

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA PEQUENAS COMUNIDADES E COMUNIDADES RURAIS

2ª EDIÇÃO REVISTA
2023

JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

*Dedico este livro à minha esposa Maria Elisa
e aos meus filhos Stella e Felipe, que seguem
sempre comigo na minha jornada de vida.*

AGRADECIMENTOS

A todos os meus ex-alunos, orientados e técnicos dos laboratórios da Unicamp, pois sem a sua contribuição e ajuda, as pesquisas, cujos resultados culminaram neste livro, não seriam possíveis de serem realizadas.

À Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/Unicamp pela concessão da licença sabática para elaboração desta obra.

Às agências de fomento à pesquisa FAPESP, FAEPEX/Unicamp, FINEP e CNPq pelos importantes e indispensáveis suportes financeiros recebidos, que possibilitaram a realização das pesquisas e a elaboração deste livro.

A Jaqueline C. Ramos pela revisão do texto.

A Stella Z. Paterniani pelo trabalho editorial nesta segunda edição.

A Laura Nakel pelo projeto gráfico desta segunda edição.

PREFÁCIO DO AUTOR

*A água, que mata a sede do homem,
mata o homem quando mal tratada*

Este livro apresenta os aspectos básicos e fundamentais para o conhecimento das principais técnicas de tratamento de água para consumo humano, bem como as informações importantes para a escolha de mananciais para captação de água e os principais parâmetros para avaliação da qualidade da água. O texto apresenta, ainda, os resultados de pesquisas por mim desenvolvidas durante mais de 25 anos sobre técnicas de tratamento de água apropriadas a pequenas comunidades, o que inclui a filtração lenta e a filtração em múltiplas etapas, e técnicas domiciliares de tratamento de água, como a sedimentação auxiliada por sementes de *Moringa oleifera* e a desinfecção por radiação solar (SODIS). Ao final do livro, há um roteiro simplificado para a elaboração de um projeto de estação de tratamento de água por filtração em múltiplas etapas, a fim de auxiliar o leitor no dimensionamento de sistemas de tratamento de água.

Esta segunda edição foi revista, ampliada e recebeu um novo projeto gráfico que deixou o livro mais interessante e de mais fácil leitura.

Ressalto a importante contribuição que recebi dos meus ex-alunos, orientados e dos técnicos dos laboratórios da Unicamp, a quem expresso meus agradecimentos, pois sempre me auxiliaram na montagem de instalações piloto, na condução dos experimentos investigativos e nas análises dos dados dos projetos de pesquisa desenvolvidos, que contaram com o apoio de diversas agências de fomento (FAPEX/Unicamp, FINEP, CNPq e FAPESP) para sua plena realização.

José Euclides Stipp Paterniani

SUMÁRIO

1. GENERALIDADES SOBRE O USO E A QUALIDADE DA ÁGUA	11
1.1. A qualidade da água para consumo humano	11
1.2. Histórico e generalidades sobre o tratamento de água	13
1.3. Conceito de soluções sustentáveis	17
2. FUNDAMENTAÇÃO SOBRE PROJETOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	23
2.1. Escolha do manancial e localização da estação de tratamento de água	23
2.1.1. Águas subterrâneas: poços	23
2.1.2. Águas superficiais: rios	24
2.1.3. Águas superficiais: lagos	26
2.2. Monitoramento da qualidade da água	27
3. TEORIA DA FILTRAÇÃO	35
3.1. Mecanismos e cinética da filtração	35
3.2. Características dos meios filtrantes	47
3.2.1. Areia	47
3.2.2. Pedregulho ou seixo rolado	51
3.2.3. Nãotecidos (TNT)	52
4. FILTRAÇÃO LENTA	60
4.1. Generalidades	60
4.2. Vantagens e desvantagens da filtração lenta	61
4.3. Inovações tecnológicas da filtração lenta	62
4.3.1. Uso de nãotecidos (TNT) na superfície da areia	62
4.3.2. Uso de areia comum de construção civil	69
4.3.3. Substituição da camada suporte de pedregulho por nãotecidos (TNT)	71
4.3.4. Substituição de todo o meio filtrante de areia por nãotecidos (TNT)	76

5. FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FIME)	88
5.1. Conceito	88
5.2. Principais métodos de pré-tratamento para uso em sistemas de filtração em múltiplas etapas (FIME)	90
5.2.1. Sedimentação simples	90
5.2.2. Pré-filtração	94
5.2.2.1. Pré-filtro dinâmico	94
5.2.2.2. Pré-filtro de fluxo horizontal	100
5.2.2.3. Pré-filtro de fluxo vertical descendente e pré-filtro de fluxo vertical ascendente	101
5.3. Unidades de desinfecção	110
5.4. Escolha da configuração do sistema FIME (filtração em múltiplas etapas)	113
5.5. Custo de um sistema FIME (filtração em múltiplas etapas)	118
6. SISTEMAS DOMICILIARES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	122
6.1. Conceito	122
6.2. Tratamento de água com <i>Moringa oleifera</i>	123
6.3. Desinfecção de água por radiação solar	148
ROTEIRO PARA PROJETO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FIME)	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES SOBRE O USO E A QUALIDADE DA ÁGUA

1.1. QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Desde os primórdios da humanidade, a água é tida como elemento essencial para diversas atividades e para a própria sobrevivência da população. No entanto, a água doce disponível para o consumo, proveniente dos mais diferentes mananciais, nem sempre está em condições adequadas, do ponto de vista qualitativo, para ser utilizada, isto é, não atende a padrões e critérios de qualidade estabelecidos por lei. Assim, técnicas de tratamento de água têm sido desenvolvidas e empregadas para alcançar a qualidade desejada da água para os correspondentes usos.

O termo “qualidade” sempre está relacionado a dois principais conceitos: o conceito que faz referência a uma propriedade ou característica de um material ou objeto; e o conceito de mérito (ou grau de valor), que está sempre associado ao uso. Por exemplo: ao se dizer que uma mesa de madeira é dura ou que um colchão de espuma é macio, atribui-se qualidade à mesa e ao colchão de acordo com as propriedades e características físicas dos materiais de que são produzidos – a madeira e a espuma. Mas, ao se dizer que o colchão de espuma é melhor para se dormir do que a mesa de madeira, está-se atribuindo qualidade aos produtos de acordo com seu mérito e grau de valor associado a um determinado uso – o dormir.

No caso da água, as duas dimensões do conceito de qualidade coexistem, uma vez que, além das características e propriedades naturais da água, o uso para o qual uma água será destinada implicará diretamente na qualidade que ela deverá possuir.

Assim, ao se trabalhar com a água, deve-se adotar como indissociáveis o seu uso e a sua qualidade; somente assim poder-se-á estabelecer tecnologias de tratamento de água adequadas e que atendam, de maneira eficaz, a critérios técnicos e econômicos.

