

ACADEMIA DE CIÊNCIAS DA BAHIA

# Água, solo e ar

## Sumário

---

**Gisele Olimpio da Rocha (UFBA)**

**Heloyza Martins Carvalho Andrade (UFBA)**

**Miriam de Fátima Carvalho (UFBA)**

**Sandro Lemos Machado (UFBA)**

**Vânia Palmeira Campos (UFBA)**

**Pedro Afonso de Paula Pereira (coordenador)**

2022

doi [10.5281/zenodo.7970445](https://doi.org/10.5281/zenodo.7970445)

# Água: um recurso natural ainda renovável?

A água é essencial para a vida e tem papel central em muitos setores da atividade econômica. Sua gestão adequada é um dos maiores desafios do nosso século.

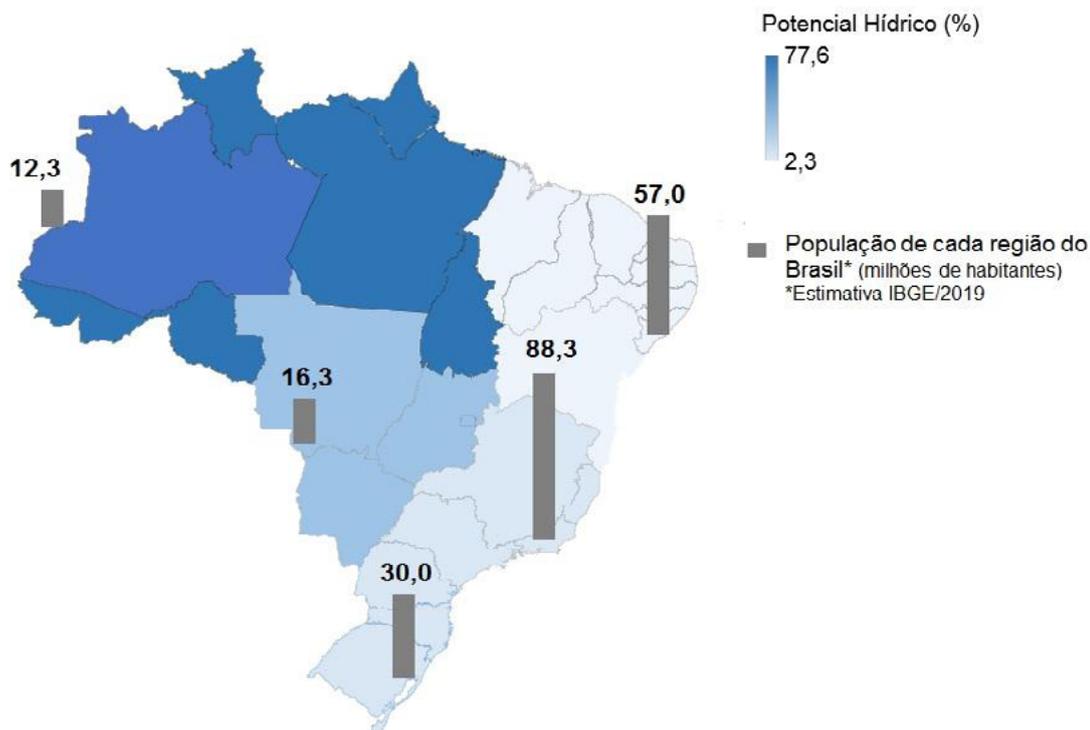
O ciclo hidrológico é o que mantém a água em movimento: com influências da energia solar, da força dos ventos e da gravidade, ele envolve processos contínuos de circulação da água de um compartimento ambiental para outro, incluindo mudanças no seu estado físico. Este mecanismo vem sendo modificado por atividades urbanas, rurais e industriais que introduzem diferentes elementos antrópicos, modificam sua composição e causam relevantes impactos. Dessa forma, o gerenciamento de recursos hídricos passa a demandar novas soluções nos níveis local, regional, nacional e internacional (TUNDISI, 2018).

