual à $0,90\text{ g/cm}^3$ e b) mídia composta combinando 20 esponjas sintéticas medindo $20 \times 20 \times 28\text{ mm}$, fabricadas em poliuretano branco, densidade de 17 kg/m^3 , bem saturadas de água, com 8 folhas de papel kraft anti-tarnish medindo $19 \times 15\text{ cm}$, bem saturadas de água e amassadas formando uma esfera com 3 cm de diâmetro. Os materiais descritos em a) e b) são colocados no poço da bacia e ensaiados separadamente. |
| Transporte de sólidos: verificar o transporte de dejetos sólidos no ramal de descarga | Exige-se que a distância média de transporte do conjunto de 100 esferas, ao longo do ramal de descarga, seja maior ou igual a 10 m, segundo uma forma de ponderação detalhada na norma. | As esferas são iguais às utilizadas no ensaio de remoção de dejetos. Elas são lançadas no poço da bacia que descarrega em uma tubulação DN 100 de 18 m de comprimento e 1% de declividade que simula o ramal de descarga da bacia. |

Tem ganho bastante destaque o fato de países como o Japão disporem no mercado de bacia com caixa acoplada cuja tampa é um lavabo que ao ser utilizado vai enchendo uma caixa de descarga, preparando-a para a posterior descarga e limpeza da bacia. Reitera-se a necessidade de que tais inovações sejam estudadas à luz de abordagens abrangentes que levem em consideração aspectos culturais. No caso desse exemplo do lavabo que alimenta a caixa há que verificar, com cuidado, a variedade de usos a que o aparelho se presta, segundo os costumes de cada região. Obviamente, hábitos podem ser modificados em função de novos valores o que não deve, não obstante, ser tomado como algo de fácil obtenção.

Chuveiros e Aquecedores de Água

O banho de chuveiro é a forma mais difundida desse uso no Brasil. Dependendo da região do país e das necessidades fisiológicas e culturais dos usuários, há necessidade de aquecimento da água que pode se obtido sob a forma denominada “instantânea”, realizada no ponto de uso, ou por acumulação, caso em que um volume de água quente é reservado para depois ser misturado com água na temperatura ambiente.

O consumo de água no chuveiro é o produto de sua vazão pelo tempo de uso. O chuveiro elétrico tem, usualmente, uma pequena vazão da água. No entanto, os dados disponíveis indicam que é o tempo de banho é relativamente alto, bem como é alta a frequência de uso. Os dados relativos ao tempo de banho na cidade de São Paulo e as medições do perfil do consumo de água por uso, apresentados no capítulo 2, permitem estimar que o consumo de água no chuveiro elétrico de residências populares e de classe média está em torno de 30% a 50% do consumo total.

No caso de sistemas de aquecimento por acumulação, empregando-se um reservatório térmico de água, o consumo de água quente e fria é maior porque a vazão da água no correspondente chuveiro, ou ducha¹, é maior em adição ao fato de se observarem os mesmos tempos e frequências de banhos.

¹ Os termos “chuveiro” e “ducha” são tomados como sinônimos no presente texto. Não há uma terminologia ou uso comum, de abrangência nacional, que permita a diferenciação, além do que a normalização técnica também não os diferencia.

Chuveiro elétrico (aquecedor instantâneo)

A vazão mínima de funcionamento do chuveiro é aquela que garante a ligação elétrica do aparelho na condição de pressão hidráulica dinâmica a que está submetido. Para casas térreas e sobrados, a pressão típica é 10 kPa (um metro de coluna d'água, 1 mca).

O valor da vazão mínima de funcionamento fica na faixa de 1,8 L a 2,2 litros por minuto. Até por uma questão de segurança, os chuveiros elétricos desligam quando sua vazão atinge valor muito baixo. Além disso, uma redução muito grande da vazão esbarra no conforto do usuário e no comportamento do chuveiro elétrico.

Na prática, os usuários normalmente aumentam o valor da vazão do chuveiro para obter banhos mais agradáveis. Para que seja considerado um banho adequado, o chuveiro deve proporcionar vazão de valor mínimo de 3 litros por minuto conforme estabelecido no GT-AAQ do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)², Grupo de Trabalho que analisa e estabelece todos requisitos técnicos a serem observados por chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos para fazerem jus à etiqueta do Programa.

O requisito central exigido visando informar o consumidor no caso de chuveiros é o valor do consumo mensal de energia elétrica do aparelho explicitado na etiqueta. Mas existem outros requisitos, estabelecidos pelo mesmo GT-AAQ, principalmente aqueles relacionados a segurança elétrica.

O PBE surgiu há 20 anos como desdobramento de outro Programa no âmbito do Ministério de Minas e Energia: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que é gerenciado técnica e financeiramente pela Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

O desejo de aumentar a vazão manifesto nos usuários, na prática requer o aumento da potência elétrica do aparelho. O gráfico com as

² PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem – visa prover os consumidores de informações que permitam-lhes avaliar e otimizar o consumo de energia elétrica dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia (www.inmetro.gov.br)

curvas da elevação da temperatura da água na saída de um aquecedor instantâneo qualquer, apresentado na figura 6.8, indica que o aquecimento da água varia proporcionalmente à potência elétrica do aparelho (maior potência maior aquecimento) e inversamente proporcional à vazão da água que o atravessa (menor vazão maior aquecimento).

Quando da grave crise de abastecimento de energia elétrica, ocorrida em 2001, consequência de condições hidrológicas muito desfavoráveis que gerou sucessivos períodos de estiagem durante diversos anos e que ficou popularmente conhecida por “apagão”, o Governo Federal e os fabricantes de chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos foram levados a estabelecer, com intermediação do PBE, um acordo, definido em junho do mesmo ano, mediante o qual o valor máximo das potências elétricas dos aparelhos ficaria limitado da seguinte forma:

- chuveiros elétricos, de tensão nominal 127 V, com potência máxima de 5500 W;
- chuveiros elétricos, de tensão nominal 220 V, com potência máxima de 5500 W se disporem de até 2 posições de seleção de potência nas suas chaves seletoras (excluindo a potência nula) ou 7800 W nos demais casos;
- torneiras e aquecedores elétricos (inclusive para banheira de hidromassagem), de tensão nominal 127 V, com potencia máxima de 5500 W;
- torneiras e aquecedores elétricos (inclusive para banheira de hidromassagem), de tensão nominal 220 V, com potencia máxima de 9000 W.

Cabe destacar que esse acordo que abrange cerca de 95% da produção de chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos no país está sendo respeitado até hoje.

Aquecedor de acumulação

A vazão da água nos chuveiros desse sistema pode vir a ser muito alta, cerca de quatro vezes o valor da vazão do chuveiro elétrico, como se explica no parágrafo seguinte.

A NBR 5626/1998, norma aplicável às instalações prediais de água

fria, estabelece para chuveiro ou ducha uma vazão de projeto igual a 12 litros por minuto para o suprimento de água no ponto de utilização do aparelho. Considerando que numa instalação predial projetada e executada de forma correta seja estabelecido para a água quente uma vazão de mesmo valor, tem-se uma vazão total de 24 litros por minuto para ser usada por uma pessoa durante o seu banho.

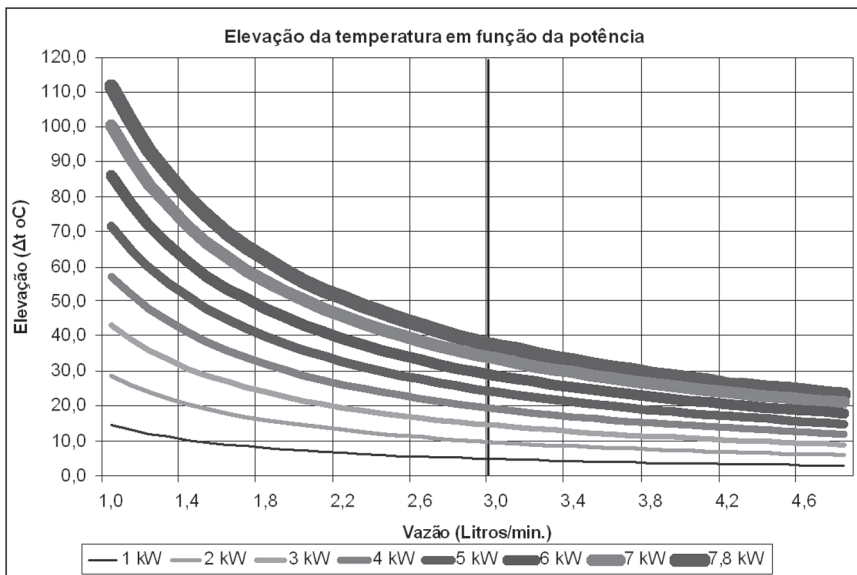


Figura 6.8 Curvas da elevação da temperatura da água em função da sua vazão para diversos valores da potência elétrica de chuveiros disponíveis no mercado

Trata-se de uma possibilidade normativa passível de ser encontrada na prática. A mesma norma estabelece para o chuveiro elétrico uma vazão de 6 litros por minuto e nesse sistema não há mistura de água quente com água fria.

Uma forma de reduzir o valor da vazão de água nos chuveiros e duchas das instalações hidráulicas prediais (excetuando chuveiros elétricos, evidentemente) seria colocar, no aparelho, um dispositivo limitador de vazão como aquele indicado na figura 6.9.

O dispositivo possui um anel flexível que se deforma, durante o funcionamento, proporcionalmente à variação da pressão imposta, de forma que, a jusante, se tem uma vazão de água reduzida e de valor

constante, conforme ilustra a figura 6.10.

Outras soluções técnicas poderiam ser desenvolvidas para atender o objetivo de reduzir o valor da vazão de água no chuveiro, mas no mercado atualmente existem disponíveis soluções com a concepção apresentada que limita a vazão da água para valores de 8 e 14 litros por minuto³.

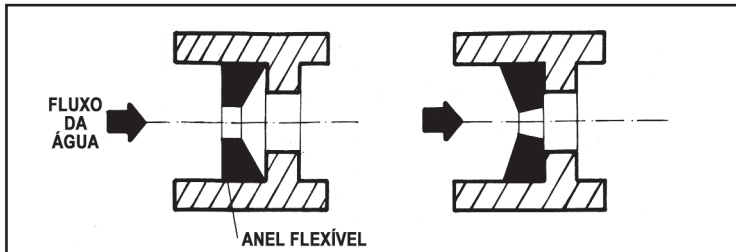


Figura 6.9 Desenho esquemático de dispositivo limitador de vazão com anel flexível

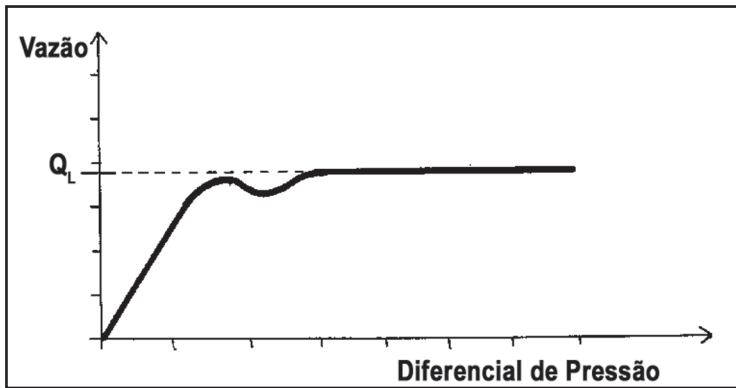


Figura 6.10 Curva variação da vazão em função da variação da pressão

Para evitar o alto consumo de água nos chuveiros de instalações hidráulicas prediais de “Edifícios Habitacionais até 5 Pavimentos”, foi fixado um limite de 9 litros por minuto no projeto de norma em discussão no Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT (Proj. de Norma 02:136.01.008 – Desempenho de edifícios habitacionais até 5 pavimentos – Parte 6: Sistemas hidro-sanitários). Esse critério de desempenho do projeto de norma foi estabelecido para um requisito sobre o uso racional da água, na exigência de adequação ambiental do edifício, junto com

³ Dispositivos redutores de vazão indicados no site da DURATEX S.A. (www.deca.com.br)

outros dois, a saber: uso da bacia sanitária de 6 litros por descarga e uso de torneiras com arejadores.