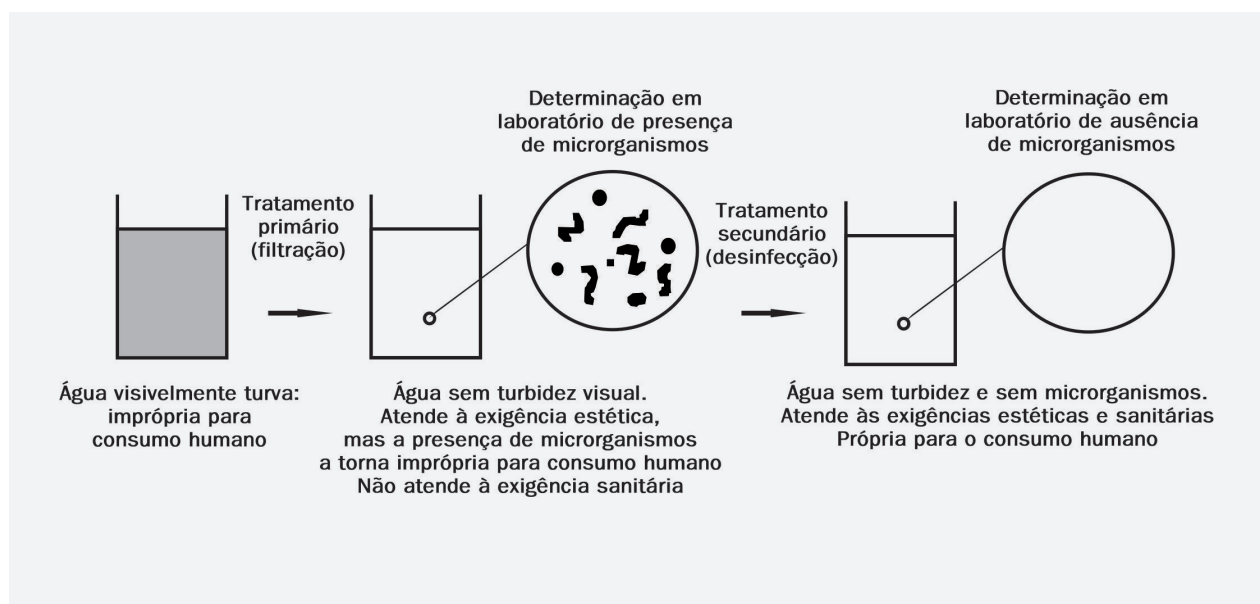
Quando se diz que uma água não é adequada para consumo humano, por exemplo, pensa-se, na maioria das vezes, na contaminação dessa água por elementos químicos tóxicos ou por microrganismos patogênicos, já que tais contaminações invariavelmente podem trazer consequências desastrosas à saúde de quem a consumir. No entanto, o aspecto estético da água é uma qualidade tão importante quanto seu aspecto sanitário.

Aceita-se perfeitamente que o café tenha cor escura ou que a cerveja tenha espuma, mas essas características visuais-estéticas dessas bebidas não podem ser transpostas para a água de consumo humano. Ela deve ser cristalina, sem cor, sem cheiro e sem sabor. Historicamente, a turbidez, a cor, a espuma e outros aspectos estéticos da água sempre foram associados a uma má qualidade, relacionados à presença de impurezas de origem física, química ou biológica nocivas à saúde humana. Assim, durante muito tempo na história da humanidade, apenas o aspecto visual-estético da água definia se ela estava apta ou não para consumo humano, uma vez que se desconhecia a sua capacidade de transmissão de doenças. Foi somente a partir de 1881 que Kock, Escherich e, principalmente, Pasteur eliminaram as teorias

de geração espontânea e mostraram que muitas doenças provocadas por microrganismos eram transmitidas pela água. Com essas pesquisas, o interesse pela qualidade sanitária da água adquiriu importância e, desde então, técnicas de identificação de contaminação microbológica em amostras de água e métodos de tratamento foram sendo desenvolvidos para que se pudesse garantir, para além da qualidade visual-estética, a qualidade sanitária da água.

A Figura 1 mostra, esquematicamente, como os dois aspectos qualitativos da água são importantes. Geralmente, a qualidade estética é obtida por métodos primários de tratamento, como sedimentação ou filtração. Já para garantir a qualidade sanitária, devem ser empregados métodos de desinfecção que visam a destruição dos microrganismos.

Figura 1 – Ilustração dos aspectos estético e sanitário de qualidade da água.



A água para o consumo humano, cujo uso talvez seja considerado por muitos o mais nobre, na verdade, não é a água que requer a melhor qualidade, tanto estética quanto sanitária. A água destinada a determinados processos industriais – como produção de alimentos e bebidas ou fabricação de medicamentos e fármacos – essa, sim, deve ter qualidade superior àquela distribuída à população para consumo. Dessa forma, padrões de qualidade de água são estabelecidos para determinar as características qualitativas da água para cada uso. Desse modo, os valores máximos permitidos dos diversos parâmetros qualitativos indicam ou auxiliam na escolha dos processos e métodos de tratamento que alcancem a qualidade recomendada da água de acordo com os usos almejados.