Contaminações na litosfera, hidrosfera e atmosfera podem alterar a água inclusive de forma qualitativa: o desenvolvimento agrícola e o impacto provocado por ele na cobertura vegetal do solo são um exemplo desse fenômeno. A atividade transforma áreas rurais de pastagens e florestas em terras para agricultura. Essa dinâmica impermeabiliza o solo, reduzindo a infiltração da água e aumentando o escoamento superficial. Assim, o lençol freático tem sua alimentação prejudicada, o processo de evapotranspiração é reduzido e o microclima é significativamente afetado.

## *Distribuição e demanda no Brasil e na Bahia*

O Brasil concentra 12% de toda a água doce do planeta — o que equivale a 53% das reservas hídricas da América do Sul. Deste volume, 68,5% estão disponíveis na região Norte, enquanto as outras regiões do país têm parcela muito menor: para se ter uma ideia, o Nordeste concentra apenas 3,3% das reservas nacionais (BRASIL, 2019). São dados que evidenciam a má distribuição dos recursos hídricos como uma questão muito mais crítica do que a escassez. Destaca-se que essa distribuição de água no país ocorre de maneira inversamente proporcional às populações regionais, como mostra a figura 1.

A gestão hídrica no Brasil é preocupante, também, pelo alto índice de perdas de água. Essas perdas podem ser classificadas como reais, quando relacionadas às etapas prévias à chegada da água ao consumidor final (captação, tratamento, armazenamento e distribuição), ou como aparentes, quando relacionadas à água consumida sem autorização ou faturamento (fraudes, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial e erros na medição dos hidrômetros).



**Figura 1. Distribuição de água no Brasil por região e por população**  
 Fonte: IBGE.

Segundo dados de 2016 do Ministério das Cidades, os desvios de água tratada no Brasil ultrapassam 38% e representam uma perda de mais de R\$ 10 bilhões ao ano. O valor corresponde a 92% do investimento feito pelo setor de saneamento básico no mesmo ano em todo o país.

As perdas, no entanto, não são exclusividade do Brasil. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o país ocupa o 8º lugar no ranking de desvios de água tratada (38,5% de perdas). O Uruguai é o 1º, com 49%, e a Dinamarca tem o percentual de perdas mais baixo, com 6,9%. No recorte estadual, a Bahia tem perdas de 38%, equiparando-se à média nacional. Em outros estados do Nordeste e também do Norte, as perdas são superiores à média brasileira.

Neste sentido, fica evidente a necessidade de desenvolver iniciativas para a contenção de perdas, como o estabelecimento de metas e indicadores para desenvolver planos de gestão de perdas de água e a aplicação, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, de experiências exitosas de outros operadores.

Na Bahia, a demanda de água está distribuída de forma semelhante à do Brasil, entre agricultura (59%), uso doméstico (22%) e uso industrial (19%) — o consumo é bem maior no campo do que nas cidades.

No meio urbano, a principal demanda de água é do abastecimento doméstico, que vem aumentando consideravelmente em função do crescimento populacional. Já no campo, a utilização da água está distribuída entre a agricultura irrigada e o uso na dessecagem animal. Novos métodos de irrigação, no entanto, têm reduzido a demanda de água pela agricultura.

Nas grandes áreas industriais e da agroindústria moderna, a eventual contaminação da água subterrânea e a salinização do solo já são questões bem estabelecidas. Em regiões onde a evaporação supera a precipitação, a capacidade de armazenamento é mínima e a água dos poços artesianos é, frequentemente, salobra (Jury e Vaux; 2005; Vououlis, 2018).

Dentre os principais métodos de dessalinização da água, destacam-se a osmose reversa, a destilação multiestágios e a dessalinização térmica e por congelamento. Em comum, todas elas envolvem grande consumo de energia, o que encarece sua aplicação significativamente, e apresentam vantagens e desvantagens em relação ao tipo de água a ser tratada (Mocock et al, 2018).