Tempo de banho – consumo de água no chuveiro

Conhecida a vazão do chuveiro, o valor do consumo de água é diretamente proporcional ao tempo do banho que é uma grandeza cujos valores são bastante variáveis, dependendo de inúmeros fatores como hábitos de higiene, nível educacional e condições psicológicas entre outras, relativos a contextos culturais diversos. Assim, não será raro encontrar pessoas que tomam banhos de 20 minutos ou mais. No capítulo 2 foi mostrado que na cidade de São Paulo, um percentual altíssimo de homens e mulheres toma banhos de mais de 15 minutos.

A consideração lógica, de caráter preliminar, permitiria supor que os banhos mais rápidos sejam os mais freqüentes, o que compensaria os banhos demorados. Trata-se de hipótese plausível, até porque existe hoje pressão social e econômica para que assim seja. Nestes termos, a duração de 8 minutos para o banho foi assumida, consensualmente, no âmbito do PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem) como valor médio bastante razoável e provável.

A tabela 6.2 apresenta o consumo de água para as diversas alternativas de chuveiros e duchas aqui comentadas, considerando um banho de 8 minutos de duração.

Examinando os dados apresentados na tabela 6.3 cabe destacar que o consumo apresentado para chuveiro convencional com aquecimento de acumulação é um valor de projeto da NBR 5626/98. Entretanto, na prática, os consumos podem ser menores ou maiores. No caso do chuveiro convencional, conforme Projeto de Norma 02:136.01.008 – Parte 6, tem-se uma condição de valor máximo do consumo de água de 9 L/min que na prática pode apresentar valor menor. No caso do chuveiro elétrico e dos chuveiros convencionais com redutores de vazão, tem-se a condição apresentada muito próxima da realidade.

Uso de gás para aquecimento de água

O aquecimento da água para o chuveiro pode também ser feito empregando-se o gás que é uma alternativa de uso em franco crescimento no país.

As formas de aquecimento da água dos aquecedores aqui empregados também são por acumulação ou por passagem, mas, nesse último caso, diferentemente do caso do aquecimento elétrico, há necessidade de se prever a mistura da água quente com água fria num misturador. Dessa forma, do ponto de vista do consumo da água no sistema, o aquecimento a gás é igual ao sistema de acumulação elétrico.

Há informações que existem chuveiros de aquecimento instantâneo a gás, ou seja, instalados no ponto de utilização de água, contudo não se tem maiores informações sobre a eficiência e a segurança desses aparelhos.

Tabela 6.3 Valores comparativos do consumo de água no chuveiro

| Tipo de aparelho | Vazão de água ¹ (L/min) | Observações sobre o valor da vazão | Consumo de água (L) |
|--|---------------------------------------|--|---------------------------|
| Chuveiro elétrico (aquecimento de passagem) | 3 | Valor real | 24 |
| Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação) | 24 | Valor teórico | 192 |
| Chuveiro convencional conforme Projeto de Norma 02:136.01.008 – Parte 6 | 9 | Valor desejável | 72 |
| Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação) com redutor de 8 | 8 | Valor real | 64 |
| Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação) com redutor de 14 | 14 | Valor real | 112 |
| ¹ a vazão é baseada em pressão e demais condições das normas técnicas aplicáveis a cada tipo de chuveiro. | | | |

Torneiras Comuns

As torneiras são usadas em diversos locais de um edifício, a saber: nos banheiros (torneira de lavatório), nas cozinhas (torneira de pia), nas áreas de serviço (torneira de tanque) e nos jardins e garagens (torneira de jardim). Os usos da água obtida nas torneiras são os mais diversos,

variando de lavagens de pisos à ingestão humana, por exemplo.

O consumo de água na torneira é proporcional à sua vazão de escoamento e ao tempo de utilização pelo usuário, mas tanto o valor da vazão da água usada como da frequência de uso do aparelho são muito diversificados. Para cada uso da água é necessário ajustar o valor da vazão de modo a se obter resultados satisfatórios para os usuários e as torneiras de modo geral possuem dispositivo para regular o valor da vazão à necessidade.

A diversidade de usos da água obtida em torneiras torna difícil buscar soluções de redução do consumo nesses aparelhos, especialmente através da alteração do projeto das torneiras, a exemplo do desenvolvimento das bacias sanitárias e, até certa medida, dos chuveiros. Entretanto, mesmo com essa dificuldade intrínseca, foi possível, por exemplo, dotar as torneiras de arejadores, como se mostrará à frente.

Dadas as poucas possibilidades de redução do consumo no campo da tecnologia, restaram as alternativas de cunho comportamental.

Considerando o consumo total de água de uma habitação, o consumo de água nas diversas torneiras nela utilizadas acaba respondendo por algo em torno de 20% do consumo diário de água da residência.

Torneira de pressão

Como já foi visto anteriormente, o consumo de água em uma torneira é função da vazão de escoamento e do tempo de funcionamento. Na vazão de escoamento, contudo, pode interferir outro parâmetro importante: a forma do jato da água saindo da torneira.

O jato pode ou não apresentar uma forma bem concentrada e bem direcionada atendendo a exigência do usuário. Se o jato for muito disperso, certamente o uso terá maior duração. Por outro lado, na prática, não convém elevar demais o tempo porque existe um tempo máximo de uso compatível com a atividade do usuário.

A tabela 6.4 apresenta os resultados de medição experimental realizada em julho e agosto de 1989 no âmbito de um projeto de pesquisa

cujo objetivo era estudar aspectos da conservação de água usada em edifícios a partir da determinação direta do consumo de água nos aparelhos sanitários existentes.

Na avaliação da metodologia desenvolvida, foram feitas medições em diversos aparelhos sanitários existentes em prédio de escritórios no campus do IPT (prédio 24) (BARRETO, 1990). Nesse prédio havia dois banheiros masculinos, dois banheiros femininos, uma cozinha e uma área de serviços.

Tabela 6.4 Valores medidos em condição real de uso no prédio 24 do IPT

| Tipo de aparelho | Vazão de funcionamento (L/s) | Tempo de uso (s) | Volume de água consumida por uso (V) |
|-----------------------|------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Torneira de lavatório | 0,06 | 11 | 1,02 |
| Torneira de pia | 0,12 | 6 | 1,07 |
| Torneira de tanque | 0,19 | 26 | 5,40 |
| Torneira de jardim | 0,07 | 4 | 0,57 |

Analisando os números acima, observa-se que mais do que a vazão de escoamento da água na torneira tem influência determinante do consumo de água o tempo gasto pela pessoa que usa o aparelho.

Para torneira de pressão de uso geral que é o tipo mais simples de torneira encontrada no mercado, a norma brasileira aplicável (NBR 10.281/01 – Torneira de pressão – Requisitos e métodos de ensaio) estabelece o limite mínimo de 0,10 L/s para a vazão, quando a torneira é alimentada por água na pressão de 15 kPa.

Essa exigência visou basicamente garantir o bom desempenho da torneira em condições críticas de pressão, sendo que a vazão fixada foi entendida como a mínima necessária para satisfazer o usuário.

Nas instalações reais, as vazões apresentam valores variando acima ou abaixo da exigência normativa, dadas os valores reais de pressão hidráulica.

Torneira com direcionador do jato

A dispersão do jato da água que sai de uma torneira é fator de

evidente desperdício porque significa direcionar parte usada da água para local não desejado.

A dispersão excessiva do jato é infelizmente um fenômeno muito comum em torneiras de pressão, estando ligada a deficiência no projeto desses produtos.

Na prática, ou o fabricante resolve o problema quando do projeto da saída da torneira ou coloca um concentrador de jato. Como alternativa para resolver o problema em torneiras já instaladas pode-se colocar no bico do aparelho uma peça denominada direcionador do jato com a função de reduzir a dispersão do jato a níveis aceitáveis.

Na norma também foi introduzido requisito relativo à dispersão do jato da torneira, tendo sido estabelecido como critério de avaliação o valor máximo de 5%. Isso, em outras palavras, significa que, no mínimo, 95% da água coletada durante o ensaio deve passar dentro de um cilindro de 100 mm de diâmetro interno, posicionado a 300 mm de distância da saída da torneira e de modo que o eixo do cilindro coincida com o eixo do jato de água.

Torneira com arejador

O arejador colocado na saída da torneira é uma peça empregada tanto para reduzir a vazão da água como eliminar a dispersão do jato (dispersão zero).

O arejador reduz a seção de passagem e direciona o fluxo da água, através de peças perfuradas ou telas finas, além de possuir orifícios na sua superfície lateral para permitir a entrada de ar durante o escoamento. As bolhas de ar dentro do jato dão ao usuário a sensação de uma vazão maior do que é na realidade.

Segundo a NBR 10.281/01, uma torneira dotada de arejador deve apresentar vazão mínima de 0,05 L/s, nas mesmas condições de alimentação estabelecidas para o ensaio sem arejador, ou seja, o uso do arejador traz uma redução de cerca de 50 % do valor da vazão nas mesmas condições de uso.

Atualmente, está sendo elaborada no âmbito da Comissão de Estudos de Metais Sanitários do Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT, uma norma técnica aplicável aos arejadores que são empregados nos diferentes tipos de torneiras e misturadores disponíveis no mercado.

A tabela 6.5 apresenta, por tipo de arejador classificado no projeto de norma, as suas condições de uso e características de funcionamento.

Torneira com pulverizador

O pulverizador colocado na saída da torneira transforma o jato de água em feixe de jatos menores semelhante ao que ocorre nos chuveiros podendo reduzir o valor da vazão para valores até 0,03 L/s sem reduzir a satisfação do usuário (ROCHA, 1987).

Tabela 6.5 Vazão no arejador segundo proposta de norma em discussão na ABNT

| Tipo de arejador | Faixa de pressão estática (kPa) | Pressão dinâmica de ensaio (kPa) | Vazão mínima de funcionamento (L/s) |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Baixa pressão | 20 – 200 | 15 | 0,05 |
| Alta pressão | 100 – 400 | 75 | 0,10 (*) |

(*) nessa condição de uso, estima-se que o volume de ar incorporado ao fluxo da água no arejador deve ser de aproximadamente 0,02 L/s

Aparelhos de Fechamento Automático

O conceito de conservação de água que fundamenta esses tipos de aparelhos é a automatização do seu fechamento que reduz o tempo de manobra do usuário levando a menores volumes de água consumida na operação, com a eliminação do desperdício devido à demora ou eventual não fechamento do aparelho.

Os aparelhos de fechamento automático atualmente disponíveis no mercado são os seguintes:

- Torneira de lavatório (ver figura 6.11);
- Válvula de mictório;
- Registro de chuveiro.

Para tais aparelhos, aplica-se a NBR 13.713/96 (Aparelhos hidráulicos acionados manualmente e com ciclo de fechamento automático) que atualmente está passando por um processo de revisão.

A versão vigente da NBR 13.713/96 estabelece para a vazão um requisito relativo às expectativas de bom funcionamento pelo usuário. Em atendimento a esse requisito a norma fixa como critério de avaliação um valor mínimo da vazão de torneiras, válvulas e registros. As torneiras de lavatório de fechamento automático, fornecidas no mercado, geralmente são dotadas de arejadores apesar na norma não estabelecer esse requisito.