O propósito deste livro é apresentar técnicas de tratamento de água apropriadas a pequenas comunidades que, na maioria das vezes, não são atendidas por empresas que tratam e distribuem água para a população. Para isso, será usada a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2014), atualmente em vigência, como referência para comparação dos parâmetros qualitativos, uma vez que se trata de um padrão nacional para água para consumo humano.

A Portaria 2.914 do Ministério da Saúde apresenta uma gama enorme de parâmetros físicos, químicos e biológicos qualitativos, para muitos dos quais se exigem, para sua determinação, laboratórios com equipamento sofisticado e pessoal qualificado para a realização das análises.

Além dos parâmetros qualitativos, com seus valores máximos permitidos, a Portaria apresenta também diversos outros procedimentos, como protocolos de coletas de amostras de água para análises, critérios diferenciados para águas de fontes distintas, procedimentos e competências de controle de vigilância etc.

Numa pequena comunidade afastada de grandes centros urbanos, onde não há recursos técnicos nem financeiros disponíveis para avaliar a qualidade de uma determinada fonte de água a ser distribuída à população, dificilmente a Portaria 2.914 poderá ser plenamente aplicada; e, se o for, não se poderá afirmar com certeza se a água examinada atende ao padrão nacional de qualidade para o consumo humano. Para as regiões carentes de recursos e afastadas dos grandes centros urbanos, é de extrema importância encontrar procedimentos os quais, mesmo que não incorporem, na análise, todos os parâmetros qualitativos ditados pela Portaria 2.914 do Ministério da Saúde, consigam, por meio de soluções simples e viáveis, baseadas em experiências, garantir que a qualidade de uma determinada água seja adequada para o consumo humano sem colocar em risco a saúde da população. Assim, um dos propósitos desta publicação é apresentar tais soluções de forma simples, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida de populações carentes de recursos tecnológicos, como populações ribeirinhas, rurais, quilombolas e indígenas do Brasil.

1.2. HISTÓRICO E GENERALIDADES SOBRE O TRATAMENTO DA ÁGUA

Uma das primeiras referências de que se dispõe na literatura sobre tratamento de água, segundo Haney *et al.* (1974), foi escrita por Aristóteles entre 384 e 322 a.C. e intitula-se *De Generalione Animalium*, na qual o autor descreve processos de filtração de água por vasos porosos realizados pelos povos daquela época. Também há relatos de que ancestrais egípcios já utilizavam processos de tratamento por filtração em série, a fim de purificar a água destinada ao suprimento doméstico.

Por volta do século XVI, sistemas de filtração como método de clarificação da água já eram bem difundidos nos continentes europeu e asiático; no século XVII, outras experiências começaram a ser realizadas em várias partes do mundo, a fim de aperfeiçoar cada vez mais esse processo de tratamento de água.

Os primeiros filtros eram constituídos por pedras porosas e eram especificamente para tratamento de água para uso doméstico. O primeiro filtro de areia foi construído em 1804 por John Gibbs, na Escócia. Mas foi somente em 1828 que os filtros de areia, então construídos por James Simpson, começaram a ser utilizados em grande escala para abastecer a população da cidade de Londres, na Inglaterra, segundo Costa (1980) e Hespanhol (1969). Com esses filtros, Simpson almejava reduzir a turbidez, a fim de melhorar a qualidade estética da água, uma vez que não havia, na época, evidências de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Em 1858, o médico britânico John Snow demonstrou que o cólera – que, naquela época, causava grande epidemia na capital britânica, tendo levado a óbito mais de 600 pessoas em menos de uma semana – era provocado pela água consumida pela população, contaminada por esgoto doméstico. O estudo de Snow deu origem à publicação *On the Mode of Communication of Cholera*, considerado por Ceballos, Daniel e Bastos (2009) o primeiro tratado de epidemiologia. Depois dessa publicação de Snow e das experiências com filtros lentos de areia, conduzidas por Plagge e Proskower, as quais obtiveram redução de 97 a 98% das bactérias da água (COSTA, 1980; HESPANHOL, 1969), a filtração lenta em areia começou a ganhar confiabilidade. Em 1892, contudo, a eficiência da filtração lenta e sua consolidação como método mais eficaz para o tratamento da água foi comprovado com o clássico caso ocorrido

