

Reúso Potável de Água na Região Metropolitana de São Paulo e em outros Países

Ivanildo Hespagnol, Ph.D.
Professor Titular da Escola Politécnica da USP
Diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água-CIRRA/IRCWR/USP
e

Mata Machado, Paulo Afonso da
Engenheiro Civil e Sanitarista, MS in Environmental Science and Engineering

1. O cenário

A Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, se situa nas cabeceiras do rio Tietê, cuja disponibilidade hídrica é insuficiente para o abastecimento de sua população, estimada em cerca de 20 milhões de habitantes e o consumo industrial de um gigantesco parque industrial. Por isso, necessita importar água de outras bacias hidrográficas, destacando-se a reversão de aproximadamente 30 m³/s da bacia do PCJ (Piracicaba, Capivarí e Jundiá).

A cultura de importação de água de bacias distantes para satisfazer o crescimento da demanda remonta a mais de dois mil anos. Os romanos, que praticavam uso intensivo de água para abastecimento domiciliar e de suas termas, procuravam, de início, captar água de mananciais disponíveis nas proximidades. À medida que estes se tornavam poluídos pelos esgotos dispostos sem nenhum tratamento ou ficavam incapazes de atender à demanda, os romanos passavam a aproveitar a segunda fonte mais próxima e, assim, sucessivamente. Essa prática deu origem à construção dos grandes aquedutos romanos, dos quais existem, ainda, algumas ruínas, em diversas partes do mundo. (Hespagnol, 2008)

Tal sistemática foi e é irracional, pois resolve, precariamente, o problema de abastecimento de água em uma região em detrimento daquela que a fornece. Há, portanto, necessidade de se adotar novo paradigma que substitua a versão romana de transportar grandes volumes de água de bacias cada vez mais longínquas.

A Agência Nacional de Águas e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2017) reportam que 43% da população brasileira possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado. Dizem também que 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário.

Na RMSP, a situação não difere muito. Seu consumo atual de cerca de 80 m³/s gera, aproximadamente, 64 m³/s de esgoto. Como a capacidade instalada de tratamento na região é de apenas 16 m³/s, o esgoto bruto remanescente, isto é, 48 m³/s são despejados sem nenhum tratamento. Desse modo, a importação de água para a RMSP somente vai aumentar o problema do descarte de esgoto em corpos de água adjacentes, tornando-os cada vez mais poluídos.

Está em fase de projeto executivo a captação de água junto ao reservatório Cachoeira do França, no rio São Lourenço, Alto Juquiá, para uma produção média de 4,7 m³/s, desconsiderando a vazão de esgoto a ser gerado por essa nova adução, de aproximadamente 3,8 m³/s, os quais, certamente, serão dispostos nos já poluídos corpos hídricos da RMSP.

Além disso, o projeto envolve sistemas convencionais de tratamento, que já estão ultrapassados, e não tem viabilidade econômica, pois as linhas de água bruta e de água tratada somam, aproximadamente, 100 quilômetros, atingindo a região metropolitana de São Paulo após um recalque superior a 300 metros, demandando investimento de cerca de 2,2 bilhões de reais. (Sabesp, 2011)

2. Sustentabilidade de sistemas de abastecimento de água

Sustentabilidade é um conceito técnico/filosófico genérico que não tem, isoladamente, significado prático e não pode ser avaliado em termos quantitativos.

Em se tratando de sistemas de abastecimento de água, para avaliar sua sustentabilidade, há necessidade de se considerar algumas variáveis sistêmicas. A sustentabilidade, nesse caso, deve ser visualizada como a probabilidade pela qual um sistema de abastecimento de água pode, permanentemente, suprir a demanda em condições satisfatórias. As variáveis mais importantes, que estabelecem, ou não, uma condição de sustentabilidade são: (Hashimoto et al, 1982)

- (i) robustez, refletindo desempenho consistente e capacidade de atender a uma demanda crescente, mesmo em condições de diversos tipos de estresses;
- (ii) resiliência, a habilidade do sistema de recuperar seu estado satisfatório após sofrer impactos negativos, como, por exemplo, a perda de capacidade de atendimento de fontes de abastecimento; e
- (iii) vulnerabilidade, a magnitude da falha de um sistema de abastecimento.

Sistemas como o que abastece a RMSP, não são, portanto, sustentáveis, porque são pouco robustos, possuem resiliência praticamente nula e são extremamente vulneráveis, uma vez que permanecem na dependência de recursos oriundos de bacias que, por sua vez, também estão submetidas a condições extremas de estresse hídrico.

3. Reúso de Água e Sustentabilidade

A solução moderna e sustentável que potencializa significativamente a robustez e a resiliência do sistema de abastecimento de água da RMSP consiste em se tratar e reusar, para finalidades diversas, os esgotos já disponíveis no planalto em que a região se localiza, inclusive para complementação do abastecimento público.

4. A importância do reúso potável da água

A falta de recursos hídricos e o aumento dos conflitos pelo uso da água gerou a emergência da conservação e do tratamento e reúso como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, inclui a preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais. (Asano, 2007)

Nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos buscam novas fontes de recursos para atender às demandas crescentes, principalmente dos setores domésticos e industriais. No polígono das secas do nosso nordeste, a dimensão do problema é tamanha que resultou na transposição de águas do rio São Francisco, visando ao atendimento da demanda de estados da região semiárida situados ao norte e a leste de sua bacia de drenagem.

Diversos países do Oriente Médio, onde a precipitação média oscila entre 100 e 200 mm por ano, dependem de alguns poucos rios perenes e de pequenos reservatórios de água subterrânea, geralmente localizados em regiões montanhosas, de difícil acesso. Em muitos desses países, a água potável é proporcionada através de sistemas de dessalinização da água do mar e, devido à impossibilidade de se manter uma agricultura irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos é satisfeita através da importação de produtos alimentícios básicos. (Hespanhol, 1999)

Entretanto, a prática de reúso de água não é aplicável exclusivamente a regiões áridas e semiáridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. O Alto Tietê, por sua condição característica de manancial de cabeceira, apresenta vazão garantida de apenas 14,0 m³/s, (Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2009) e, por isso, sua bacia é considerada crítica em relação a disponibilidade hídrica superficial, de vez que as demandas suplantam a capacidade disponível e somente são atendidas pela regularização e importação de água. (Borges, L. A., 2009)

Antevendo, precocemente, a necessidade de se modificar políticas ortodoxas de gestão de recursos hídricos, principalmente em áreas carentes, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas propôs, em 1958, que, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que tolerem águas de qualidade inferior”. (Hespanhol, 2000)

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, águas de lavagem de filtros de sistemas de tratamento de água, efluentes industriais, águas de drenagem agrícola e águas salobras eram consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. Hoje, com o uso de tecnologias apropriadas, a Organização Mundial de Saúde (2017) considera que da água dessas fontes podem abandonar sua condição de qualidade inferior para se transformar em água potável e, portanto, uma solução sustentável será a de tratar e reusar os esgotos já disponíveis nas áreas urbanas para complementar o abastecimento público.

Portanto, numa primeira etapa, a proposta de reutilização dos esgotos se desenvolveu em termos de reúso para demandas urbanas não potáveis. Posteriormente, essa proposta se ampliou no sentido de se adotar o reúso para fins potáveis. Esse conceito, além de se constituir em solução econômica e ambientalmente correta, proporciona água segura, o que não é, atualmente, garantido por sistemas convencionais de tratamento que tratam águas provenientes de mananciais extremamente poluídos, inclusive com poluentes emergentes. De acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2017), mais de 110 mil km de trechos de rio estão com a qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, sendo que, em 83.450 km, não é mais permitida a captação para abastecimento público devido à poluição e, em 27.040 km, a captação pode ser feita, mas requer tratamento avançado. As tecnologias de tratamento e de certificação da qualidade da água disponíveis permitem que mananciais desprotegidos, mesmo os considerados inaproveitáveis pela Agência Nacional de Águas, possam fornecer água para estações de reúso potável.

5. Sistemas de Reúso Potável (Hespanhol, 2014)

Sistemas de reúso potável podem ser concebidos como Reúso Potável Indireto Não Planejado (RPINP), Reúso Potável Indireto Planejado (RPIP) e Reúso Potável Direto (RPD).