Alem disso, a norma estabelece um outro critério, o do tempo de funcionamento do aparelho (temporização), fixando como critério de avaliação um valor de tempo de funcionamento máximo, tendo em vista limitar o volume de água consumida no uso, que seria a principal razão de emprego desses aparelhos.

A tabela 6.6 apresenta, por tipo de aparelho objeto da norma, as suas condições de uso e características de funcionamento.

Tabela 6.6 Parâmetros estabelecidos na NBR 13.713/96 - Aparelhos hidráulicos acionados manualmente e com ciclo de fechamento automático

| Tipo de aparelho | Vazão mínima de funcionamento (L/s) | Tempo máximo de fechamento (s) | Volume teórico de consumo por uso (V) |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Torneira de lavatório | 0,05 | 15 | 0,75 |
| Válvula de mictório | 0,05 | 10 | 0,50 |
| Registro de chuveiro | 0,10 | 55 | 5,50 |

Na revisão em andamento da norma, estão sendo considerados limites mínimos e máximos tanto para a vazão de escoamento da água pelos aparelhos como para a sua temporização. A tabela 6.7 apresenta essas novas condições de uso e características de funcionamento.

Tabela 6.7 Parâmetros estabelecidos na NBR 13.713/96 em revisão

| Tipo de aparelho | Vazão de funcionamento (L/s) | Tempo de fechamento (s) | Volume teórico de consumo por uso (V) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Torneira de lavatório | de 0,04 a 0,10 | de 5 a 10 | de 0,20 a 1,0 |
| Válvula de mictório | de 0,07 a 0,12 | de 5 a 10 | de 0,35 a 1,2 |
| Registro de chuveiro | de 0,10 a 0,15 | de 20 a 50 | de 2,0 a 7,5 |

No âmbito de trabalho patrocinado pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), quando da criação do PURA (Programa do Uso Racional da Água), foram realizadas medições em aparelhos sanitários usados em dois banheiros (um masculino e um feminino) de um prédio de escritórios da própria empresa. Foram feitas medições em torneiras de lavatório e bacias sanitárias nos dois banheiros e, no caso do masculino, foram feitas medições também no mictório (BARRETO et ROCHA, 1999).

A tabela 6.8 apresenta os resultados da medição feita em torneira de acionamento hidro-mecânico que é um tipo de aparelho de fechamento automático.

Esse tipo de aparelho implica em economia de água porque evita erros básicos como o usuário largar a torneira aberta. Também contribui para que não se demore de forma excessiva quando é usado. Dessa forma, tem sido utilizado com sucesso em edifício de uso público, como escola, *shopping-center*, edifício de escritórios e outros.

Tabela 6.8 Valores medidos em condição real de uso

| Tipo de aparelho | Vazão de funcionamento (L/s) | Tempo de uso (s) | Volume de água consumida por uso (V) |
|-----------------------|------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Torneira de lavatório | 0,07 | 8,9 | 0,72 |

Mas a questão do tempo de fechamento dos aparelhos fica mal resolvida porque impõem um valor predeterminado que nem sempre é o adequado para o uso previsto. Na prática, essa limitação acaba sendo resolvida, pelo usuário, com a repetição de vários acionamentos, o que em alguns casos pode significar que a torneira acabe se comportando como uma torneira comum.

Torneira de Funcionamento sob Comando

O conceito de conservação de água que fundamenta esses tipos de aparelhos é a automatização integral do seu funcionamento, reduzindo os desperdícios de água na abertura e no fechamento dos aparelhos.

Torneira de acionamento foto elétrico (figura 6.12)

A exemplo da torneira de fechamento automático, a de acionamento

foto elétrica tem sido largamente empregada em edifícios de uso público e tem a vantagem adicional de permitir ao usuário que mantenha o aparelho em funcionamento no tempo de uso adequado para sua particular necessidade. Não existe uma norma brasileira para esse produto.



Figura 6.11 Torneira de lavatório de mesa de fechamento automático



Figura 6.12 Torneira de lavatório de mesa de acionamento foto elétrico

No âmbito do trabalho realizado na SABESP mencionado na seção anterior foram feitas medições nesse tipo de torneira que estão apresentadas na tabela 6.9.

Outros Aparelhos Economizadores de Água

Existem outros tipos de aparelhos que não se encaixam nas classificações apresentadas até aqui, mas que são igualmente voltados à redução do consumo de água.

Aparelho de acionamento pela presença

Utilizados basicamente para limpeza de bacias sanitárias e mictórios, esses aparelhos funcionam da seguinte forma: um sensor de presença previamente colocado no aparelho é armado quando alguma pessoa se aproxima de uma bacia ou mictório e proporciona a descarga deles quando a pessoa se afasta.

Aparelho de acionamento no pé

Esses aparelhos na sua concepção estão mais preocupados com a

uma questão de higiene que seria permitir que usuário usasse o aparelho sem a necessidade de contacto das mãos. Nesse caso, a preocupação com a economia de água é subsidiária.

Tabela 6.9 Torneira de acionamento foto elétrico; valores medidos em condição real de uso

| Tipo de aparelho | Vazão de funcionamento (L/s) | Tempo de fechamento (s) | Volume de água consumida por uso (V) |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Torneira de lavatório | 0,05 | 3,9 | 0,42 |

Mictórios (Usando Água para Limpeza)

Como já visto anteriormente nesse mesmo capítulo, a bacia sanitária é o aparelho sanitário utilizado para evacuar sua excreção que é composta de dejetos sólidos (fezes) e dejetos líquidos (urina). É comprovado em diversas circunstâncias, no entanto, que o uso mais freqüente da bacia é o de remover apenas urina.

Considerando a estimativa apresentada anteriormente, o consumo de água em uma bacia antiga (9L a 12 L por descarga) está entre 18% e 24% do consumo diário, ou seja, 18 a 24 litros se o consumo *per capita* for 150 L/hab.dia. Se entre os 3 acionamentos.pessoa.dia considerados na estimativa, 2 forem somente para descarga de urina, ter-se-ia 12 a 16 L de água usados somente para remoção de urina. Essas cifras mostram a importância de mictórios em banheiros públicos, bem como induzem à oportunidade de propor a sua utilização também em banheiros residenciais.

Para o país há diferentes tipos de mictório que podem ser divididos em dois grandes grupos: individuais e coletivos.

- O mictório individual é normalmente fabricado em louça sanitária, podendo ser tipo pedestal de apoiar no solo ou tipo suspenso de fixar na parede, condição mais comum;
- O mictório coletivo é usualmente fabricado em chapa de aço (inoxidável ou esmaltado) ou alvenaria (revestida com azulejo ou pintura especial) e é constituído por uma calha coletora, podendo ser

usado por várias pessoas ao mesmo tempo.

Os aparelhos empregados para controle do suprimento da água destinada à limpeza do mictório são normalmente os seguintes:

- Registro de pressão (caso ainda muito freqüente de ser encontrada mas em desuso), instalado na tubulação de alimentação da água, para controlar a limpeza de um único mictório ou um grupo de vários;
- Válvula de descarga geral, de diâmetro nominal $\varnothing 1\frac{1}{2}$ ou $\varnothing 1\frac{1}{4}$, instalada para alimentar um ou vários mictórios;
- Válvula de descarga específica para ser usada em um único mictório e de acionamento foto elétrico. Trata-se de soluções que tem registrado grande crescimento em edifícios públicos;
- Caixa de descarga de funcionamento periódico e automático instalada para um ou mais mictórios.

No caso do mictório ser alimentado com registro de pressão, esse deve ter a sua vazão ajustada para um determinado valor (que pode ser baixo) mas é descarregada durante todo o período de uso do aparelho. Assim, uma vazão de alimentação baixa, de 0,005 L/s, por exemplo, descarregará 18 litros em uma hora e, ao fim de um período de 8 horas (expediente de trabalho, eventualmente), 144 litros.

A possibilidade de limpeza de mictórios por meio de válvulas de descarga, destinada a bacias ou especificamente a mictórios, foi testada em banheiros de escritórios da SABESP. Em projeto patrocinado pela mesma empresa, o IPT realizou medições em uso real, obtendo os valores indicados na tabela 6.10 a seguir.

Essas medições permitem concluir que mictórios equipados com válvula de descarga específica para seu uso, implicam em consumo de água inferior, resultando em economia de água. Deve-se ressaltar também que a configuração com válvula de descarga empregada em bacias sanitárias não é uma solução adequada pois consiste em uma adaptação de um componente para ser utilizado em um aparelho sanitário para o qual não foi projetado.

Tabela 6.10 Valores do consumo de água e volume por uso em mictórios cuja limpeza foi realizada por válvulas de descarga

| Tipo de mictório | Frequência diária de uso | Consumo de água (L) | Volume médio por uso (L/uso) |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|
| Válvula de descarga normal (Ø 1 ½) | 60 | 42 | 0,70 |
| Válvula de descarga específica (Ø ¾) | 43 | 20 | 0,47 |

Mictórios cuja Limpeza Não é Feita com Água

Ainda não se encontram disponíveis em escala comercial no país mictórios que não usam água na sua lavagem, sendo conectados à instalação predial de esgoto sanitário para coleta da urina. Sua utilização está em franca expansão na Europa e na América do Norte, onde são cada vez mais utilizados em escolas, bancos, restaurantes, etc.

Existem poucos modelos disponíveis no mercado, relativamente semelhantes entre si, nos quais a urina passa por ação da gravidade através de um dispositivo dotado de um selo líquido, composto por uma substância oleosa que funciona como barreira. A urina sendo mais pesada do que o óleo, flui através do selo oleoso e escoar pelo dreno. O óleo geralmente é odorante, sendo quase que totalmente biodegradável.

Não há consumo de água neste tipo de aparelho sanitário. Sua manutenção é realizada da mesma maneira que em um mictório convencional, podendo ser assegurada pelo próprio usuário. Pelo fato de que ocorre depósito de sedimento no fundo do dispositivo com selo oleoso, sua limpeza se faz necessária com frequência anual em uma residência uni-familiar. Para efeito de reposição do selo oleoso, o óleo pode ser adquirido de fornecedores especializados e seu consumo é muito reduzido em uma residência uni-familiar (< 1 Litros por ano). Há fabricantes que informam que o selo oleoso deve ser trocado após 5000 a 7000 visitas, o que corresponde a cerca de 1 ano de utilização em uma residência uni-familiar, demandando cerca de 0,3 Litros de óleo para reposição. Alguns fabricantes fornecem produtos bactericidas para aspersão diária no mictório, para se evitar mau cheiro, ao mesmo tempo que condenam o uso de detergentes comuns. A manutenção de escoamento da urina possui diâmetro nominal sempre superior a 50 mm, podendo receber manutenção através de jatos de água aplicados na saída do mictório.