nas cidades vizinhas de Hamburgo e Altona, na Alemanha. Essas duas cidades captavam água do Rio Elba, contudo, enquanto em Hamburgo o tratamento da água consistia apenas numa sedimentação, em Altona a água passava por um sistema de filtração lenta em areia. Uma epidemia de cólera causou, em Hamburgo, 7.500 mortes, mas em Altona nada ocorreu.

No início do século XX, com o advento das técnicas de coagulação química e da cloração – que permitiam o emprego de taxas de filtração mais elevadas nos filtros de areia – surge a filtração rápida. Ela se sobrepôs à filtração lenta por ser um método mais atraente e pujante para acompanhar o desenvolvimento urbano nas grandes cidades, de acordo com Bollmann (1987). Já em 1940, havia nos Estados Unidos aproximadamente 100 instalações de filtração lenta em operação contra 2275 de filtração rápida, conforme afirmavam Logsdon e Fox, citados por Vareche (1989), o que demonstrava a preferência pela tecnologia de tratamento de água pela filtração rápida.

A partir da década de 1950, no entanto, segundo Valenzuela (1991), alguns países da Europa voltaram a atenção à filtração lenta, desta vez procurando uma aplicação racional de uma tecnologia sustentável, simples e eficiente visando o bem estar da população.

Em 1976, representantes da Organização Mundial da Saúde (OMS), Unicef e também de países como Colômbia, Jamaica, Sudão, Índia, Quênia e Tailândia, com a cooperação do **International Water and Sanitation Center** (IRC), formularam um programa de proposições, desenvolvimento e aplicação de tecnologias de tratamento de água apropriadas a países de terceiro mundo. Constataram que todo programa deveria vir acompanhado de guias práticos e do envolvimento da comunidade em todo o processo, assim como deveria ter componentes de participação e de educação ambiental. Além disso, concluíram que a filtração lenta era o método de tratamento mais apropriado para ser empregado em países e regiões de terceiro mundo, menos favorecidas técnica e economicamente (VISSHER *et al.*, 1986). Mais tarde, investigações experimentais realizadas na Colômbia por pesquisadores do CINARA (**Centro Interregional de Abastecimiento y Remoción de Agua**) constataram que a filtração em múltiplas etapas (FIME) – isto é, a filtração lenta precedida por pré-filtros de pedregulho – era a tecnologia mais segura e viável para garantir água de boa qualidade sem risco sanitário a países em desenvolvimento, recomendando fortemente a participação da comunidade para alcançar sucesso no empreendimento.

Com a finalidade de facilitar e tornar menos onerosas as operações de limpeza de um filtro lento, Mbawette *et al.* (1987, 1988, 1990a e 1990b) iniciaram uma investigação experimental com o uso de mantas sintéticas não-tecidas, normalmente fabricadas com fibras de plástico instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos. Com isso, os autores concluíram que a limpeza dos filtros se tornou muito mais fácil, uma vez que bastaria retirar as mantas, lavá-las com água e recolocá-las no filtro. Di Bernardo *et al.* (1990) e, posteriormente, Paterniani (1991), pesquisando o uso de mantas não-tecidas na filtração lenta, concluíram que, devido às características particulares desse tipo de meio filtrante, era possível obter também um aumento significativo na duração da carreira de filtração – o que demonstrava que as mantas não-tecidas eram, portanto, uma alternativa com benefícios também econômicos.