5.1. Reúso potável indireto não planejado (RPINP)

Sistemas de reúso indireto não planejado e, na grande maioria das vezes, inconscientes, são praticados extensivamente no Brasil. Exemplos típicos são os lançamentos de esgotos (tratados ou não) e a coleta a jusante, para tratamento e abastecimento público, praticada em cadeia por diversos municípios ao longo do rio Tietê e do rio Paraíba do Sul. Na RMSP, a reversão do corpo central e do braço do Taquacetuba do reservatório Billings para o reservatório Guarapiranga constitui-se em um sistema de RPINP, pois não foi concebido dentro de critérios vinculados às práticas de reúso, de vez que as águas coletadas do reservatório Guarapiranga, após a reversão do reservatório Billings, passam por um sistema convencional de tratamento na ETA do Alto da Boa Vista. É preciso que o órgão regulador atente para os problemas ambientais e de saúde pública causados por essa sequência de lançamentos de esgoto bruto e de captação imediatamente a jusante para abastecimento público de água.

Um esquema ilustrativo de sistema de RPINP é mostrado na Figura 1, em que o esgoto tratado no município de montante é descarregado no mesmo corpo hídrico em que o município de jusante capta água para seu consumo.

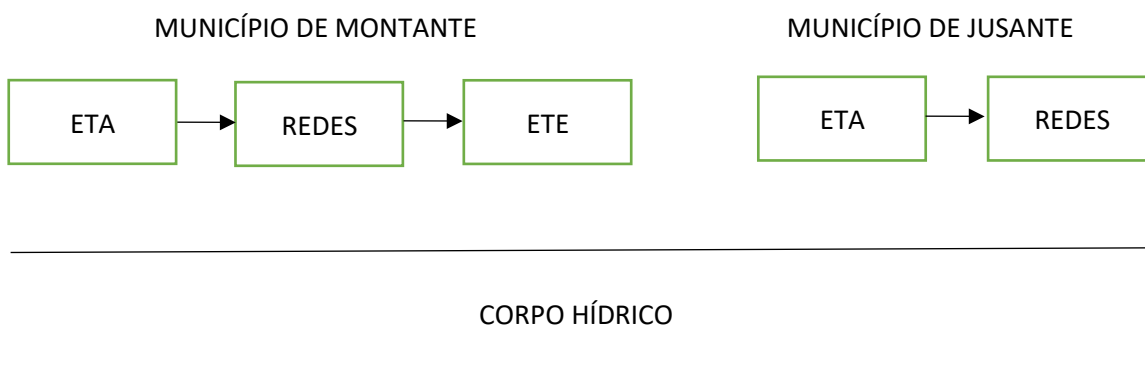


Figura 1 – Cenário típico de sistemas de RPINP efetuados em série

5.2. Reúso potável indireto planejado (RPIP)

Conceitualmente, o reúso potável indireto planejado, como mostrado esquematicamente na Figura 2, deve ser constituído por um sistema secundário de tratamento de esgotos, geralmente de lodos. O efluente deve passar por tratamento avançado e, em seguida, por filtração por membranas. Ultimamente, têm sido usados sistemas de biorreator de membranas (MBR, da sigla em inglês “Membrane Bio Reactor”). A seguir, o efluente pode necessitar de uma remineralização caso as membranas utilizadas tenham poros diminutos e, em seguida, é feito o lançamento em um corpo receptor, superficial ou subterrâneo, designado atenuador ambiental – AA.

Os atenuadores ambientais podem ser corpos hídricos naturais, como aquíferos confinados ou corpos receptores naturais, sejam rios, lagos ou reservatórios construídos (para regularização de vazões, tomada de água, geração de energia elétrica ou usos múltiplos), nos quais os esgotos tratados são lançados e posteriormente captados para reúso indireto. São as seguintes as ações dos AA:

- diluem e estabilizam os contaminantes ainda existentes no efluente tratado;

- proporcionam barreira adicional de tratamento para organismos patogênicos e elementos traços remanescentes, através de sistemas naturais, estimando-se que cada mês de retenção proporciona a redução de uma ordem de magnitude de 99% de vírus;
- fornecem tempo de resposta em caso de mau funcionamento do sistema avançado de tratamento;
- permitem a percepção pública da melhora na qualidade da água;
- esclarecem o público consumidor da diferença entre esgoto e água potável.

A legislação do estado da Califórnia estabelece o tempo mínimo de 6 meses de retenção de esgoto nos aquíferos. Nesse caso, considerando-se a hipótese de redução de 99% de vírus em cada mês em que o esgoto fica retido no subsolo, o esgoto sai com redução de vírus de 99,9999999999%.

No Brasil, não existe legislação que permita lançar esgoto, tratado ou não, em nossos mananciais subterrâneos. Contudo, reduções desse valor podem ser obtidas com filtração em membranas. As membranas de ultrafiltração têm abertura de poros de 0,01 μm e, por isso, são capazes de reter quaisquer vírus, cujas dimensões, evidenciadas por estudos eletromicroscópicos, foram medidas entre 0,01 a 0,35 μm , com seu comprimento chegando a 2 μm .

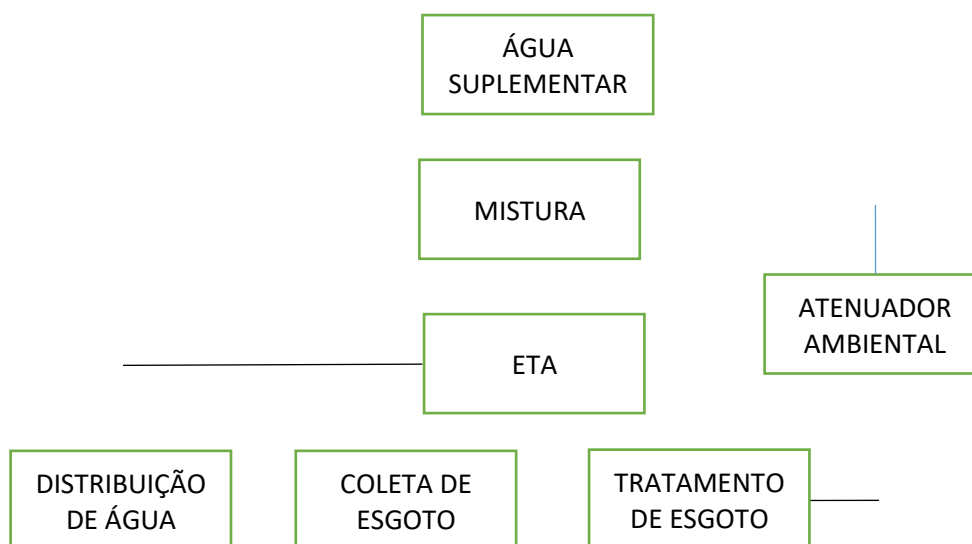


Figura 2 – Esquema básico de um sistema de RPIP

Exemplo de um sistema de RPIP é o administrado pela Companhia Intermunicipal de Água Veurne- Ambacht - IWVA, em Koksijde, que se situa no extremo norte da Bélgica, em operação desde julho de 2002. A ETE de Wulpen, constituída por um sistema de lodos ativados, foi construída em 1987 e reformada em 1994 para proporcionar remoção de nutrientes. O efluente da ETE Wulpen é encaminhado à Estação de Tratamento Avançado de Torrelee, onde passa por unidades de ultrafiltração (ZeeWeed, ZW 500C da Zenon) e, em seguida, por unidades de osmose reversa (30LE-440 da Dow Chemical). O efluente da ETA de Torrelee é levado por uma adutora de aproximadamente 2,5 quilômetros até um aquífero arenoso em Saint André, com o objetivo de se remover organismos patogênicos e traços de produtos químicos que possam ter ultrapassado a barreira de osmose reversa, embora análises efetuadas em 2007 nos efluentes do sistema de osmose reversa tenham indicado a ausência de produtos farmacêuticos quimicamente ativos e de disruptores endócrinos acima dos limites

de detecção de 0,5 a 10 ng/L. A água é recuperada através de 112 poços a distâncias variando entre 33 e 153 m do ponto de intrusão no solo, a profundidades variando entre 8 e 12 metros. O monitoramento efetuado tem mostrado que a água recuperada atende a todos os padrões de potabilidade. (Van Houtte & Verbauwhe, 2008 e Vandenbohede et al, 2008)

Um dos maiores e mais conhecidos sistemas de reúso potável indireto planejado é o de Orange County, situado em Fountain Valley, na Califórnia. O efluente da ETE do Orange County Sanitation District é encaminhado, sem desinfecção, à estação de tratamento avançado do Water Factory 21, pertencente ao Orange County Water District, cuja produção é de aproximadamente 82 milhões de metros cúbicos por ano. O sistema antigo de tratamento, que era composto de sistema de coagulação/floculação com cal, extração de amônia, recarbonatação, filtração, adsorção em carvão ativado, desinfecção e osmose reversa, (Tchobanoglous & Burton, 1991) foi substituído, a partir de 2008 e após extensivos estudos pilotos, pelo sistema apresentado na Figura 3. Parte da água produzida é dirigida às bacias de infiltração de Kraemmer e Miller e parte aos poços de injeção, utilizados para evitar a penetração da cunha salina no aquífero costeiro, ao longo da Ellis Avenue.