Figura 6.13 Mictório sem água

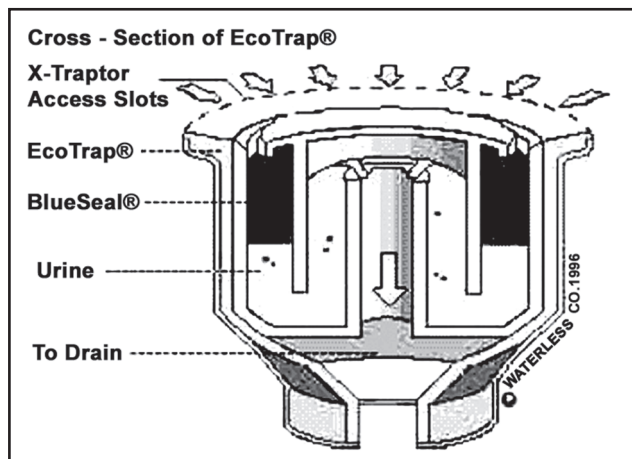


Figura 6.14 Dispositivo com selo oleoso

Vasos Sanitários Segregadores de Urina

Os vasos sanitários segregadores de urina ainda não são utilizados no Brasil. Sua função precípua, conforme fica claro na sua denominação, é conduzir a urina (águas amarelas) para um fim diferente daquele destinado às fezes e ao papel higiênico (águas negras) (Figura 6.15). São dotados de dois compartimentos separados, sendo um específico para urina e outro para fezes e papel, duas saídas e uma válvula de descarga dual (descarga longa = 4 a 6 Litros, descarga curta = 0,15 a 0,2 Litros). Embora ainda se utilize de água para descarga da urina, a sua utilização em uma edificação pode reduzir em até 90% o consumo de água para

descarga sanitária em comparação com os vasos sanitários convencionais. Entretanto, conforme foi visto no capítulo 4, as águas amarelas devem ser objeto de gerenciamento específico, cuja finalidade geralmente é o seu aproveitamento na agricultura. As águas negras devem ser coletadas e conduzidas a um sistema de tratamento específico.



Figura 6.15 Vaso sanitário segregador de urina

Máquina de Lavar Roupa

Nenhuma forma alternativa de lavagem como, por exemplo, a lavagem à mão, as lavanderias, a limpeza a seco e as máquinas de propriedade coletiva podem substituir, num grau significativo, as máquinas de lavar roupa nos países ocidentais. Trata-se de um equipamento reconhecido como de primeira necessidade nas classes média e alta, cujo mercado se amplia anualmente no Brasil. Na Europa, a relação equipamento / agregados familiares está se estabilizando nos últimos anos, variando por exemplo de 96 % na Espanha a 77 % na

Suécia. Conforme foi visto no capítulo 2 (Figura 2.8), o consumo de água na lavagem de roupas com máquina de lavar pode representar até 11% do consumo de água total de uma residência uni-familiar. Segundo a ELETROBRÁS, a máquina de lavar roupa pode representar de 2% a 5% dos gastos de uma família com energia elétrica (<http://www.eletronbras.com/ELB/procel/main.asp?TeamID=%7B6751E537-0EC0-4B83-BE03-82831A153042%7D>).

As máquinas de lavar podem ser classificadas de acordo com a forma com que se procede o carregamento das roupas a serem lavadas:

i) Carregamento frontal

As roupas são introduzidas na máquina pela parte frontal. Nesse tipo de máquina, o tambor de lavagem é montado horizontalmente, o que resulta em melhor eficiência de lavagem, menor consumo de água e melhor secagem do que as máquinas com carregamento superior. Apesar da abertura de porta exigir uma maior disponibilidade de espaço na residência, as máquinas com carregamento frontal são mais compactas.

ii) Carregamento superior

Nas máquinas com carregamento superior o tambor de lavagem é montado verticalmente, o que exige que as roupas sejam nela introduzidas pela parte alta do equipamento. Embora sejam mais baratas do que as máquinas com carregamento frontal, estas máquinas consomem mais energia e mais água.

Outros aspectos importantes na especificação desse tipo de equipamento são:

- Velocidade de centrifugação
- Consumo de energia
- Número de programas de lavagem

Velocidade de centrifugação

A velocidade de centrifugação determina a eficiência de secagem no equipamento. Quanto maior a velocidade de centrifugação, maior será a remoção de água das roupas. Além de influenciar na eficiência de secagem, a velocidade de centrifugação é um dos principais fatores de influência da remoção de detergentes e sabões das roupas que estão sob

lavagem. Geralmente, a velocidade de centrifugação das máquinas de lavar disponíveis no mercado situa-se entre 800 e 1500 rpm.

Número de programas

Os programas de lavagem pré-instalados simplificam a tarefa de seleção do ciclo de lavagem adequado à lavagem necessária, prevendo uma seqüência específica de lavagem / enxágüe / tempo / temperatura. Estes programas também selecionam previamente o nível de água dentro do equipamento e o tipo de secagem requerida. Quanto maior a quantidade de programas disponíveis, maior a flexibilidade de adequação do equipamento à lavagem necessária. Isto pode resultar em importante economia de água e de energia, assim como preserva o equipamento.

Consumo de água e energia

Alguns fabricantes informam o consumo de energia e de água por ciclo de funcionamento. O aperfeiçoamento tecnológico é responsável pelo desenvolvimento de equipamentos cada vez mais econômicos e ambientalmente corretos. O consumo de água característico em máquinas com carregamento frontal era de 30 L/kg de roupa em 1970, tendo sido reduzido para 13,6 L/kg em 1990. Atualmente existem no mercado equipamentos capazes de lavar roupas com um consumo específico de água de 7,2 L/kg (OTTO et al., 2006).. Quanto ao consumo de energia, cerca de 80% do consumo atribuído a uma lavagem refere-se ao aquecimento da água. Portanto, as máquinas que utilizam menos água demandam menos energia. O selo ecológico europeu é atualmente concedido somente aos equipamentos que comprovem um consumo específico de energia elétrica igual ou inferior a 0,23 kWh/kg de roupa, um consumo específico de água igual ou inferior a 17 L/kg de roupa e uma perda de no máximo 5% do detergente utilizado durante a operação de lavagem (Teste normalizado, com roupa branca a 60 oC) (<http://mrw.wallonie.be/dgrne/education/eau/maison/label/lave-linge.htm>).

Lava-louças

As máquinas de lava louças ainda não são utilizadas no Brasil com a freqüência com que o são nos países mais desenvolvidos. Não

obstante, com a aceitação crescente, o consumo de água e de energia nesses equipamentos deve ser objeto de consideração, uma vez que cerca de 18% do consumo de água total em uma residência ocorre na cozinha (ver capítulo 2, figura 2.8).

A evolução tecnológica já descrita para as máquinas de lavar roupas também resultou no desenvolvimento de lava-louças mais eficientes e econômicas. Para se ter uma idéia do progresso atingido, o consumo de água foi reduzido em cerca de 85% entre os anos de 1965, quando o consumo específico era de 60 L/ ciclo de lavagem de 20 peças, e 2005, quando atingiu um consumo específico de 14 L/ ciclo nos equipamentos mais eficientes (OTTO et al., 2006). O consumo específico de energia foi reduzido de 1,6 kWh/ciclo em 1990 para cerca de 1,05 kWh/ciclo em 2005, o que representa um ganho de 30% na eficiência do consumo de energia nesse tipo de equipamento (OTTO et al., 2006).

Operação e Manutenção dos Aparelhos

Na mesma medida de importância do uso de aparelhos economizadores de água, situa-se a operação e manutenção adequadas dos mesmos. A simples limpeza de arejadores, por exemplo, é muito importante e deve ser feita regularmente. Da mesma forma, válvulas de descarga, para manterem a descarga desejada, devem ter seu reparo trocado com frequência planejada, segundo orientação do fabricante.

De maneira geral, é muito importante que as pressões hidráulicas de alimentação não sejam muito altas. Para garantir isso na maior parte das vezes é necessário, já no projeto das instalações, considerar todas as possibilidades de limitação das pressões de operação a que os aparelhos estarão submetidos. Atualmente, são disponíveis no mercado registros para serem instalados nos pontos de utilização para ajustar o valor adequado da pressão, obtida a partir do dimensionamento geral das tubulações.

Sistema a Vácuo

O emprego de sistema de coleta de esgoto a vácuo está crescendo no país, ganhando adeptos para ser usado principalmente em edifícios

comerciais, “shopping centers”, hotéis, instalações hidráulicas prediais em fábricas e outros locais onde a economia de água e a redução dos custos com o esgoto sanitário justificam o investimento para implantação, bastante alto.

Na bacia sanitária, o sistema a vácuo consome apenas 1,5 litros de água por descarga, que é usada apenas para lavagem da superfície interna e do poço da bacia.

Além do custo de implantação, o sistema a vácuo consome também quantidades significativas de energia elétrica. A energia elétrica é necessária para o funcionamento das bombas de vácuo e demais componentes do sistema, que é da ordem de 3,0 W.h por descarga.

Aplicação de Aparelhos Sanitários Economizadores na Redução do Consumo de Água em Edifícios Residenciais

Neste item será analisada a aplicação de aparelhos economizadores em edifícios de uso residencial. Além das ações voltadas à redução pelo uso de aparelhos economizadores, recomenda-se a análise dos seguintes documentos técnicos do PNCDA (<http://www.cidades.gov.br/pncda/default.asp?Link=Dtas>): DTA-F1, DTA-F2 e DTA-B1. Os dois primeiros tratam das abordagens tecnológicas e o último desenvolve metodologia para avaliação financeira dos resultados da troca de aparelhos.

Condicionantes técnicos

São apresentados a seguir os itens de maior relevância para a abordagem técnica. Os tópicos dizem respeito a dois grupos de edificações residenciais: existentes e a serem construídas.

Procedimento para avaliação dos consumos de água segundo o uso

Um procedimento de projeto de base racional que dá resposta aos requisitos financeiros do usuário pode ser desenvolvido a partir do conhecimento do consumo de água da residência, do perfil doméstico de consumo e do diferencial dos resultados financeiros relativos à implantação e operação de sistemas convencionais e economizadores.

A título de exemplo, apresentam-se dados de consumo de água em residências realizados por Boaventura (1987) na Região Metropolitana de São Paulo. Na ampla revisão e tratamento de dados realizado, o autor calculou o consumo *per capita* residencial segundo diversos compartimentos territoriais correspondentes às áreas consolidadas e periféricas e de diverso nível de renda familiar na Região. A tabela 6.11 apresenta valores de consumos, *per capita*, diário de 3 áreas, válidos para o ano de 1984. Observe-se que o consumo *per capita* da primeira coluna corresponde a valores micromedidos. Conforme o autor estimou, esse volume continha erros de submedição nos hidrômetros de 13,3 %. Assim, para obtenção do *per capita* real os valores foram corrigidos para se obter o volume real consumido. As duas grandezas são necessárias nos cálculos a serem realizados. O valor micromedido é usado para calcular o valor da conta de água e esgoto e o valor do consumo real serve às comparações entre volumes efetivamente usados por aparelho. Entretanto, o percentual de submedição não deve ser generalizado para outras situações (ALVES, 2002).

Usando os dados de Boaventura (1987), calculou-se um consumo mensal considerando uma unidade habitacional com 4 moradores. Na análise do referido autor concluiu-se que o número de pessoas por economia da categoria residencial servida por uma ligação era de aproximadamente 4,1 pessoas. Associou-se também à tabela, segundo cada área, um valor de renda familiar em termos do número de salários mínimos tendo como referência os dados da SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, do estado de São Paulo, (<http://www.seade.sp.gov.br>), relativos ao ano 2000.

Os dados apresentados na tabela 6.11 serão usados nos itens subseqüentes para o desenvolvimento de exercício hipotético visando discutir condicionantes financeiros para exemplificar a aplicação de aparelhos economizadores.

O perfil do uso doméstico de água ainda não foi determinado para as diversas regiões e cidades brasileiras e respectivos padrões de residência, consumo e outros parâmetros. Estudos nesse sentido estão em curso no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. A tabela 6.12 apresenta o perfil do consumo relativo a um apartamento, na cidade de São Paulo, monitorado para tal fim (ROCHA *et al.*, 1998).