Os resultados do uso de não-tecidos na filtração lenta foram tão promissores que Paterniani e colaboradores (2001, 2001, 2003, 2004 e 2011) continuaram com pesquisas experimentais combinando diferentes tipos e especificações de não-tecidos, substituindo a camada suporte de pedregulho por não-tecido e, mais recentemente, concebendo um filtro lento usando não-tecido como único meio filtrante. Todas essas demonstraram ser técnicas que reduzem consideravelmente a altura do filtro lento, reduzindo, portanto, seu custo de construção.

Considerações mais detalhadas a respeito dos resultados obtidos, bem como critérios de dimensionamento de filtros lentos usando nãotecidos, serão apresentadas em capítulos posteriores deste livro.

Tratar a água consiste, portanto, em realizar uma separação de fases, ou seja, separar os sólidos suspensos ou dissolvidos na água da parte líquida dela mesma. Dessa forma, separando e removendo os sólidos da parte líquida, removem-se partículas de impurezas de origem física, química e biológica que podem ser contaminantes nocivos e indesejáveis ao uso para o qual determinada água será destinada, tornando-a própria ao uso.

Normalmente, existem apenas dois processos usualmente conhecidos que fazem a referida separação de fases: a filtração – cujo histórico de evolução foi descrito nos parágrafos acima – e a sedimentação. Todas as tecnologias e os métodos empregados atualmente para tratar água para consumo humano, uso industrial, uso agrícola etc., derivam desses dois processos. Assim, sistemas de tratamento de água que combinam diferentes processos contendo inovações de métodos e aperfeiçoamentos tecnológicos foram surgindo ao longo do tempo, a partir de distintas pesquisas e experiências, e conduziram a uma variedade de tecnologias de tratamento de água atualmente disponíveis, e cada vez mais eficazes, para realizar a desejada separação de fases.

A sedimentação como processo de tratamento de água consiste na separação das partículas sólidas do meio líquido pela simples ação da gravidade. No entanto, para aumentar a eficiência do processo, empregam-se as técnicas que provocam a formação de flocos, com as partículas sólidas em suspensão na água. Tais flocos, por serem maiores e mais densos do que as partículas sólidas discretas, sedimentam com mais rapidez. Contudo, para a formação desses flocos, são utilizados, normalmente, coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio ou cloreto férrico que, embora eficientes como agentes coagulantes, tornam todo o processo de tratamento da água mais caro por exigirem dispositivos dosadores e pessoal mais qualificado para a operação. Além disso, atualmente, o uso de agentes químicos no tratamento da água tem sido criticado devido à possibilidade de esses elementos químicos deixarem resíduos na água que podem pôr em risco a saúde da população que a consumir.

Em sistemas de tratamento de água para pequenas comunidades, o uso de coagulantes químicos não é recomendado, uma vez que esse uso compromete a sustentabilidade do sistema, pois a comunidade fica dependente da obtenção externa dos produtos coagulantes, bem como de pessoal qualificado para a operação. Nesse contexto, então, a sedimentação como processo de separação de fases só seria viável se fosse realizada com o uso de coagulantes naturais, que pudessem ser produzidos in loco. Di Bernardo (1993) afirma que coagulantes e/ou auxiliares de coagulação de origem orgânica à base de polissacarídeos, proteínas e, principalmente, amidos – entre os quais destacam-se a farinha de mandioca, a araruta e a fécula de batata – têm sido usados nos processos físicos de remoção de sólidos suspensos da água para melhorar a eficiência dos processos e reduzir o uso de coagulantes químicos.

Assim, algumas plantas, como o quiabo; algumas farinhas, como a de mandioca, a de batata e a de araruta; sementes como as de milho e de leguminosas como a moringa; cascas de árvores, como as da Acácia negra; e até quitosana, produzida a partir da quitina encontrada em exoesqueletos de alguns crustáceos marinhos, têm sido utilizadas como coagulantes ou auxiliares de coagulação. O mecanismo de coagulação desses compostos orgânicos e inorgânicos é semelhante ao mecanismo dos polieletrólitos, já que todos eles são dotados de sítios com pontos positivos ou negativos que podem, na presença da água, transformar-se em coagulantes catiônicos ou aniônicos, a depender do saldo das cargas elétricas (RAMOS BORBA, 2001).