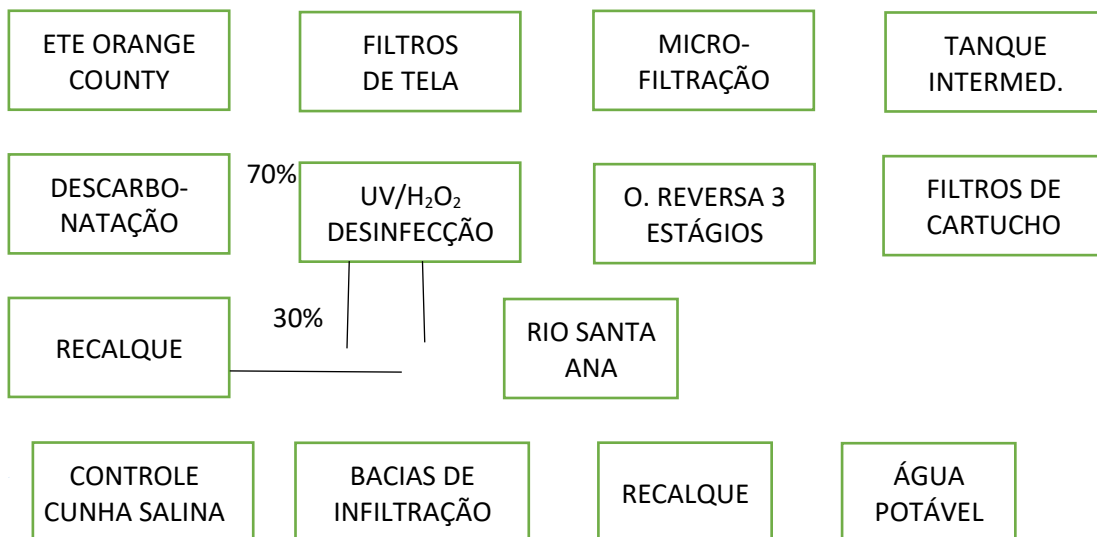


Figura 3 – Sistema de RPIP em Orange County Water District, Fountain Valley, CA

A implantação do reúso potável indireto planejado no Brasil não deve ocorrer a curto prazo pelas seguintes razões:

- Os corpos receptores superficiais, que poderiam operar como atenuadores ambientais, são, geralmente, poluídos e, ao invés de efetuar tratamento adicional nos efluentes de processos avançados de tratamento, fariam o contrário, contaminando esses efluentes.
- Devido à alta capacidade hídrica de nossos aquíferos subterrâneos, como o Guarani e o Sistema Aquífero Grande Amazônia (o maior do planeta em volume de água retida), há relutância em se admitir normas que permitam a recarga desses aquíferos por esgotos, tratados ou não.
- Efluentes lançados em corpos receptores, superficiais ou subterrâneos, não passam automaticamente ao domínio das entidades ou companhias de saneamento que procedem ao tratamento e à respectiva descarga, inibindo essas companhias de fazerem investimentos adicionais.

Por isso, não há previsão de implantação de sistemas RPIP a curto prazo no Brasil. No futuro, talvez seja possível que tal modalidade venha a ser implantada. Para isso, é preciso que haja legislação e controle sobre a recarga de aquíferos. Com relação ao lançamento de esgotos em águas superficiais, há resolução do CONAMA que estipula os limites de concentração de certos parâmetros no efluente descartado, mas essa resolução é raramente cumprida.

5.3. Reúso Potável Direto (RPD)

5.3.1 – Primeiras estações de RPD

O reúso potável direto consiste no tratamento avançado de efluentes domésticos e sua introdução em uma ETA, cujo efluente adentre, diretamente, um sistema público de distribuição de água, sem que ocorra a passagem através de atenuadores ambientais, sejam superficiais ou subterrâneos.

Nas primeiras estações de reúso potável, o esgoto, após tratamento avançado, é introduzido em uma ETA ou em um reservatório de mistura a montante desta, para se juntar à vazão suplementar antes do tratamento conjunto na ETA. Nesse modelo, a água suplementar não passa por tratamento algum que não seja o convencional. Posteriormente, com a descoberta dos poluentes emergentes e a verificação de que o tratamento convencional das águas superficiais nem sempre é suficiente, optou-se pelo tratamento conjunto do esgoto e da água suplementar.

No Brasil, em que a captação de água superficial para ser potabilizada implica, geralmente, na realização de um RPINP, esse tipo de tratamento, conforme apresentado esquematicamente na Figura 4, não é aconselhável.

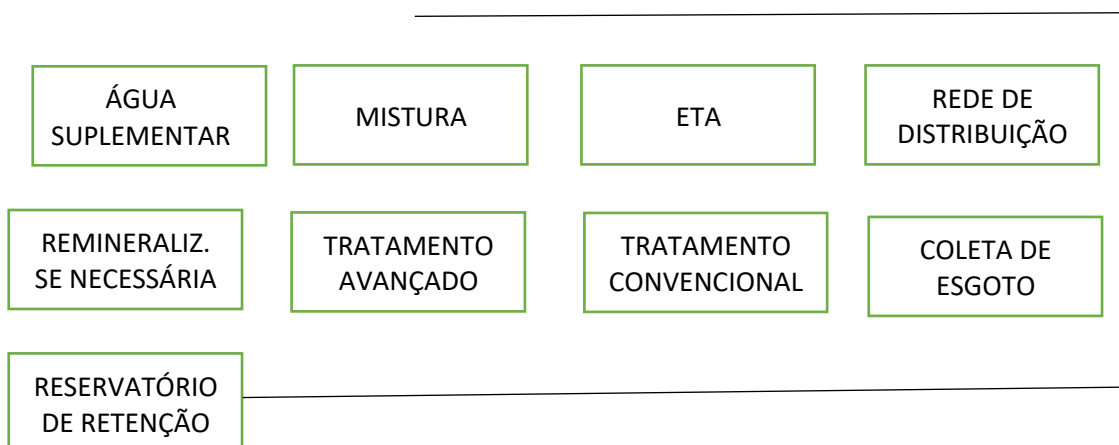


Figura 4 – Reúso potável direto em que a água suplementar somente é tratada na ETA. No Brasil, como as águas superficiais são, em geral, poluídas, esse tipo de tratamento não é aconselhável.

5.3.2 – Estação de potabilização de esgoto (EPE)

Considerando a necessidade do uso de água suplementar para completar o abastecimento humano e considerando que a captação de água bruta para potabilização é feita, geralmente de mananciais superficiais, muitas vezes excessivamente poluídos, o esquema apresentado na Figura 4 não é aplicável nas regiões populosas do País. Recomenda-se, portanto, que, ao se

adotar o RPD no Brasil, a água suplementar passe pelo mesmo tratamento dispensado ao esgoto.

A grande vantagem de se fazer o tratamento conjunto do esgoto e da água suplementar é que o tratamento se realiza em uma estação. A Organização Mundial de Saúde (2017) esclarece que, se o tratamento de água for feito por uma companhia e o tratamento de esgoto por outra companhia ou ambos sejam feitos por setores distintos da mesma companhia, será necessário um órgão fiscalizador para que o produto final não fique comprometido.

O tratamento conjunto em uma única estação de potabilização de esgoto (EPE) traz também benefícios de ordem econômica, pois evita a dispersão de recursos por mais de uma unidade de tratamento.

A Figura 5 apresenta um fluxograma típico de uma estação de potabilização de esgoto:

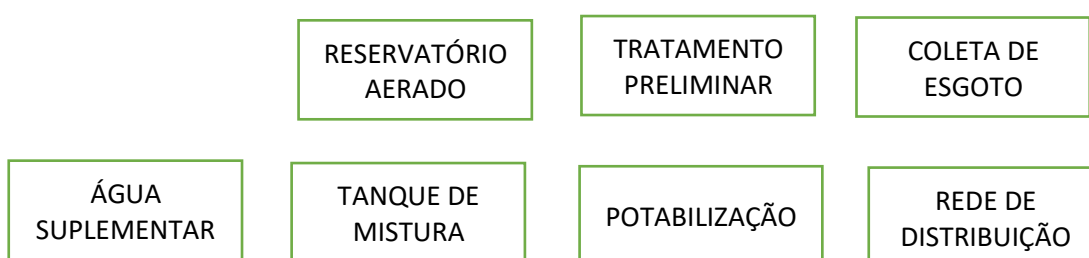


Figura 5 – Fluxograma típico de uma EPE. A água suplementar, passando por todas as unidades de tratamento a partir do tanque de mistura, garante sua qualidade.