Cálculo dos consumos segundo o uso

As possibilidades de redução do consumo dependem dos condicionantes técnicos e dos comportamentais. Trabalha-se, no presente exercício, com a hipótese de que o uso de aparelhos economizadores conte com o comportamento adequado dos usuários. Esse comportamento não envolve mudanças de hábitos, mas, tão somente, a manutenção de padrões de uso próximos à média dos usuários.

Tabela 6.11 Consumo residencial *per capita* de água na Região Metropolitana de São Paulo (1984), consumo e renda familiar adotados - (adaptado de Boaventura, 1987)

| Denominação da área estudada | Consumo <i>per capita</i> diário micromedido | Consumo <i>per capita</i> diário real | Consumo mensal micromedido em habitação com 4 moradores | Consumo mensal real em habitação com 4 moradores | Renda familiar mensal em número de salários mínimos |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | (L/hab.dia) | (L/hab.dia) | (m ³ /mês) | (m ³ /mês) | (SM) |
| Morumbi ¹ | 329 | 372,8 | 49,3 ³ | 60,0 | 40 |
| São Caetano do Sul ² | 169 | 191,5 | 20,3 | 23,0 | 10 |
| Taboão da Serra ² | 115 | 130,3 | 13,8 | 15,6 | 5 |

¹ bacia de contribuição de esgotos da cidade de São Paulo
² município
³ incorpora um(a) empregado(a) permanente (total de 5 pessoas)

Tabela 6.12 Perfil do consumo doméstico medido em um apartamento popular na cidade de São Paulo (adaptado de Rocha et al., 1998)

| Pontos de utilização de água | Consumo diário por habitação (L/habitação.dia) | Percentual do uso no consumo diário (%) |
|------------------------------|--|---|
| Chuveiro | 238 | 55 |
| Pia de cozinha | 80 | 18 |
| Lavadora de roupas | 48 | 11 |
| Lavatório | 36 | 8 |
| Bacia sanitária | 24 | 5 |
| Tanque | 11 | 3 |
| TOTAL | 437 | 100 |

A tabela 6.13 apresenta os valores de vazões ou volumes referenciais, segundo o aparelho sanitário

Tabela 6.13 Vazões e volume referências de pontos de utilização de água em uma instalação predial residencial (fonte: medições laboratoriais e em uso real realizadas pelo IPT)

| Pontos de utilização de água | Características técnicas de contorno exigíveis ou mais usuais | Vazões ou volumes referências | |
|------------------------------|--|--|--|
| | | Aparelho convencional | Aparelho economizador |
| Chuveiro elétrico | São usuais pressões dinâmicas entre 1,0 mca e 2,5 mca em residências térreas e assobradadas com reservatório superior. No caso de pressões maiores, em edifícios de apartamento por exemplo, deve ser usado dispositivo que imponha perda de carga na entrada do chuveiro. A pressão hidrostática máxima prevista na NBR 5626 (40 mca) é considerada excessiva e poderá elevar o valor da vazão. | 0,05 L/s (3 L/min) a 0,10 L/s (6 L/min) | |
| Ducha (aquecimento central) | A ducha economizadora é dotada de dispositivo limitador de vazão com anel flexível | 0,15 L/s (9 L/min) | 0,075 (4,5 L/min) |
| Bacia sanitária | As bacias sanitárias fabricadas atualmente atendem a NBR 15097/04 e consomem 6,8 L por descarga, sendo, portanto, economizadoras. O aparelho convencional se refere a uma bacia fabricada segundo critérios anteriores aos da referida norma em vigor. | 9 L / descarga a 15 L / descarga | 6,8 L / descarga |
| Torneira de lavatório | Valores médios obtidos em medições sobre uso real e em medições laboratoriais. A torneira convencional não tem arejador enquanto a economizadora é dotada do dispositivo. | 0,05 L/s (3 L/min) | 0,025 L/s (1,5 L/min) |
| Torneira de pia de cozinha | Valores médios obtidos em medições sobre uso real e em medições laboratoriais. A torneira convencional não tem arejador enquanto a economizadora é dotada do dispositivo. | 0,10 L/s (6 L/min) | 0,05 L/s (3 L/min) |
| Torneira de tanque | Torneira sob pressão direta da rede pública ou sob pressão elevada da instalação predial. Estima -se que a pressão hidrostática na entrada da torneira seja da ordem de 40 mca, nesses casos. | 0,2 L/s (12 L/min) | 0,1 L/s (6 L/min) ¹ (aplicação de válvula redutora de pressão ou engate estrangulador) |
| Torneira de jardim | Torneira sob pressão direta da rede pública ou sob pressão elevada da instalação predial. Estima -se que a pressão hidrostática na entrada da torneira seja da ordem de 40 mca, nesses casos. | 0,2 L/s (12 L/min) | 0,1 L/s (6 L/min) ¹ (aplicação de válvula redutora de pressão ou engate estrangulador) |

¹ torneiras de tanque ou de jardim sob pressão elevada tendem a apresentar valores bastante altos de vazão. Não existem medições sistemáticas sobre esses casos, mas estima-se que o uso de redutores de pressão pode reduzir a vazão para cerca de 0,1 L/s (6 L/min). O uso de mangueiras na torneira de jardim e estranguladores no bico da torneira do tanque também impõe perda de carga significativa. A propósito, o uso de gatilhos que interrompem o escoamento no esguicho da mangueira é importante para evitar o desperdício.

Apresenta-se a seguir um método racional e simples para calcular o consumo e sua possível redução, baseado no volume consumido de água, no perfil do consumo e nas vazões típicas de aparelhos sanitários. Consideram-se apenas as possibilidades de redução pelo uso de aparelhos economizadores usados de forma adequada pelos usuários.

O método é aplicável a uma unidade residencial individualmente, do tipo casa térrea ou assobradada ou apartamento. Parte-se do princípio que a população usuária e o conjunto das instalações prediais são conhecidos. Obtido ou estimado o consumo mensal médio da habitação sob condições usuais, ou seja, com instalação convencional (não poupadora), procede-se ao cálculo dos volumes consumidos segundo o uso com base no perfil de consumo.

Considerando a introdução de aparelhos economizadores e respectivas vazões ou volumes típicos, calculam-se os novos valores de consumo por uso que somados resultam no consumo global reduzido.

A tabela 6.14 apresenta o desenvolvimento do exercício para um apartamento popular sobre o qual determinou-se o perfil de consumo dado pela tabela 6.12. Trata-se família com rendimento mensal médio por volta de 5 salários mínimos atuais (maio de 2006), R\$ 350,00. O volume mensal consumido, 13,1 m³, é próximo à média determinada para a RMSP e apresentada na tabela 6.11, considerada a faixa de renda (15,6 m³/mês). Admite-se nesse exercício que a família pague a conta de água esgoto correspondente estritamente ao seu consumo no apartamento, ou seja, não se consideram consumos comuns ao edifício como um todo.

Se no exercício precedente fosse possível adotar também uma segunda linha de ação de cunho comportamental sobre o tempo de banho, os resultados seriam bem mais significativos. Se o tempo de banho fosse reduzido à metade, de 16 min para 8 min por banho, por exemplo, a redução no consumo mensal seria de 44,2%.

Tabela 6.14 Cálculo da redução do consumo por substituição de aparelhos sanitários em apartamento existente

| Pontos de utilização de água | Nº de aparelhos | Perfil de consumo ¹ | Consumo por uso com aparelho convencional | Relação percentual entre vazão ou volume economizador pelo convencional | Consumo por uso com aparelho economizador | Redução percentual no consumo mensal |
|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|
| | | (%) | (m ³ /mês) | (%) | (m ³ /mês) | (%) |
| Chuveiro elétrico | 1 | 55 | 7,205 | 0 (zero) ¹ | 7,205 | |
| Torneira de pia de cozinha | 1 | 18 | 2,358 | 50,0 | 1,179 | |
| Lavadora de roupas | 1 | 11 | 1,441 | 0 (zero) ² | 1,441 | |
| Torneira de lavatório | 1 | 8 | 1,048 | 50,0 | 0,524 | |
| Bacia sanitária | 1 | 5 | 0,655 | 56,7 ³ | 0,371 | |
| Torneira de tanque | 1 | 3 | 0,393 | 50,0 ⁴ | 0,196 | |
| T O T A L | | | 131,00 | | 10,916 | 16,7 |

¹ admite-se que o chuveiro elétrico seja usado dentro da faixa de vazões consideradas satisfatórias, apresentadas na tabela 6.12;

² não existem estudos que sistematizem eventuais valores relativos a lavadoras elétricas de roupa. Admite-se no exercício que não haverá diferença entre as situações;

³ foi considerado que a bacia sanitária antiga consumia 12 L por descarga;

⁴ no caso do apartamento situado no 1º andar de um edifício de 4 andares tem-se uma pressão hidrostática não muito alta na torneira do tanque (cerca de 15 mca). Será considerada uma redução de 50% devido à instalação de um dispositivo de perda de carga na entrada da torneira.

Condicionantes financeiros

Os condicionantes financeiros aqui apresentados se debruçarão apenas sobre a ótica dos prováveis interesses de usuários residenciais. A incidência do valor monetário da conta de água e esgoto no orçamento doméstico pode se constituir em motivação importante para a decisão de consumir menos água. A análise abordará o efeito da redução da conta no orçamento familiar segundo três níveis de renda.

No presente exercício adota-se a hipótese de que os percentuais de redução a serem adotados sejam possíveis, referindo-se a ações de cunho tecnológico e comportamental. São previstas substituições de bacias sanitárias, torneiras de lavatório, de pias de cozinha, de tanques e de jardim por aparelhos economizadores disponíveis no mercado, além da

adoção de válvulas redutoras de pressão no caso de duchas. Fica, portanto, subentendido que o exercício trata de uma instalação existente para a qual será necessário um investimento destinado à compra de aparelhos novos e para custeio de mão de obra para sua substituição.

A tabela 6.15 apresenta os valores das contas de água e esgoto e a incidência percentual de redução sobre o valor inicial da conta, calculados com base nos dados de consumo e renda da tabela 6.11 e com os valores tarifários da tabela 6.15.

A tabela 6.16 mostra valores significativos de redução da conta, mas mostra também que apesar das diferenças de volumes micromedidos, de renda familiar e de padrão de edificação e de uso da água, as magnitudes de redução percentual da tarifa situam-se num mesmo patamar para as três áreas. Esses percentuais mostram que o sistema tarifário encerra uma lógica de “premiação” proporcionalmente equivalente para níveis de renda e de consumo bastante diferenciados.

A tabela 6.17 apresenta a incidência percentual das reduções da conta de água e esgoto na renda familiar e a tabela 6.18 mostra os valores monetários absolutos decorrentes da redução do consumo.

Observa-se na tabela 6.17 que os percentuais são relativamente baixos e com valores da mesma ordem de magnitude nas três faixas de renda. No que tange aos valores absolutos apresentados na tabela 6.18, as diferenças são bastante significativas entre as três faixas de renda. Entretanto, tem-se a impressão subjetiva que o valor absoluto de economia financeira mensal em cada faixa é pouco significativa com relação à renda. Em princípio, essa impressão denota um baixo nível de estímulo à redução do consumo induzida pela redução de despesas. Ao que parece, confirma-se a impressão de que o valor financeiro da água potável, em si mesmo, é relativamente baixo.

Resultados financeiros da redução do consumo em edifícios existentes

Um modelo corrente para a análise e tomada de decisão sobre os resultados de investimentos visando a redução do consumo de água, é o

estudo do retorno financeiro sobre o capital investido necessário à redução da conta.