Dentre os coagulantes naturais, a *Moringa oleifera*, também conhecida como “lírio branco” ou “quiabo de quina”, tem se destacado por apresentar elevada eficiência. Sua árvore, além de produzir a semente da qual o coagulante é extraído, possui outras diversas utilidades, o que a torna atraente do ponto de vista de agregação de valores numa propriedade rural: suas folhas podem ser consumidas como verduras cruas; suas vagens verdes, como verduras cozidas; e suas sementes maduras podem ser torradas para fabricação de farinha. As propriedades nutricionais da *Moringa oleifera* superam as de diversos alimentos tradicionais: ela possui mais cálcio do que o leite, mais potássio do que a banana, mais vitamina A do que a cenoura e mais vitamina C do que a laranja. Suas sementes também produzem um excelente óleo que pode ser usado na alimentação e para fazer sabão e cosméticos (RAMOS BORBA, 2001).

Estudos realizados por Paterniani *et al.* (2009) mostraram alta eficiência na remoção da turbidez e cor aparente da água – de 95% e 90% em média, respectivamente, nos processos de filtração lenta e sedimentação – tratando água coagulada e floculada com o uso de solução de *Moringa oleifera*. Mais recentemente, Franco (2012), Arantes (2014) e Silva (2013) realizaram diversas pesquisas experimentais utilizando a *Moringa oleifera* como auxiliar da filtração lenta com o propósito de possibilitar o uso de areia mais grossa ou do não tecido com menor gramatura como meio filtrante, reduzindo, assim, a perda de carga hidráulica no filtro e permitindo o emprego de maiores taxas de filtração sem perda da eficiência. Nessas pesquisas, métodos alternativos de aplicação do coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* também foram investigados, como o método de colocar as sementes trituras confinadas em sachês de material poroso, a fim de tornar o processo mais prático. Detalhes dessas pesquisas, resultados obtidos e recomendações de procedimentos sobre o tratamento da água utilizando a *Moringa oleifera* são apresentados em capítulos posteriores deste livro.

No entanto, quando os processos de separação de fases não forem suficientes para tornar a água própria para uso, seja por inviabilidade técnica ou econômica, seja por se tratar de água contaminada com esgoto doméstico, devemos acrescentar processos de desinfecção ao tratamento. Os diversos métodos existentes atualmente para desinfecção da água podem ser térmicos, químicos ou combinados, e não fazem separação de fases, ou seja, não retiram nenhum tipo de contaminante da água; o que visam é à inativação ou à destruição de organismos biológicos de vida aquática que, dependendo do uso a que a água tratada se destina, são indesejáveis devido à eventual patogenicidade que carregam consigo.

Existem relatos de uso de processos de desinfecção da água desde as primeiras civilizações, segundo Laubusch (1971), citado por Meyer (1994). Em 500 a.C., a fervura da água já era recomendada como tratamento, uma vez que naquela época acreditava-se que as doenças eram transmitidas pelo cheiro da água. Não obstante, o uso do cloro para desinfecção da água só começou em 1908, como um método barato e comprovadamente eficaz na eliminação de microrganismos patogênicos. A cloração evoluiu ao longo de décadas, consolidando-se como método para uso em sistemas de tratamento e distribuição de água, em grande parte por ser o único desinfetante que deixa resíduo na água, o que, por sua vez, garante o potencial de desinfecção ao longo de canalizações de abastecimento público. Mas outras formas de desinfecção, tão eficientes quanto a cloração – porém com custo mais alto –, têm sido empregadas em situações específicas, como a radiação ultravioleta e a ozonização.