Por se tornar matéria prima para a obtenção de água potável, o descarte do esgoto sem tratamento passa a ser uma perda. Desse modo, uma EPE estimula a coleta do esgoto da forma mais abrangente possível, pois quanto maior for o percentual de esgoto coletado, maior será o grau de independência do sistema em relação às variações de clima.

Sabendo-se que as águas servidas carregam lixo e areia, o tratamento preliminar é indispensável antes de o esgoto ser lançado no reservatório aerado. O material sólido recolhido no tratamento preliminar deve ser encaminhado a um aterro sanitário.

Após passar pelo tratamento preliminar, o esgoto segue para o reservatório aerado, cujo objetivo básico é o de uniformizá-lo antes de misturá-lo à água suplementar. A aeração é necessária para evitar mau cheiro. O tempo de detenção no reservatório aerado deve ser, no máximo, de meia hora para a vazão máxima de entrada, pois quanto maior for esse tempo de detenção, maior será o consumo de matéria orgânica, a qual é necessária em fases diversas do tratamento.

Mesmo com alto percentual de esgoto coletado, este nunca atingirá 100% da água distribuída. Diante disso, torna-se necessário um reservatório para receber água de fora do sistema para suplementar a demanda. O reservatório de água suplementar deve conter mecanismos hidráulicos capazes de efetuar descargas rápidas, quando necessário, e deve dispor de sistemas de controle que permitam mensurar as vazões de entrada e de saída.

Os efluentes do reservatório aerado e do reservatório de água suplementar devem ir para um tanque de mistura, que deve dispor de instalações para amostragem e monitoramento. O tanque de mistura tem capacidade para reter o líquido durante períodos curtos para

manutenção de unidades do sistema, mas como esse tempo de detenção deve ser curto, não devendo ultrapassar 30 minutos para a vazão máxima, para que não haja consumo excessivo de matéria orgânica, cada unidade do sistema deve ser dotada de “by pass” para que o tratamento tenha continuidade mesmo com uma ou mais unidades fora de operação. Nesse caso, o produto final deve ser descartado se não atender aos requisitos de certificação de água potável.

Após concluída a potabilização conjunta do esgoto e da água suplementar, o efluente da estação deve ir para a rede de distribuição. Se a cidade já tiver rede de distribuição de água, poderá ser utilizada essa rede, o que é uma grande vantagem sobre o reúso não potável do esgoto.

6. A experiência mundial em reúso potável direto

Existe uma significativa quantidade de sistemas de reúso potável direto, tanto experimentais como em operação, implantados em diversos estados americanos, na África do Sul, na Austrália, na Bélgica, na Namíbia e em Singapura, sem que problemas de saúde pública associados tenham sido detectados. Alguns desses exemplos são mostrados abaixo.

6.1 – Windhoek, Namíbia

O município de Windhoek, com aproximadamente 250.000 habitantes (censo de 2001), está situado na Namíbia, sudoeste da África, ao sul do deserto de Saara. O reúso potável direto vem sendo praticado há mais de quarenta anos, sem que problemas de saúde pública devidos à água potável tenham sido identificados. (Van der Merwe et al, 2008) Além de um completo sistema de monitoramento da qualidade da água, é utilizado o princípio de pontos críticos de controle, (Damikouka et al, 2007; ABNT, 2002) o que traz maior segurança de saúde pública aos usuários do sistema.

O esquema do sistema avançado atual da ETA de Goreangab, após sua última ampliação, efetuada em 1997, continua mantendo o reúso potável direto, como mostrado na Figura 6.

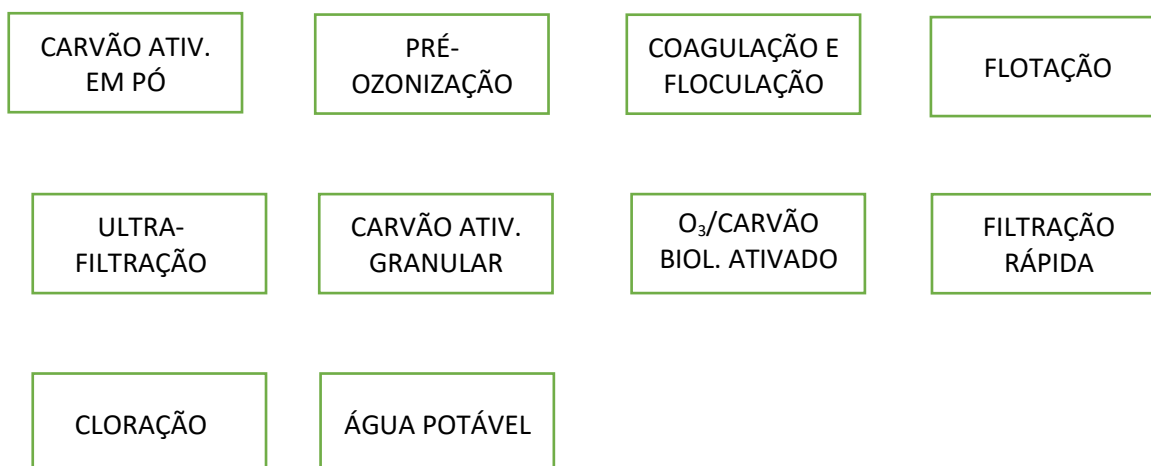


Figura 6 – Estação de tratamento de Goreangab em Windhoek, Namíbia, para reúso potável direto (remodelada em 1997)

Observe-se que o tratamento avançado por ozonização e carvão biologicamente ativado é precedido, dentre outros, por uma filtração rápida. Os fabricantes de aparelhos de ozonização especificam parâmetros de qualidade da água a ser ozonizada.

6.2 – Denver, Colorado, Estados Unidos

O projeto experimental de RPD da cidade de Denver operou no período 1985 a 1992 e teve, com principal objetivo, avaliar os problemas potenciais de saúde pública que poderiam ocorrer. O sistema, alimentado com esgotos secundários sem desinfecção, foi projetado dentro do conceito de barreiras múltiplas montadas em linhas paralelas para permitir manutenção adequada e dar continuidade à operação quando de eventuais falhas em processos e operações unitárias (Figura 7).

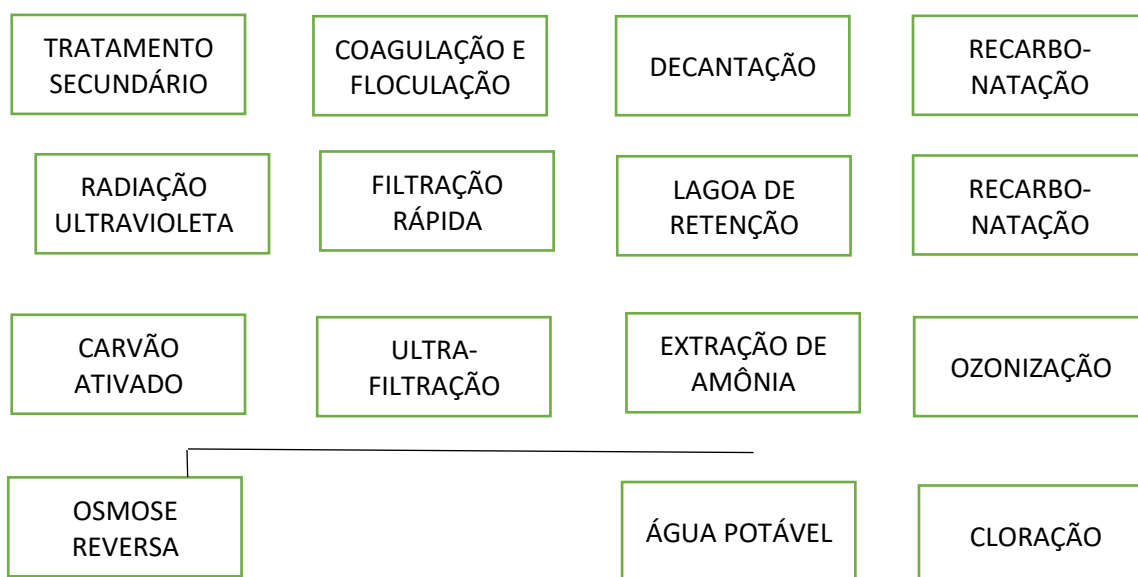


Figura 7 – Estação experimental de RPD em Denver, Califórnia

Foi efetuado extensivo monitoramento da qualidade da água produzida, com utilização de amostras compostas em períodos de 24 horas para avaliação de todas as variáveis de qualidade regulamentadas à época. Embora no período dos testes ainda não se tivesse conhecimento de poluentes emergentes, hoje encontrados em mananciais em diversas partes do planeta, a pesquisa evidenciou que a água produzida apresentava qualidade semelhante à água potável distribuída em Denver e atendia a todos os padrões de qualidade preconizados pela Environmental Protection Agency (EPA), pela Comunidade Europeia e pela OMS. (Asano et al, 2007)

Cabem algumas observações com relação ao fluxograma mostrado na Figura 7. O esgoto, após tratamento secundário, passa por coagulação e floculação, em que há inserção de produtos químicos que tornam necessária a recarbonatação. A coágulo-floculação, seguida da recarbonatação, requer mão de obra especializada, o que, no Brasil, nem sempre se encontra disponível, particularmente nas pequenas cidades.