Para o desenvolvimento desse modelo serão analisados os investimentos necessários à redução do consumo, segundo as três classes de renda adotadas na tabela 6.11. Os investimentos consistem nos recursos monetários necessários à aquisição de aparelhos sanitários, materiais e acessórios, bem como a mão de obra necessária à substituição. No caso da menor faixa de renda admitiu-se que não haveria incidência de custo de mão de obra.

Os valores adotados nesse exercício foram obtidos em grandes lojas de material de construção em São Paulo. Há variação de preços entre o mesmo aparelho sanitário dependendo da classe de renda considerada. Por exemplo, no caso de bacias sanitárias com caixa acoplada há preços bastantes diversificados. Há conjuntos desse tipo vendidos desde R\$ 120,00 até R\$ 800,00. Igualmente no caso de torneiras e outros aparelhos, há forte variação de preços. O montante para investimento de cada faixa de renda leva em conta essa variação. Não estão computados no valor do investimento obras visando substituição de pisos e azulejos, ou restauração de acabamentos de qualquer tipo.

A tabela 6.19 apresenta, de forma resumida, o conjunto de aparelhos economizadores, acessórios e materiais complementares a serem instalados em substituição aos convencionais para duas hipóteses de redução do consumo: 10% e 20%.

Tabela 6.15 Tarifa de água potável e conta de água e esgoto (categoria residencial) cobrada no município de São Paulo pela SABESP (maio de 2006)

| Faixas de consumo | Tarifa de água | Valor da conta de água para consumo até o limite da faixa | Valor da conta de esgoto para consumo de água até o limite da faixa | Valor da conta (**) de água e esgoto para consumo até o limite da faixa |
|-------------------|-----------------------|---|---|--|
| (m ³) | (R\$/m ³) | (R\$) | (R\$) | (R\$) |
| Até 10 * | 1,119 * | 11,19 * | 11,19 | 22,38 |
| 11 a 20 | 1,74 | 17,40 | 17,40 | 57,18 |
| 21 a 30 | 4,36 | 43,60 | 43,60 | 144,38 |
| 31 a 50 | 4,36 | 43,60 | 43,60 | 231,58 |
| Acima de 50 | 4,81 | - | - | - |

* 10 m³/mês é o consumo mínimo cobrado qualquer que seja o consumo real até esse volume mensal;
 ** a conta é a soma do consumo de água mais igual valor referente à coleta de esgoto

Tabela 6.16 Valor da conta de água e esgoto antes e após as ações conservacionistas em habitações de 4 moradores¹ e o percentual de redução monetária.

| Denominação da área | Consumo mensal micromedido e valor da conta de água e esgoto ANTES das ações conservacionistas | | Valor da conta de água e esgoto e percentual de redução mensal APÓS as ações conservacionistas | | | |
|---------------------|--|--------|--|------|----------------|------|
| | (m ³ /mês) | (R\$) | 10% de redução | | 20% de redução | |
| | | | (R\$) | (%) | (R\$) | (%) |
| Morumbi | 49,3 | 313,11 | 270,08 | 13,7 | 227,05 | 27,5 |
| São Caetano do Sul | 20,3 | 59,62 | 51,10 | 14,3 | 44,04 | 26,1 |
| Taboão da Serra | 13,8 | 35,60 | 30,80 | 13,5 | 26,00 | 27,0 |

¹no caso da habitação no Morumbi o total é de 5 pessoas pois inclui-se um(a) empregado(a) em tempo integral

Tabela 6.17 Valor da conta de água e esgoto antes e após as ações conservacionistas e sua incidência percentual sobre a renda familiar

| Denominação da área | Valor da conta de água e esgoto e sua incidência percentual sobre a renda familiar ANTES das ações conservacionistas | | Valor da conta de água e esgoto e sua incidência percentual sobre a renda familiar APÓS as ações conservacionistas | | | |
|---------------------|--|------|--|------|----------------|------|
| | (R\$) | (%) | 10% de redução | | 20% de redução | |
| | | | (R\$) | (%) | (R\$) | (%) |
| Morumbi | 313,11 | 2,24 | 270,08 | 1,93 | 227,05 | 1,62 |
| São Caetano do Sul | 59,62 | 1,70 | 51,10 | 1,46 | 44,04 | 1,26 |
| Taboão da Serra | 35,60 | 2,03 | 30,80 | 1,76 | 26,00 | 1,49 |

Tabela 6.18 Valor da conta de água e esgoto antes e após as ações conservacionistas e a diferença monetária absoluta decorrente da redução

| Denominação da área | Valor da conta de água e esgoto ANTES das ações conservacionistas (R\$) | Valor da conta de água e esgoto APÓS as ações conservacionistas e sua diferença com a conta inicial | | | |
|---------------------|---|---|-------|----------------|-------|
| | | 10% de redução | | 20% de redução | |
| | (R\$) | Δ (R\$) | (R\$) | Δ (R\$) | |
| Morumbi | 313,11 | 270,08 | 43,03 | 227,05 | 86,06 |
| São Caetano do Sul | 59,62 | 51,10 | 8,52 | 44,04 | 15,58 |
| Taboão da Serra | 35,60 | 30,80 | 4,80 | 26,00 | 9,60 |

Tabela 6.19 Valor monetário necessário à instalação de novos aparelhos sanitários economizadores, segundo o padrão da residência associado à área considerada

| Denominação da área | Valor do investimento (R\$) | | Aparelhos economizadores e demais itens de investimento para atender um dos dois percentuais de redução de consumo |
|---------------------|-----------------------------|----------------|--|
| | 10% de redução | 20% de redução | |
| Morumbi | 2.200,00 | 4.400,00 | Bacia sanitária com caixa acoplada (2 ou 4); torneiras de lavatório com arejador (2 ou 4); torneira misturadora de cozinha com arejador (1 ou 2); redutores de pressão para ducha (2 ou 4); acessórios e materiais; mão de obra. |
| São Caetano do Sul | 400,00 | 1.020,00 | Bacia sanitária com caixa acoplada (1 ou 2); torneiras de lavatório com arejador (1 ou 2); torneira misturadora de cozinha com arejador (0 ou 1); acessórios e materiais; mão de obra. |
| Taboão da Serra | 100,00 | 260,00 | Combinação alternativa de 1 bacia sanitária com caixa de descarga elevada, 1 torneiras de lavatório com arejador, 1 torneira misturadora de cozinha com arejador mais acessórios e materiais. |

O modelo de análise, na sua forma completa, deve levar em conta os juros correspondentes ao capital necessário para o investimento. Seria o caso, por exemplo, do recurso financeiro ser obtido mediante empréstimo bancário a ser pago ao longo de um certo período. Uma outra situação seria a de obter o montante necessário ao investimento de conta de poupança bancária própria. Um modelo matemático mais abrangente para análise e tomada de decisão, incorporando os ganhos previstos e os juros sobre o investimento, além das despesas com manutenção é apresentado no DTA-B1 do PNCDA (SCHMIDT, 2004).

No exercício aqui desenvolvido será aplicado o método do período de retorno levando em conta somente o valor nominal do investimento e dos ganhos mensais oriundos da redução da conta de água e esgoto. Com base nesses dois parâmetros, será calculado o tempo necessário para que o capital investido seja recuperado. Os custos relativos à manutenção serão considerados os mesmos antes e após a implantação para redução, não sendo necessário levá-los em conta nos cálculos.

A tabela 6.20 apresenta o cálculo do período de retorno nos termos anteriormente definidos, considerando os investimentos e ganhos na conta de água e esgoto (ver tabela 6.20), segundo as faixas de renda e consumo apresentados na tabela 6.11.

Tabela 6.20 Período de retorno dos investimentos realizados com instalação de novos aparelhos economizadores

| Denominação da área | Diferença absoluta das contas de água e esgoto após as ações conservacionistas | | Valor do investimento | | Retorno dos investimentos realizados | |
|---------------------|--|----------------|-----------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|
| | (R\$/mês) | | (R\$) | | (meses / anos) | |
| | 10% de redução | 20% de redução | 10% de redução | 20% de redução | 10% de redução | 20% de redução |
| Morumbi | 43,03 | 86,06 | 2.200,00 | 4.400,00 | 51,1 / 4,3 | 51,1 / 4,3 |
| São Caetano do Sul | 8,52 | 15,58 | 400,00 | 1.020,00 | 46,9 / 3,9 | 65,5 / 5,5 |
| Taboão da Serra | 4,80 | 9,60 | 100,00 | 260,00 | 20,8 / 1,7 | 27,1 / 2,3 |

Observa-se que do ponto de vista financeiro os resultados não são animadores, pois os períodos de retorno dos investimentos são demasiadamente longos. Se os cálculos incorporassem os juros ao longo do tempo os resultados seriam ainda piores, pois os valores investidos teriam que ter retorno considerando os ganhos advindos das reduções mensais da conta de água e de esgoto menos os ganhos potenciais do capital investido caso estivessem gerando rendimentos em aplicações financeiras.

Os resultados financeiros obtidos são afetados por alguns fatores importantes. Destaca-se inicialmente que o valor monetário da redução do consumo é pequeno relativamente ao investimento necessário. Na verdade, novamente se percebe que o preço da água é relativamente baixo, dando margem a diferenciais igualmente baixos. Uma outra razão que dá lugar a períodos de retorno tão longos é que a busca da redução focalizou a substituição de aparelhos sem considerar o peso que os mesmos teriam na redução das contas. Conforme se observou em exemplo anterior voltado às mudanças de comportamento, as reduções de consumo são muito mais significativas nos casos em que ocorrem mudanças de hábitos, como no caso da redução do tempo de banho em chuveiros.

Resultados financeiros da redução do consumo em edifícios NOVOS

No caso de edifícios novos, recomenda-se a elaboração de concepção integrada de projeto arquitetônico e de instalações prediais de água,

esgoto, águas pluviais e águas cinzas visando definir alternativas de sistemas de distribuição predial com águas de diversas qualidades segundo o uso.

Considerando a redução do consumo de água baseada somente no emprego de aparelhos sanitários, devem ser analisados os diferenciais de custos de investimento e manutenção comparando aparelhos economizadores e convencionais.

A exemplo do exercício desenvolvido no item anterior, simulações de consumos devem ser desenvolvidas para aparelhos convencionais e economizadores, tendo em vista gerar os elementos necessários para os cálculos financeiros.

De uma maneira geral, os custos de investimento resultantes da adoção de aparelhos economizadores não será muito diferente daqueles correspondentes a aparelhos convencionais. Na verdade, a grande variabilidade de preços de aparelhos se dá em função da marca e dos modelos e não especificamente pelo fato de serem ou não economizadores. No caso das bacias sanitárias, por exemplo, tem-se a totalidade dos produtos fabricados em conformidade com a norma brasileira que garante baixo volume de descarga. No caso das torneiras, existe uma grande variedade de marcas e modelos dotadas de arejadores, embora nem todos apresentem desempenho satisfatório. Os chuveiros elétricos, por sua vez, variam de preço segundo a marca e modelo, mas operam normalmente com baixas vazões. Em edifícios de apartamentos a serem construídos, a oportunidade do controle das pressões sobre os aparelhos deve ser aproveitada, evitando pressões altas em chuveiros, torneiras e outros aparelhos.

Em edifícios de apartamentos, além do emprego de aparelhos economizadores cabe investigar as possibilidades de realizar a medição individualizada de consumo por apartamento.

Referências Bibliográficas

ASME A112.19.2M/03 – Vitreous China Plumbing Fixtures and Hydraulic Requirements for Water Closets and Urinals.

ALVES, W.; PEIXOTO, J.B.; SANCHEZ, J.G.; LEITE, S.R. (2004) Micromedição. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Programa de Modernização do Setor de Saneamento, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasília (Documento Técnico de Apoio – DTA D3).