A ideia de realizar a desinfecção da água utilizando energia solar foi apresentada em 1984 pela UNICEF. Posteriormente, em 1991, pesquisadores do Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG) começaram a desenvolver experimentos no sentido de aperfeiçoar e difundir o método de desinfecção por energia solar, principalmente em comunidades carentes em países de terceiro mundo (WEGELIN, 2002). O método SODIS (*Solar Disinfection*) utiliza garrafas PET expostas ao sol para desinfecção e tem, comprovadamente, contribuído

para a redução dos casos de doenças de veiculação hídrica e mortalidade infantil em países do terceiro mundo, melhorando significativamente a qualidade de vida daquelas populações. Paterniani *et al.* (2005) têm pesquisado formas de adaptar o SODIS à realidade brasileira investigando variações do uso do método e associando-o a outros processos de tratamento de água apropriados a pequenas comunidades. Mais adiante, neste livro, serão apresentados resultados e discussões a respeito dessas pesquisas.

Via de regra, os custos se elevam proporcionalmente ao avanço tecnológico e ao aumento da eficiência dos processos de tratamento de água, bem como ao grau de comprometimento qualitativo da água. Dessa forma, é de suma importância que as tecnologias apropriadas a cada caso sejam estudadas, disponibilizadas e adequadas às necessidades, especificidades e viabilidades de cada situação, sem reduzir a eficiência do tratamento da água.

1.3. CONCEITO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS

O conceito de soluções sustentáveis foi apresentado em 1987 na Assembleia Geral das Nações Unidas, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, quando também se definiu que nenhuma atividade realizada pela atual geração deveria comprometer os recursos naturais ou as condições ambientais para as futuras gerações. Por outro lado, e em contraponto, o DAC (Development Assistance Committee) da OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) – um fórum de discussão internacional com a participação de 20 países que visa promover programas de participação de países em desenvolvimento na economia mundial – estabelece que soluções sustentáveis são aquelas que permitem o desenvolvimento de uma atividade por um longo período de tempo após o término de apoio financeiro, técnico e administrativo por parte de um agente externo.

Considerando essa definição do DAC-OECD, uma atividade que se mantém por anos sem a dependência de suporte externo, mesmo comprometendo o meio ambiente, é sustentável. De acordo com a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, não é. Assim, para que, por exemplo, a implantação de um programa de tratamento e abastecimento de água em uma comunidade seja bem-sucedida, devemos considerar ambas as diretrizes e assegurar que subprodutos utilizados ou gerados pelo tratamento não contaminem o meio ambiente.

A participação da comunidade, principalmente por meio de bases comunitárias, em programas de saneamento básico – na implantação de um sistema de tratamento de água; de tratamento de esgoto; na coleta, reciclagem e disposição adequadas de resíduos sólidos etc. – deve sempre ser considerada como fundamental para o sucesso do empreendimento. Dessa forma, recomenda-se avaliar muito bem as condições locais, não somente em termos geográficos e de disponibilidade de recursos naturais, mas também considerar a cultura, os costumes, as crenças, o nível de conhecimento, as condições econômicas etc. da população local. Galvis *et al.* (1997) afirmam que o Cinara – IRC considera, portanto, que um sistema de tratamento e abastecimento de água é sustentável quando: i) promove um serviço eficiente e confiável a um nível desejado, ii) pode ser financiado pelos próprios usuários com um mínimo de suporte externo, tanto financeiro quanto de assistência técnica, iii) é usado de maneira eficiente sem afetar negativamente o meio ambiente. Assim, a definição de soluções sustentáveis para um programa de abastecimento de água para pequenas comunidades pode então ser entendida como o encontro de três estratégias fundamentais – os recursos do meio ambiente; a comunidade e seus interesses; os recursos da ciência e da tecnologia – suportado pelas estruturas políticas, socioeconômicas e legais. A Figura 2 apresenta esquematicamente as relações entre as três estratégias e seus desdobramentos num contexto sustentável.