O lançamento do líquido na lagoa de retenção antes de passar pela filtração rápida pode fazer com que essa lagoa, ao longo do tempo, vá acumulando lodo no fundo. O ideal seria fazer a retenção na lagoa em seguida à filtração rápida.

É importante observar que a estação pode usar dois tipos diferentes de filtração por membrana (ultrafiltração e osmose reversa) sem ser observada diferença significativa na qualidade do efluente por um ou por outro tratamento.

6.3 – Cloudcroft, New Mexico, Estados Unidos

A pequena vila de Cloudcroft se localiza no estado de New México, ao sul do município de Albuquerque. Tem uma população de aproximadamente 850 habitantes, que cresce para mais de 2000 durante fins de semana e feriados. Nessas ocasiões, a demanda de água passa de aproximadamente 680 m³/dia para um pico próximo a 1.360 m³/dia. Visando a eliminar o transporte de água através de caminhões pipa durante os picos de consumo, a comunidade decidiu aumentar sua disponibilidade através de um sistema de RPD, utilizando os esgotos domésticos produzidos localmente. O sistema de tratamento adotado, mostrado na Figura 8, contém, em uma primeira fase, reator MBR para tratamento secundário dos esgotos, desinfecção, osmose reversa e um sistema POA. O efluente desse sistema recebe aproximadamente 51% (do total produzido) de água bruta oriunda de águas superficiais e de fontes subterrâneas locais. A mistura é mantida em um reservatório durante aproximadamente duas semanas, passando, em seguida, por uma segunda bateria de unidades de tratamento, incluindo ultrafiltração, desinfecção por radiação ultravioleta, carvão ativado e desinfecção final com cloro. (adaptado de Tchobanoglous et al, 2011)

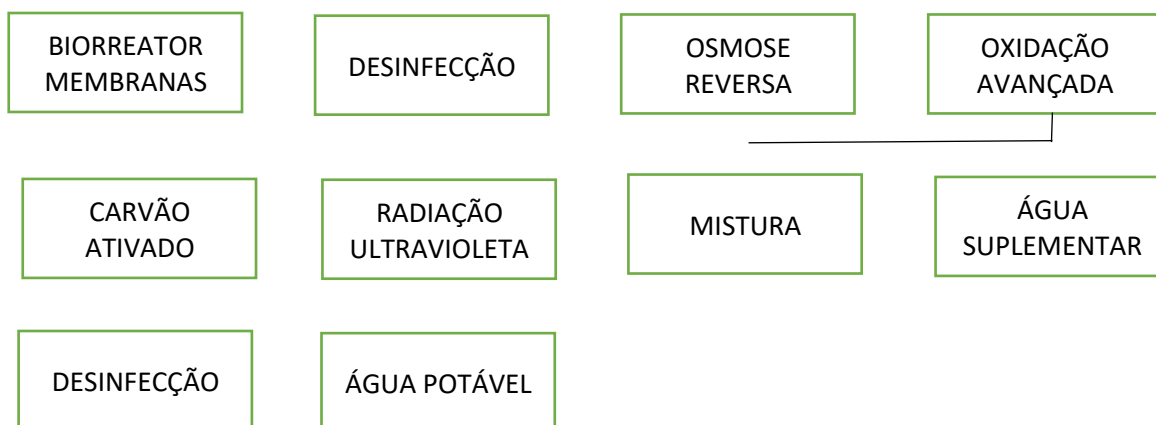


Figura 8 – Sistema de RPD de Cloudcroft, New Mexico

Se o sistema feito em Cloudcroft tivesse sido feito no Brasil, necessitaria de alguns reparos.

Um biorreator é eficiente na remoção de sólidos e de organismos patogênicos. Após passar pelo biorreator, o líquido passa por osmose reversa, que produz excessiva retirada de minerais. Como não há remineralização, é necessário alto percentual de água suplementar (51% do total) para que a água adquira condições palatáveis. O percentual de água suplementar deve ser apenas o suficiente para atender à demanda por água potável. Para dar maior flexibilidade ao sistema, deveria ser testada a remoção da osmose reversa, cabendo à oxidação avançada a degradação da matéria orgânica remanescente.

Após a oxidação avançada, a única barreira aos nitratos é o carvão ativado. Seria prudente a colocação de uma unidade de desnitrificação.

Deve ser observado, também, que a água suplementar somente recebe os seguintes tratamentos: radiação ultravioleta, carvão ativado e desinfecção, que, no Brasil, seriam insuficientes para tratar um manancial superficial.

6.4 – Big Springs, Texas, Estados Unidos

Embora o reúso de água tenha sido praticado na região desde há muito tempo, o Colorado River Water District, que abastece várias comunidades da região, tomou, recentemente, a decisão de reciclar 100% da água, durante 100% do tempo. Trata-se de um sistema de RPD.

O primeiro projeto de reúso associado a essa diretriz foi o de Big Springs, que está, ainda, em fase de implementação. Conforme mostrado na Figura 9, o efluente do sistema convencional de lodos ativados existente recebe cloro, passa por um filtro de areia e por descloração. Passa, em seguida, por um sistema de tratamento avançado, constituído de microfiltração, osmose reversa e por um sistema de POA. O efluente purificado através desse sistema é encaminhado a um reservatório de mistura com água bruta proveniente do reservatório Spencer e do reservatório Thomas. A água é, finalmente, captada no reservatório de mistura, passando, em seguida, por um sistema de tratamento físico-químico constituído de coagulação/floculação/sedimentação, filtração e desinfecção com cloro. O efluente desse sistema adentra, diretamente, o sistema de distribuição de água de Big Springs. (adaptado de Tchobanoglous et al, 2011)

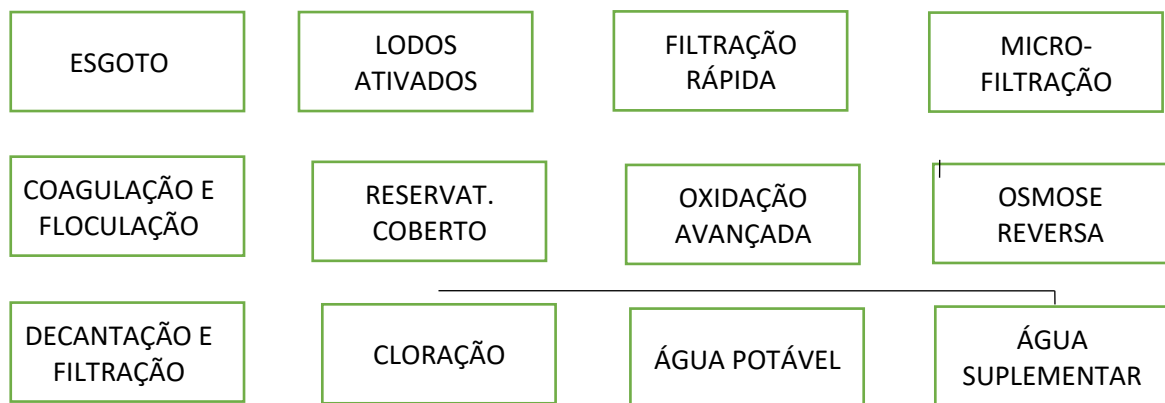


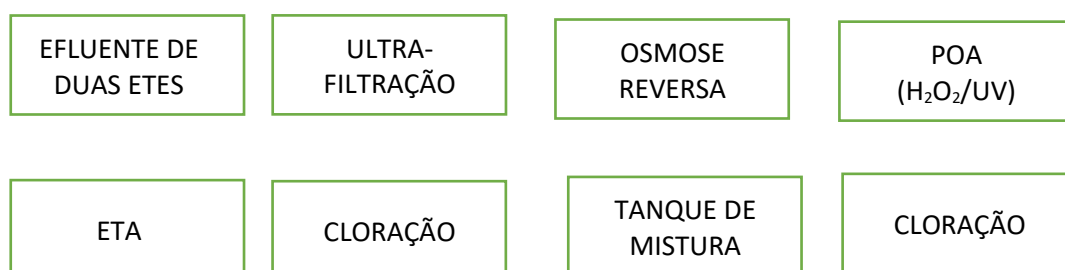
Figura 9 – Sistema de RPD de Big Springs Texas

Trata-se de um sistema montado a partir de uma ETE e de uma ETA individuais. A ETE vai até a oxidação avançada e a ETA vai da coagulação e floculação até a cloração.