ANDRÉ, P.T.A. Elementos de análise econômica relativos ao consumo predial. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, Brasília (Documento Técnico de Apoio – DTA-B1)

BARRETO, D. (1990) Water Conservation and Monitoring of Sanitary Appliances. Dissertação de mestrado apresentada à Heriot-Watt University, Department of Building, Edinburgh, Escócia (não publicada).

BOAVENTURA, S.G.S. (1987) Consumo de água na Região Metropolitana de São Paulo. In Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, São Paulo, 1986. Anais ... São Paulo, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pp. 63-97.

CARDIA, N. et ALUCCI, M.P. (1998) Campanhas de educação pública voltadas à economia de água Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA. Documento Técnico de Apoio DTA - B2. Ministério do Planejamento e Orçamento / Secretaria Nacional de Política Urbana. PNCDA, Brasília.

CARDIA, N.G. (1987) O comportamento de conservação de água: subsídios teóricos para campanhas educativas de redução do consumo. In Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, São Paulo, 1986. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, pp 177-195.

GONÇALVES, O.M.; IOSHIMOTO, E. et OLIVEIRA, L.H. (1999) Tecnologias Poupadoras de água nos sistemas prediais. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, Brasília (Documento Técnico de Apoio - DTA-F1) NBR-5626 - Instalação Predial de Água Fria, setembro, 1998

OTTO, R., RUMINY, A. e MROTZEK, H. – Assessment of the Environmental Impact of Household Appliances. : APPLIANCE Magazine, April 2006 Engineering. Disponível em www.appliancemagazine.com/ae/editorial.php?article=1393&zone=215&first=1, acessado em julho de 2006.

ROCHA, A.L. (1990). Estudo para identificação e avaliação de parâmetros de projeto de bacias sanitárias de ação sifônica tendo em vista a redução do consumo de água. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo (não publicada).

ROCHA, A.L. et BARRETO, D. Perfil do consumo de água de uma habitação unifamiliar. In Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Rio de Janeiro, 1999; pp 1272-1279.

ROCHA, A.L.; BARRETO, D. et IOSHIMOTO, E. (1999) Caracterização e monitoramento

do consumo predial de água. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, Brasília (Documento Técnico de Apoio - DTA E1)

ROCHA, A.L. (1993) Reduction in domestic water consumption through the use of low volume flush toilet. In Proceedings of the 1993 CIB/W62 International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depto. de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas, Porto.

ROCHA, A. L. et MONTENEGRO, M. H. F. (1987) Conservação de água no uso doméstico: esforço brasileiro. In Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, São Paulo, 1986. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, pp 289-315.

SCHMIDT, W. (2004) Produtos economizadores de água nos sistemas prediais. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Programa de Modernização do Setor de Saneamento, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasília (revisão do Documento Técnico de Apoio - DTA-F2 de 1999 por IOSHIMOTO, E. OLIVEIRA, L.H. et GONÇALVES, O.M.).

THACKRAY, J.E.; COCKER, V.; ARCHIBALD, G (1978) The Malvern and Mansfield Studies of Domestic Water Usage. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 1, 64: 37-61, 1978.

Normas Técnicas

NBR 5626 - Instalação predial de água fria, setembro de 1998.

NBR 15.097 - Aparelhos sanitários de material cerâmico - Requisitos e métodos de ensaio, junho, 2004

NBR 8160 - Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução, 1999.

ASME A112.19.2M/03 – Vitreous China Plumbing Fixtures and Hydraulic Requirements for Water Closets and Urinals.

PROJETO DE NORMA 02:136.01.008 - Desempenho de edifícios habitacionais até 5 pavimentos - Parte 6: Sistemas hidro-sanitários

Siglas

GT-AAQ do PBE PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem - visa prover os consumidores de informações que permitam-lhes avaliar e otimizar o consumo de energia elétrica dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia (www.inmetro.gov.br)

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem - visa prover os consumidores de informações que permitam-lhes avaliar e otimizar o consumo de energia elétrica dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia (www.inmetro.gov.br).

PNCDA: Programa Nacional do Combate ao Desperdício de Água.

Capítulo 7

Análise Crítica

Eduardo Pacheco Jordão

No Brasil, em que pesem os bons indicadores de 95% da população urbana ser atendida por serviços públicos de abastecimento de água (SNIS/PMSS, 2004), a demanda para irrigação e para indústria – setores fundamentais para o crescimento econômico do país – conduz a necessidades cada vez maiores deste recurso natural.

Nossa chamada Lei dos Recursos Hídricos (Lei Federal 9433/97), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, apresenta em seu bojo 3 pontos fundamentais e que são a base sobre a qual se assenta todo seu entendimento institucional: a água é um bem de domínio público; é um recurso natural limitado; é um bem de valor econômico.

Estas 3 considerações legais conduzem por sua vez a outros 3 corolários, que poderiam ser enunciados como a necessidade: da *conservação* da água; da *redução da poluição*, na fonte ou por meio de tratamento adequado; e do correto *gerenciamento* dos recursos hídricos (disponibilidade e demanda).

Sob este enfoque é gratificante ver que começa a se desenvolver no Brasil uma tendência ao *reúso* da água, sob várias formas: para fins urbanos, incluindo captação da água de chuva (embora não venha a constituir um reúso em si, mas um aproveitamento racional); reúso industrial; e reúso de águas servidas na agricultura.

Embora seja tecnicamente possível e relativamente simples transformar a água servida em fonte de consumo, há ainda alguns pontos a serem considerados: de um lado a disposição do povo em consumir – ou rejeitar – a água reciclada; de outro lado, sua qualidade final e seu

respectivo custo de produção.

A questão da aceitação pela população em geral passa evidentemente por atividades ou campanhas de demonstração do desenvolvimento tecnológico, de confiabilidade, e segurança. A questão da qualidade final da água reciclada e seu custo têm a ver com os usos pretendidos, e com o desenvolvimento tecnológico.

Aproveitamento de Água de Chuva

Não há qualquer dúvida que o aproveitamento da água de chuva para diversos fins urbanos já é prática estabelecida em nosso país.

Há 30 anos atrás tínhamos conhecimento da construção de cisternas no interior do Piauí, nas escolas e nas casas pobres da cidadezinha de São Raymundo Nonato, como forma de disponibilizar água para o dia-a-dia da população. Aqueles sertanejos simples não conheciam o pH da água, não faziam ensaios de qualidade, não tinham idéia do que fossem Coliformes Fecais (“termotolerantes”, para ser mais atual), mas sabiam que se direcionassem as calhas de seus telhados para uma simples cisterna e de alguma forma retirassem as folhas que caíam no telhado, teriam a preciosa água com que a natureza tantas vezes lhes faltara.

Hoje temos conhecimento de aspectos técnicos ligados a este tema e projetamos um sistema de aproveitamento da água de chuva de forma racional. O Governo estabelece metas para a implantação de cisternas no semi-árido e de alguma maneira as cidades tentam obrigar seu aproveitamento.

Nos três últimos anos, prefeituras importantes, entre elas as de São Paulo e Rio de Janeiro, emitiram leis estabelecendo regras e obrigatoriedades para a captação e o aproveitamento da água de chuva. No caso do Rio de Janeiro em particular, condomínios com mais de 50 casas e áreas pavimentadas com mais de 500 m², são obrigados a captar a água de chuva, reservá-la por determinado tempo, liberá-la de forma controlada para a rede de drenagem e ainda disponibilizá-la para possível uso não potável. São dois os objetivos, neste dispositivo

legal: a redução dos picos de enchente e o próprio aproveitamento da água.

Centros universitários e de pesquisa, como a UFES, a UFSC – ambas no âmbito do PROSAB – a USP, a UFRJ, têm trabalhado neste tema, dispondo-se hoje de considerável quantidade de informações técnicas relevantes.

Empresas fabricantes de equipamentos e de canalizações, já oferecem no mercado dispositivos apropriados para a retenção de folhas e materiais em suspensão, alguns mais sofisticados, em aço inoxidável até, outros mais simples, em PVC, apropriados para o uso pretendido.

Está claro, portanto, a evolução neste tipo de aproveitamento da água de chuva.

Os estudos desenvolvidos no Edital 4 do PROSAB indicaram alguns pontos fundamentais:

- A água da chuva é de muito boa qualidade, mas se torna contaminada após passagem pela superfície de captação;
- A água, antes com pH tipicamente ácido, da ordem de 5,6, se torna alcalina após a passagem por um filtro de areia, usual para melhoria da qualidade;
- A melhoria de qualidade, para atender padrões superiores, é facilmente obtida através de uma filtração em leito grosseiro de areia;
- A acumulação em reservatório tende a fazer crescer a DBO, sendo imprescindível que o reservatório não receba luz solar, e seja fechado, a fim de minimizar a geração de algas;
- Em função da possibilidade de re-contaminação, o ideal é localizar o reservatório de acumulação na própria laje superior da edificação, abaixo do telhado, quando possível, e bem vedado;
- Todos os usos domésticos podem ser considerados para aproveitamento da água de chuva: evidentemente, a qualidade necessária desta água irá variar de acordo com os usos pretendidos. No caso de consumo humano e preparo de alimentos, o padrão de potabilidade deve ser adotado. Mas mesmo no caso de usos menos nobres, como lavagem de roupa ou descarga de vasos sanitários, é recomendável que esta água receba uma desinfecção – nada pior

que uma água de descarga com mau cheiro para desacreditar completamente a prática do reúso;

- A maneira mais simples de se praticar a desinfecção é através da cloração, que, a nível domiciliar pode ser realizada facilmente através de pastilhões de cloro;
- Nos critérios de dimensionamento do sistema de aproveitamento da água de chuva, o reservatório constitui o elemento de maior peso na composição dos custos. O tamanho do reservatório por sua vez está relacionado ao critério adotado para a frequência da chuva adotada, ou o intervalo de tempo sem precipitação. Assim, a adoção dos critérios de projeto deve levar em conta os custos resultantes, que podem inviabilizar o projeto;
- Na concepção do sistema, deve-se ter em conta que o aproveitamento parcial da água de chuva, isto é, apenas para um tipo de consumo, resultará em sistemas duplos de instalação predial, advindo daí maiores custos construtivos;
- Qualquer tentativa de aproveitamento da água de chuva deve sofrer uma rigorosa avaliação de custo, de acordo com as finalidades de uso, padrão de qualidade a manter e respectivas instalações a serem construídas. Não terá qualquer sentido implantar um sistema de aproveitamento de água de chuva em um imóvel, se os custos vierem a ser superiores à tarifa praticada pela concessionária.

Segregação de Águas Servidas com Urina e Fezes

Não é prática estabelecida no Brasil e mesmo na maioria dos países desenvolvidos, a segregação da urina e das fezes, nas próprias instalações prediais, para posterior reaproveitamento. Esta experiência já se faz, porém, na Suécia e na Dinamarca e em alguns centros na Alemanha, buscando-se obter um efluente “urina” rico em nutrientes e um efluente “águas negras com fezes” tipicamente rico em matéria orgânica e microorganismos – estes últimos devendo ser reduzidos e estabilizados em tratamento adequado.

A concepção desta segregação é altamente inteligente, considerando que a urina contém cerca de 80% do nitrogênio, 50% do fósforo e 90% do potássio, presentes no esgoto, representando menos de 1% do volume do

esgoto gerado. Vantagem para o reúso da urina na agricultura, vantagem para o tratamento do restante dos esgotos, cujo efluente a ser lançado nos corpos d'água terá concentrações mínimas de nutrientes.