Quando a ETE foi remodelada para permitir a reciclagem de 100% de água, deveria ter sido feito com que a água suplementar se juntasse ao esgoto para tratamento conjunto, dispensando-se a coagulação, a floculação, a decantação e a nova filtração.

6.5 – Beaufort West, África do Sul

A estação de tratamento avançado de Beaufort West recebe efluentes das ETEs Northern e Kwa Mashu, tratados por sistemas terciários convencionais. Foi dimensionada para uma vazão de 2.100 m³/dia. (ATSE, 2013) O sistema, composto de ultrafiltração, osmose reversa, processo oxidativo avançado (peróxido de hidrogênio e UV) e desinfecção por cloro, produzirá 1.000 m³/dia, que serão mesclados com água tratada pela ETA local de 4.000 m³/dia, levando, portanto, à vazão total de 5.000 m³/dia. (Figura 10)



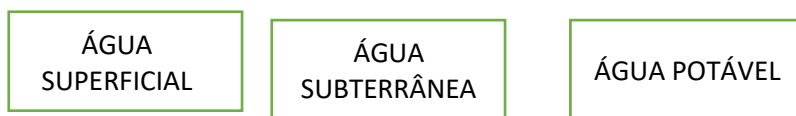


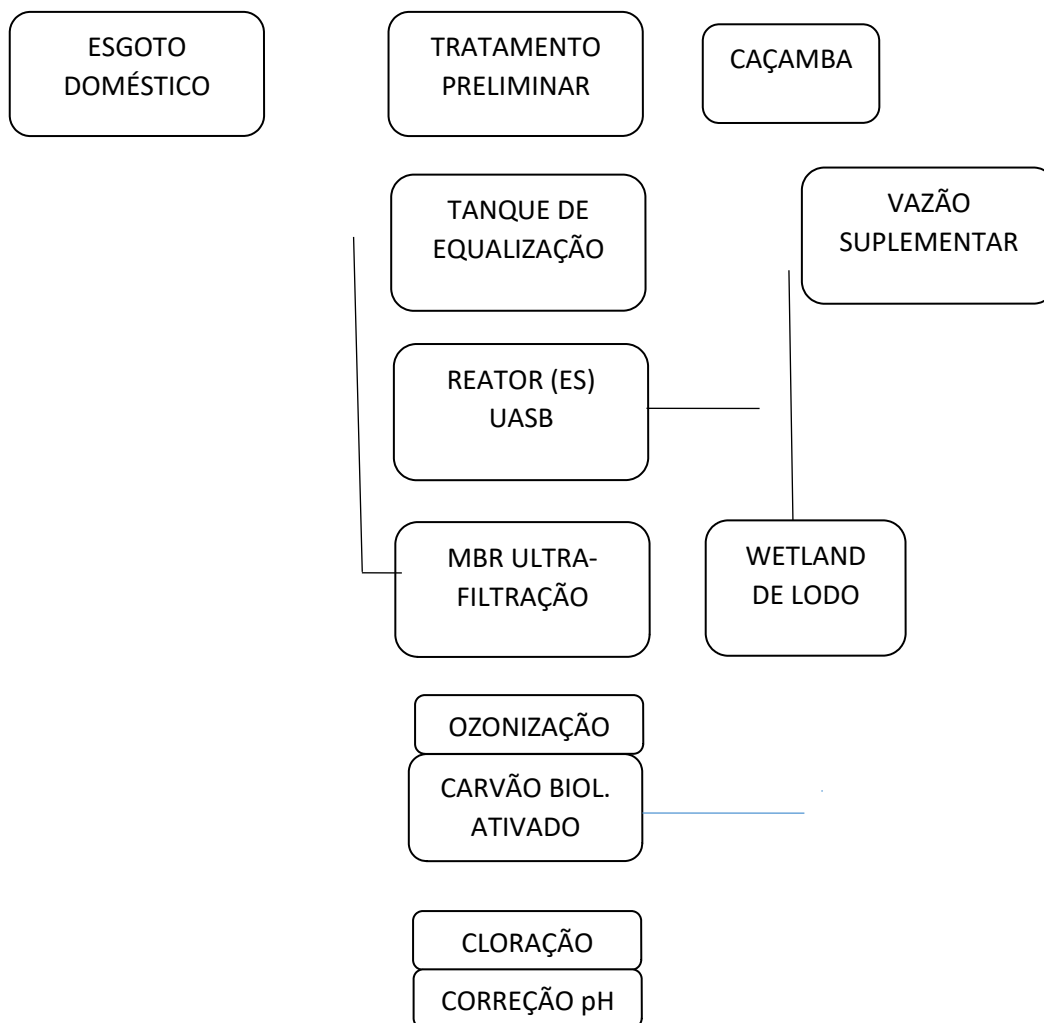
Figura 10 – Sistema de Beaufort West, África do Sul

7. Proposta de reúso potável direto

7.1 – Detalhamento de uma EPE para o Brasil

No Brasil, como os mananciais superficiais são, em geral, poluídos e não existe norma que permita injetar esgoto tratado nos mananciais subterrâneos, não há como usá-los para atenuadores ambientais. Resta o uso de reservatórios construídos para esse mister, o que encareceria o sistema. Desse modo, o reúso potável no Brasil deve ser feito por RPD em uma estação de potabilização de esgoto.

A figura 11 apresenta a proposta de uma EPE a ser adotada no Brasil. Pesquisas devem ser feitas no sentido de aprimorá-la considerando aspectos locais.



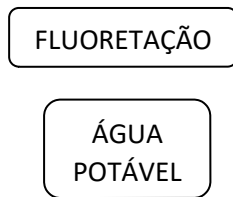


Figura 11 – Proposta de RPD em uma estação de potabilização de esgoto (EPE)

7.2 – Descrição das unidades da EPE proposta na Figura 11

Uma EPE não deve depender de diluição do esgoto em água superficial, mesmo porque esta pode não ter condições para isso. Assim, ao contrário da estação de reúso potável direto indicado na Figura 4, a EPE proposta na Figura 11 não depende de água suplementar, a não ser para complemento da demanda de abastecimento. Na ausência de água suplementar, o produto final não deve a qualidade de água potável.

7.2.1 – Tratamento preliminar

Antes de se misturar à vazão suplementar, o esgoto deverá passar por tratamento preliminar, onde lixo e substâncias inorgânicas em suspensão, principalmente areia, serão recolhidas e colocadas em uma caçamba para serem aterradas. A água suplementar não necessitará passar por tratamento preliminar.

Após o tratamento preliminar, o esgoto irá para o tanque de equalização.

7.2.2 – Tanque de equalização

O efluente do tratamento preliminar irá para o tanque de equalização, onde se juntará à vazão suplementar, ao efluente do wetland de lodo e à vazão de retorno do biorreator.

O tanque de equalização será aerado para evitar mau cheiro. Como a matéria orgânica será necessária para desnitrificação no(s) reator(es) UASB e para nitrificação no biorreator, esse tanque não deverá ter tempo de retenção superior a 30 minutos para a vazão média afluente.

Do tanque de equalização, o líquido seguirá para o(s) reator(es) UASB.

7.2.3 – Reator(es) UASB

A função principal do(s) reator(es) UASB será de remover o nitrato formado no tanque de equalização e no biorreator. No processo de desnitrificação, parte da matéria orgânica será transformada em biogás (que se desprenderá da massa líquida) e em lodo (que formará um leito onde se desenvolverão os microrganismos).

A espuma e o excesso de lodo serão removidos para o wetland de lodo e o efluente líquido, com cerca de 65 a 75% a menos de DBO₅, será encaminhado ao biorreator.