No entanto, estamos longe de poder aplicar esta concepção. De um lado, aspectos culturais da população, que não está preparada para este tipo de segregação. De outro lado, aspectos econômicos, estratégias de implantação do sistema, logística para reservação e recolhimento da urina separada, além do transporte para os centros agrícolas. A própria inexistência de uma política voltada para este fim dificulta a aplicação, no momento, desta linha de trabalho.

Não obstante as dificuldades acima apontadas, os estudos desenvolvidos pela UFES são um marco inicial no conhecimento do tema entre nós, sendo muito interessantes os dados levantados e inseridos na presente publicação, merecendo uma continuidade de trabalho, particularmente uma avaliação econômica de sua aplicabilidade em áreas piloto no país.

Segregação e Reúso de Águas Cinzas e Negras

A extensão com que o reúso de águas cinzas e negras pode ser praticado é bastante ampla. Embora as atividades de pesquisa do PROSAB tenham praticamente se restringido ao reúso domiciliar, a prática do reaproveitamento das águas servidas pode estender-se à irrigação agrícola, de parques, à indústria, etc. A Tabela 7.1 seguinte mostra a gama de aplicações que se pode praticar e alguns exemplos que já temos realizado.

No âmbito domiciliar, a segregação das águas cinzas em relação às águas negras conduz a menores custos de tratamento das primeiras, uma vez que possuem menor contribuição de matéria orgânica e nesse sentido esta seria a prática recomendada. Quanto aos processos de tratamento em si, os exemplos apresentados no capítulo 4 deste livro mostram a simplicidade com que tais águas servidas podem ser tratadas. Espera-se que em rápido tempo empresas fornecedoras especializadas já estejam oferecendo ETEs compactas pré-fabricadas para este fim. Um estudo econômico tal como apresentado no corpo do livro é essencial, como garantia da viabilidade do reúso.

Tabela 7.1 Reúsos

| Tipo de reúso | Observações |
|---|---|
| Irrigação agrícola | Praticada em Lins, SP, efluente de sistema de lagoas. |
| | Requer manejo adequado para não ocorrer contaminação e salinização. |
| | Requer programa de difusão para aceitação pela comunidade. |
| Irrigação de parques, extensas áreas verdes, campos de golfe, cemitérios. | Atendimento a padrões restritivos ou às Guias da OMS, mais flexíveis |
| | Requer programa de difusão para aceitação pela comunidade. |
| Reúso industrial (água de utilidades, de processo) | Experiência exitosa da SABESP, SP, com venda de efluente tratado para indústrias. Várias indústrias reusam o efluente industrial na própria planta. |
| | Requer qualidade compatível com o uso na indústria. |
| Água de serviço, limpeza de ruas, combate a incêndio. | Experiência exitosa da SABESP, SP, com fornecimento de efluente tratado à Prefeitura para limpeza de ruas. |
| | Reúso de água de lavagem de viaturas, em garagens e lava-jatos, já vem sendo praticado entre nós. |
| | Requer desinfecção. |
| Reúso em atividades no setor de saneamento | A SABESP, SP, utiliza efluente tratado em sistemas de manutenção preventiva de redes coletoras de esgoto sanitário. |
| | Possibilidade de reúso nas próprias estações de tratamento. |
| Uso residencial e comercial como água não potável | O Hotel Confort Suítes em Macaé, RJ, reusa águas cinzas para descarga nos vasos sanitários dos apartamentos. |
| | Lavagem de pisos, lavagem de roupa, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado. |
| | Requer programa de difusão para aceitação pela comunidade. |
| | Requer desinfecção. |
| Uso residencial como água potável | Requer atenção com conexões cruzadas. |
| | Possível mistura à água do concessionário no reservatório domiciliar. |
| | Requer atendimento ao padrão de potabilidade. Atenção especial a ser dada a bactérias, vírus, protozoários, helmintos. |
| Carregamento do aquífero | Requer avaliação da possibilidade de contaminação do lençol por substâncias químicas orgânicas, nitratos, minerais, metais pesados, microorganismos. |
| | Requer programa de difusão para aceitação pela comunidade. |
| Usos recreacionais | O Estado do Rio de Janeiro implantou duas piscinas públicas com água captada na baía de Guanabara (em áreas altamente poluídas), após tratamento adequado e desinfecção, com ampla aceitação pela população (piscinão de Ramos e de S.Gonçalo). |
| | Requer programa de difusão para aceitação pela comunidade. |

Uma chamada sobre o problema das *conexões cruzadas*: atenção particular deverá ser dada às instalações hidráulicas prediais no caso de se adotar duas redes de distribuição de água no prédio (uma para água potável e outra para água de banheiro e cozinha, reusada, não

potável). As tubulações de uma e outra rede devem ser preferivelmente de material diferente (como cobre e PVC) ou de cor diferente (no caso do mesmo material) e devem ter indicações claras do tipo de água transportado. Se possível, os dois sistemas devem ter pressão diferenciada, sendo maior na rede de água potável.

A Qualidade Desejada e os Custos

A questão da qualidade final da água reusada constitui um ponto de fundamental importância nos estudos de reúso. Está intimamente ligada ao uso pretendido da “nova água”. E aqui surgem 2 pontos antagônicos, que são hoje ainda preocupantes entre nós: qualidade final x riscos, ou custos x riscos. Dito de outra forma: a necessidade da proteção à saúde pública e ao meio ambiente e seus respectivos custos, que devem ser aceitáveis.

Uma mesa-redonda recente (Paris, 2000) promovida pela IWA – *International Water Association*, enfatizou que a produção de água reciclada apresenta riscos de saúde pública e ambientais, compatíveis com a qualidade final do produto e com os custos praticados. Nesse mesmo fórum verificou-se que os países ricos praticam o trinômio *padrões de qualidade extremamente exigentes / altos custos / baixíssimos riscos*, enquanto os países em desenvolvimento que já iniciaram a prática do reúso da água, vêm adotando tecnologias mais simples, compatíveis com suas disponibilidades econômicas. O trinômio neste caso seria *tecnologias simples / baixo custo / riscos controlados*. Nesse caso os países em desenvolvimento têm a seu favor as “*Guidelines*” da Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989), que adotam padrões de qualidade menos exigentes, aos quais tecnologias de menor custo são satisfatórias, compatíveis sempre com o uso benéfico da água.

O que estamos querendo mostrar é que a questão do reúso da água passa também por decisões econômicas e políticas – da mesma forma que as decisões envolvendo a proteção da saúde pública e do meio ambiente estão associadas a riscos maiores ou menores, mas sempre aceitáveis.

O Brasil não possui ainda critérios legais para qualidade de água de reúso. À época deste artigo, o CONAMA achava-se em processo de

discussão dos padrões de qualidade para diversos fins de água de reúso, existindo na verdade uma corrente mais exigente, guiando-se pelos padrões norte-americanos e outra, mais flexível, buscando contemplar os aspectos econômicos do processo. No capítulo 4 deste livro (Tabela 7.1), são apresentados diversos parâmetros para padrões de diferentes países, podendo-se observar a diversidade existente nas normas legais, no mundo e o elevado grau de restrição dos padrões norte-americanos e canadenses.

Enquanto padrões nacionais, com rigor de lei, não são estabelecidos, cabe ao projetista usar seu bom senso na formulação da melhor equação qualidade x custo, onde o termo qualidade é função do uso efetivo que se dará à água. As experiências relatadas nos capítulos anteriores deste livro mostram que a desinfecção deve ser uma prática adotada, em todos os casos: se não para exercer sua função típica contra os microorganismos, para eliminar o mau cheiro que poderá advir e desmoralizar o próprio reúso.

Gerenciamento e Análise de Riscos

Qualquer atividade de reúso da água implica em considerações relativas à proteção da saúde. Nos casos de reúso de maior porte uma análise de riscos pode ser aplicada, a fim de avaliar os riscos envolvidos. Mais do que uma simples análise de riscos, planos de segurança podem ser desenvolvidos, no sentido de se acompanhar e gerenciar as atividades de reúso sob a ótica de minimização de riscos.

Esta é uma técnica que tem sido recentemente desenvolvida, sob o nome de “*Water Safety Plans*” ou Planos de Segurança da Água, estreitamente ligada à Gestão da Qualidade, implicando em:

- Identificar perigos potenciais (PP);
- Identificar eventos potencialmente perigosos (EPP);
- Identificar a origem dos PP e EPP; e
- Avaliar os riscos que podem representar para a atividade de reúso.

O *perigo potencial (PP)*, ou agente perigoso, é um agente biológico, ou

químico, ou físico, que resulta potencialmente danoso ao usuário ou ao ambiente. O *evento potencialmente perigoso (EPP)* é um incidente ou situação que possa conduzir à presença de um agente perigoso. O *risco* é a probabilidade de que os agentes perigosos identificados causem danos a uma população exposta, em um tempo determinado, incluindo a magnitude dos danos e suas conseqüências.

Esta técnica de análise de riscos tem sido largamente usada na indústria de alimentos, aplicando-se perfeitamente ao caso do reúso da água. Nesse caso, pode-se considerar a seguinte metodologia:

- Realizar uma avaliação dos possíveis PP e EPP;
- Identificar os pontos críticos de controle (PCC);
- Estabelecer os limites críticos;
- Estabelecer um sistema de vigilância;
- Estabelecer uma rotina de verificação do sistema; e
- Estabelecer um sistema de documentação e registros.

É possível estabelecer para os perigos identificados uma grandeza de *severidade e probabilidade de ocorrência*, bem como estabelecer medidas preventivas e corretivas para os perigos significativos.

Uma matriz como a abaixo pode ser produzida para controle do sistema, para os diversos agentes perigosos.

| PROBABILIDADE | SEVERIDADE | | | | |
|----------------|-------------|-------|----------|-------|-------------|
| | Desprezível | Menor | Moderado | Maior | Inaceitável |
| Muito provável | | | | | |
| Provável | | | | | |
| Pouco provável | | | | | |
| Improável | | | | | |

Bem evidente, uma atividade deste tipo não precisa ser realizada para um caso simples do reúso em uma residência, por exemplo, mas será muito adequada para quando se tratar de um reúso de maior porte, como em um grande condomínio, ou em uma atividade industrial.

Conclusões

Uma análise dos estudos e experimentos realizados no âmbito do PROSAB mostra que tais estudos conduziram a um patamar acima do que usualmente se praticava. Parâmetros típicos das águas reusadas puderam ser confrontados com os das águas servidas que lhes deram origem, assim como os parâmetros das águas reaproveitadas da chuva e em todos os casos as tecnologias permitindo a melhoria da qualidade se mostram claramente dominadas. O livro vai mais além e dedica um capítulo aos chamados aparelhos sanitários economizadores, com os quais devemos aprender a conviver.

Ao vermos tabelas e dados apresentados nesta publicação, verificamos com clareza que a prática da conservação da água é uma atividade que precisa ser incorporada a nossa cultura, e efetivamente praticada, cabendo ao poder público, através de prefeituras, concessionários de serviços de água e esgoto, órgãos reguladores, órgãos ambientais, escolas elementares, levar às comunidades o conhecimento desta importante forma de garantir a disponibilidade de água no nosso entorno e no planeta.

Referências Bibliográficas

WEF. Water Reuse, 2ª edição, 1989.

METCALF & EDD., Water and Wastewater Engineering, McGraw Hill, 4ª edição, 2004

JORDÃO & PESSÔA, Ed. Segrac/ABES, 4ª edição, 2005

PMRJ. Prefeitura do Rio de Janeiro, Decreto 23940/2004

FERRARIS, E.P. "Water Safety Plans", Seminário de Gerenciamento de Risco, AIDIS, 2006

BRASIL. Lei dos Recursos Hídricos (Lei Federal 9433/97)

BRASIL. Ministério das Cidades, SNIS/PMSS, 2004