7.2.4 – Wetland de lodo

A utilização de wetlands vem aumentando no Brasil, principalmente depois que foi inaugurada a estação de tratamento de esgoto ecológica “Ponte dos Leites”, em Araruama – RJ. Uma de

suas vantagens é a baixa necessidade de manutenção, pois depende apenas de jardinagem para poda das plantas e controle de pragas e ervas daninhas. Uma estação de tratamento de esgoto utilizando wetlands apresenta vantagens como elevada eficiência, simplicidade operacional, beleza paisagística e menor custo se comparado ao de uma ETE convencional.

Será usado um wetland específico para tratamento de lodo, com funcionamento por batelada, propiciando entrada significativa de oxigênio e, desse modo, permitindo oxidação da matéria orgânica e da amônia remanescentes no líquido. Se projetado para tal e se for bem operado, o wetland vai necessitar de remoção do lodo acumulado uma única vez a cada dez anos.

O wetland será alimentado com a espuma e o lodo excedente do(s) reator(es) UASB e do biorreator e com a água de lavagem do carvão biologicamente ativado.

O efluente do wetland será encaminhado ao tanque de equalização.

7.2.5 – Biorreator com membrana de ultrafiltração – MBR (de Membrane Bio Reactor)

Biorreator com membrana é uma combinação do tratamento de lodos ativados com filtração por membranas. Recomenda-se o reator com membranas submersas no tanque de aeração (MBR submerso) para maior eficiência.

Serão usadas membranas de ultrafiltração no biorreator, que vêm se popularizando cada vez mais no Brasil porque deixam passar somente água, alguns íons e moléculas de baixo peso molecular, barrando sólidos e microrganismos (o que não acontece com as membranas de microfiltração) e não retêm sais minerais de cálcio, fósforo, ferro, iodo, cloro, potássio, magnésio, flúor e sódio, não obrigando, portanto, à remineralização.

Para facilitar o trabalho de limpeza, as membranas deverão ser do tipo tubulares, que permitem o fluxo tangencial com maior velocidade.

O excesso de lodo e a água usada na lavagem das membranas irá para o wetland de lodo. O permeado será assim dividido: duas terças partes voltarão ao tanque de equalização, levando o nitrato formado, e o restante irá para a unidade de ozonização. O efluente do biorreator não poderá ultrapassar os seguintes limites estipulados pelos fabricantes de ozonizadores:

- Turbidez: 5 NTU
- Sólidos em suspensão: 10 mg/L
- Ácido sulfúrico: 0,05 mg/L;
- Dureza: 120 mg/L;
- Ferro: 0,3 mg/L;
- Manganês: 0,05 mg/L.

7.2.6 – Ozonização

A ozonização terá por funções principais:

- quebrar cadeias de hidrocarbonetos e compostos aromáticos remanescentes (incluindo eventuais precursores de trihalometanos e de outros compostos secundários da cloração) produzindo moléculas mais simples, principalmente dióxido de carbono e água;

- transformar compostos inorgânicos, principalmente de ferro e de manganês, em moléculas insolúveis;
- eliminar quaisquer espécies de microrganismos remanescentes, destruindo-lhes a membrana celular.

Para que o ozônio tenha ação eficiente, é bastante que esteja em concentração de 10 µg/ml e possa atuar durante 4 minutos.

Existem fármacos que contêm brometo, o qual poderá ser oxidado a bromato seja no tanque de equalização, seja no MBR, seja durante a ozonização. O limite de bromato permitido na água potável é de 0,01 mg/L.

Caso haja a presença de bromato no efluente da unidade de ozonização, este deverá ser removido na unidade de carvão biologicamente ativado, para a qual irá o efluente da ozonização.

A unidade de ozonização deverá se situar próxima à unidade de carvão ativado para que o efeito combinado de ambas se faça sentir, de vez que o ozônio não deixa residual.

7.2.7 – Carvão biologicamente ativado

O carvão ativado granular promove o tratamento do líquido por meio de adsorção e de filtração de sólidos suspensos. Como o efluente da ozonização praticamente não terá sólidos suspensos, não será essa a atividade principal do carvão ativado.

Pela proximidade com a unidade de ozonização, haverá a formação de uma camada de microrganismos nos poros e na superfície dos grãos, tornando-os biologicamente ativados. Essa camada fará com que haja degradação dos compostos orgânicos remanescentes, de modo que o efluente dessa unidade praticamente não contenha matéria orgânica, o que será muito útil para evitar o desenvolvimento de microrganismos heterotróficos no efluente final da estação.

A troca do carvão ativado, feita normalmente a cada 18 meses, manterá a eficiência da unidade.

A água usada na lavagem do carvão ativado irá para o wetland de lodo e o efluente filtrado irá para a cloração.

7.2.8 – Cloração e correção de pH

Depois de passar pelo biorreator, o líquido deve ser encaminhado à cloração para desinfecção final, de vez que o cloro deixa residual. Como a cloração baixa o pH do líquido, em seguida a esta será feita a correção do pH.

A PRC 05/2017, do Ministério da Saúde, exige que o efluente clorado tenha o mínimo de 0,2 mg/L de cloro livre. Havendo matéria orgânica no efluente clorado, é possível o desenvolvimento de bactérias heterótrofas e o cloro livre é rapidamente consumido. Devido à ausência de matéria orgânica, não haverá a formação de lodo nos reservatórios domiciliares abastecidos por uma EPE, sendo esta uma grande vantagem do RPD sobre o tratamento de água convencional.

Como os precursores de trihalometanos e de outros produtos secundários da cloração terão sido destruídos pela ozonização, não haverá o risco de formação de compostos secundários da cloração.

O líquido clorado será encaminhado à fluoretação.

7.2.9 – Fluoretação

A fluoretação será a última unidade da EPE.

O flúor é um oxidante poderoso, mas, devido ao risco de provocar fluorose dental, a adição de fluoreto deve se restringir ao suficiente para proteger os usuários contra cáries dentárias.

A determinação da concentração de fluoreto a ser colocada na água deve levar em conta sua concentração já existente no líquido, visto que a maior parte do fluoreto aplicado na EPE vai retornar com o esgoto.

8. Fatores positivos para implementação do reúso potável direto

É inevitável que, em futuro próximo, mecanismos tradicionais de gestão da água no setor urbano sejam substituídos por novos paradigmas, particularmente com relação à universalização da prática de reúso potável direto. Tal medida será inevitável porque:

- Os mananciais para abastecimento de água estão se tornando cada vez mais raros, mais distantes e mais poluídos, conforme asseguram a Agência Nacional de Águas e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2017).
- O reúso potável indireto planejado é algo de pequena viabilidade nas condições brasileiras e o reúso potável indireto não planejado, extensivamente praticado no Brasil, é prejudicial tanto para o meio ambiente como para a saúde pública dos usuários.
- Com a tecnologia avançada hoje disponível, é possível remover contaminantes traços orgânicos e inorgânicos e organismos patogênicos tanto do esgoto como da água suplementar, o que nem sempre é removido em um sistema tradicional de tratamento de água.
- Caso haja um sistema de distribuição de água adequado, não haverá necessidade de se construir um sistema de distribuição separado, o que deveria acontecer se, ao contrário de reúso potável, fosse adotado um projeto de reúso não potável. A eliminação dos custos associados à construção de uma rede particular para distribuição de água de reúso não potável compensaria os custos relativamente maiores (em relação a sistemas de tratamento convencionais) de se fazer um sistema de reúso potável.
- Com um sistema de reúso potável funcionando adequadamente, não há necessidade de reversão de bacias ou de importação de água de outras bacias para consumo urbano, pois a maior parte da água utilizada passa a estar disponível localmente.
- A existência de precedentes bem sucedidos, a visão de segurança adicional no abastecimento de água e a disponibilidade de água de qualidade produzida por sistemas de tratamento avançados são fatores positivos para a aceitação comunitária da prática de reúso potável direto.
- Nas localidades onde existe tratamento adequado da água, é possível fazer-se a opção entre o RPD e o RPIP. No segundo caso, deve ser construído um reservatório de retenção que fará as vezes de um atenuador ambiental.

9. Fatores potencialmente inibidores do reúso potável direto

Apesar dos fatores positivos relacionados, a contestação ao reúso potável direto do esgoto doméstico é feita com os mais diversos argumentos, sendo o mais forte aquele que cita a existência de aspectos psicológicos e culturais de aceitação por parte dos usuários.

A contestação ao RPD no Estado de São Paulo tem sido feita principalmente com base no chamado Princípio da Precaução, a partir de legislação do Estado.

Tanto o argumento de que o RPD contraria aspectos psicológicos e culturais como a contestação baseada no Princípio da Precaução são facilmente contestáveis, como se verá a seguir.

9.1 Aspectos psicológicos e culturais

Os aspectos culturais e psicológicos face à percepção negativa do consumo de água reciclada e a falta de confiança na segurança de sistemas avançados de tratamento e de certificação da qualidade da água são, inquestionavelmente, o maior obstáculo à implantação do RPD. Essa cultura está tão arraigada que Lukas van Vuuren, um dos engenheiros encarregados da implantação na Namíbia da primeira estação de reúso potável do planeta, disse:

“Água deve ser julgada por sua qualidade, não por sua história.” (Organização Mundial de Saúde, 2017)

Posturas sociais negativas podem ser amenizadas por educação ambiental e por informação básica sobre segurança da qualidade da água produzida por reúso potável, seja direto ou indireto planejado.

9.2 O Princípio da Precaução

No Estado de São Paulo, o Princípio da Precaução tem sido evocado para obstruir a regulamentação do reúso potável direto. Os adversários da normatização do RPD evocam o disposto na Lei Estadual 9.605, de 12.02.1998, que dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, para defender medidas restritivas ao processo de reúso potável, ignorando seu caráter chave na gestão da água em áreas com estresse hídrico.

10. Conclusões e recomendações

O reúso potável indireto não planejado, largamente praticado no Brasil, constitui-se em atividade prejudicial tanto para o meio ambiente como para a saúde dos usuários de sistemas de distribuição de água, quando esta é tratada por sistemas convencionais. Por outro lado, a implementação de sistemas de reúso potáveis indiretos planejados é, atualmente, pouco viável nas condições brasileiras, uma vez que mananciais subterrâneos não apresentam condições legais para serem utilizados como atenuadores ambientais e a grande maioria dos corpos hídricos superficiais não possui qualidade para tal utilização. Resta, portanto, a construção de reservatórios de retenção, prática nem sempre viável economicamente.

Tem sido comum a recomendação de que o esgoto deve ser tratado para a produção de água de reúso não potável, reservando a água potável para consumo humano. Entretanto, com o uso de tecnologia disponível, a adoção do reúso potável direto vai garantir o abastecimento de

água em áreas submetidas a estresse hídrico, supera os tratamentos de água convencionais utilizados, não somente no que concerne a poluentes emergentes, como no caso da contaminação por nitrato da água dos poços artesianos de Natal. (Da Mata Machado, 2018)

Sob o ponto de vista econômico, o RPD é mais favorável que o reúso não potável, pois evita a necessidade de instalação de rede própria para a água de reúso, de vez que o esgoto potabilizado pode usar a rede de distribuição de água existente.

Em resumo:

- Os mananciais para abastecimento de água estão se tornando cada vez mais raros, mais distantes e mais poluídos.
- A tecnologia avançada, hoje disponível, permite remover contaminantes, traços orgânicos e inorgânicos e organismos patogênicos, permitindo a produção de água de reúso potável segura.
- Os custos de implantação de sistemas avançados de reúso potável são equivalentes ou inferiores aos custos de implantação de uma rede secundária para distribuição de água não potável, sendo portanto mais econômico produzir água de reúso potável que criar águas de qualidade diferenciada, com os riscos sanitários inerentes ao processo.

Diante disso, cabe às companhias de saneamento e aos centros de pesquisa certificados desenvolver estudos para:

- avaliar operações e processos unitários, novos ou existentes, dentro das condições brasileiras;
- dimensionar e estabelecer critérios operacionais para reservatórios que substituam atenuadores ambientais quando se desejar reformar estações existentes para adotar RPIP;
- elaborar procedimentos para utilização de redes de distribuição de água existentes e eventuais extensões para efetuar a distribuição de água potável de reúso;
- divulgar que o abastecimento de água não estará sujeito às variações sazonais que afetam a continuidade dos sistemas que captam água de mananciais superficiais;
- incentivar órgãos controladores a desenvolver normas, padrões e códigos de prática de reúso potável, baseados em estudos e pesquisas nacionais que representem condições técnicas, econômicas, culturais, ambientais e de saúde pública de nosso País; e
- efetuar critérios para certificação da qualidade da água de reúso e apresentá-los à opinião pública.

É inexorável que a prática do reúso potável direto, utilizando tecnologias modernas de tratamento e sistemas avançados de gestão de controle operacional, venha a ser, apesar das reações psicológicas adversas, a alternativa mais plausível para fornecer água realmente potável, pois, além de resolver a questão da qualidade da água, o reúso potável direto, com suas fontes de suprimento disponíveis nos pontos de consumo, encontra-se fortemente associado à segurança do abastecimento, sem a necessidade de longas e custosas adutoras para buscar água de áreas que também possam estar afetadas por estresse hídrico.

11. Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Águas (ANA) e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2017), "Atlas Esgotos".

Asano, T. (2007), "Water Reuse-An International Survey of current practice, issues and needs, IWA Publishing", London.

ATSE - Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, (2013), "Drinking Water Through Recycling-The Benefits and Costs of Supplying Direct to the Distribution System", p. 128, ISBN 978 921 388 25 5, Melbourne, Australia.

Borges, L. A., (2009), "Clima e Condições Meteorológicas", EMURB – Empresa Municipal de Urbanização, Consórcio Maubertec – Planservi.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (2009), Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP, (2011), "Estudo de Concepção e Projeto Básico do Sistema Produtor São Lourenço – Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA – Encibra S.A. - Estudos e Projetos de Engenharia, Prime Engenharia, Rima", p. 187, março, São Paulo, SP.

Da Mata Machado, P. A., (2018), "Natal – RN com alta concentração de nitrato na água dos poços? Isso é fácil de resolver.", EcoDebate, revista eletrônica, 14/11/2018, <https://www.ecodebate.com.br/2018/11/14/natal-rn-com-alta-concentracao-de-nitratos-na-agua-nos-pocos-isso-e-facil-de-resolver-artigo-de-paulo-afonso-da-mata-machado/>

Damikouka, I., Katsiri, A., Tzia, C. (2007), "Application of HACCP principles in drinking water treatment", Desalination, 210, p.138-145.

Hashimoto, T., Stedinger, J. R., & Loucks, D. P., (1982) "Reliability, resiliency, and 627 vulnerability criteria for water resource system performance evaluation", Water Resources 628 Research, 18, 1, January 01, 1982.

Hespanhol, I., (2000), "Experiências de Reúso da Água", Rev. Águaonline, nº 09, 31/05 a 06/06.

Hespanhol, I., (2008), "Um Novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos", Rev. De Estudos Avançados da USP, vol.22. nº 63, pp. 131-158, maio-agosto, São Paulo.

Hespanhol, I., (2009), "O Princípio da Precaução e a Recarga Gerenciada de Aquíferos", ensaio, p.28-29, Revista DAE, nº 179, ISSN 0101-6040, janeiro, São Paulo.

Hespanhol, I., (2014), "A Inexorabilidade do Reúso Potável Direto", aceito para publicação.

Organização Mundial de Saúde – OMS (2017), "Manual de Produção de Água Potável Segura por Reúso do Esgoto", Tradução livre: Paulo Afonso da Mata Machado, Título original: Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-water, www.funverde.org.br/blog/manual-de-producao-de-agua-potavel-segura-por-reuso-do-esgoto/.

Tchobanoglous, G, Burton, (1991), Wastewater Engineering, "Treatment Disposal and Reuse", 3th edition, Metcalf & Eddy, p. 1.334, Mc Graw Hill, USA.

Tchobanoglous, G, Leverenz, H., Nellor, M.H.N., Crook, J., (2011), "Direct Potable Reuse – A Path Forward", Water Reuse Research Foundation, p.102, USA.

Vandenbohede, A., Van Houtte, E., Lebbe, L., (2008), "Groundwater flow in the vicinity of two artificial recharge ponds in the Belgian coastal dunes" *Hydrology Journal*, p. 1669-1681, Belgium.

Van der Merwe, B., Du Pisani, P., Menge, J., König, E., (2008), "Water Reuse in Windhoek, Namibia: 40 years and still the only case of direct water reuse for human consumption", p.434-454, chapter 24, in: *Water Reuse-An International Survey of current practice, issues and needs*, Eds. Blanca Jimenez and Takashi Asano, IWA Publishing, London, 2007.

Van Houtte, E., Verbauwhede, (2008), "Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish coast", *Desalination*, no.218, p.198-207.