A tecnologia da osmose reversa (OR) tem sido utilizada em cerca de 60% das instalações de dessalinização em 150 países, sendo que, há mais de dez anos, é o meio utilizado para o abastecimento de água em Fernando de Noronha (ACCIONA. 2019; Revista “Em Discussão!”, 2014).

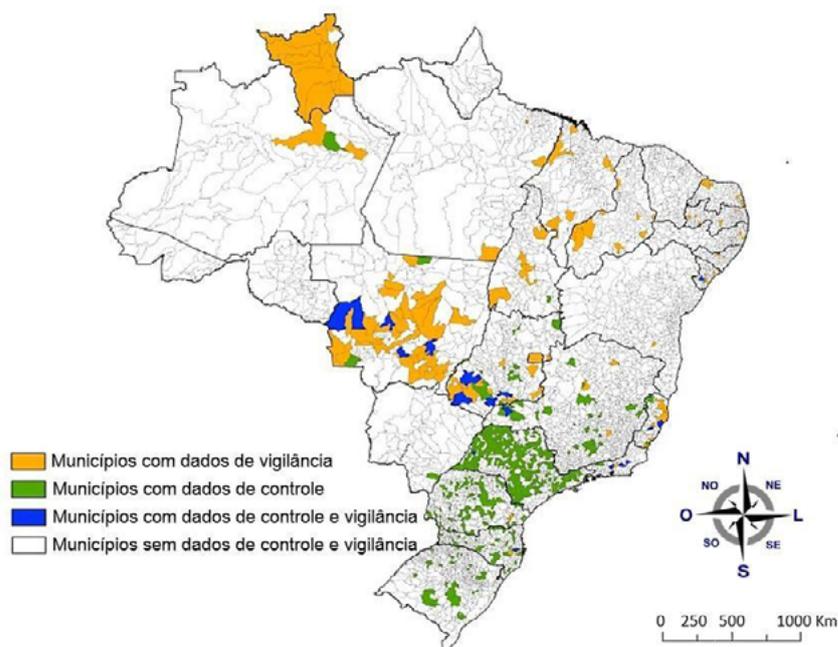
Na OR, são obtidos como produtos uma corrente de água potável e um resíduo rico em sais, bactérias e impurezas. Esse resíduo pode ser levado a um tanque de evaporação, evitando a degradação do solo ou, a depender de suas características físico-químicas, pode ser utilizado para diferentes finalidades, como a adição a tanques de criação de tilápias, o uso para a alimentação do gado ou a chamada “agricultura biossalina” (MDR, 2019). Hoje, a dessalinização de água salobra por OR tem se configurado como a alternativa para o semiárido baiano.

## *Água e contaminação por pesticidas*

Entre os estados do Nordeste, a Bahia tem a maior taxa de comercialização de pesticidas e afins por área plantada. Esse valor é estimado em 12,4 kg/ha, enquanto, por exemplo, o Ceará tem taxa de 0,87 kg/ha, e o Maranhão, 9,4 kg/ha (BRASIL, 2018). Apesar disso, segundo o Ministério da Saúde, a Bahia é um dos 14 estados brasileiros sem dados de monitoramento de pesticidas na água para consumo humano (BRASIL, 2018).

A busca por informações sobre o tema em documentos oficiais do estado da Bahia mostra que, embora existam planos e programas para monitoramento da qualidade de alimentos e água para consumo humano, dados oficiais sobre pesticidas em corpos hídricos não estão disponíveis. A partir disso, entende-se que esses programas não vêm sendo acompanhados pelos órgãos responsáveis.

A figura 2 apresenta a distribuição espacial dos municípios brasileiros que realizam o monitoramento de pesticidas em água para consumo humano.



*Figura 2. Distribuição espacial dos municípios brasileiros que realizaram o monitoramento de pesticidas em água para consumo humano*  
Fonte: Brasil, 2018.

O mapa mostra que, entre os 741 municípios que exercem algum tipo de ação de monitoramento, praticamente não existem cidades baianas. A situação é bastante preocupante, e requer, do governo, ações de curto prazo para garantir o fornecimento de água de qualidade para o consumo da população.

### *Água e contaminantes emergentes*

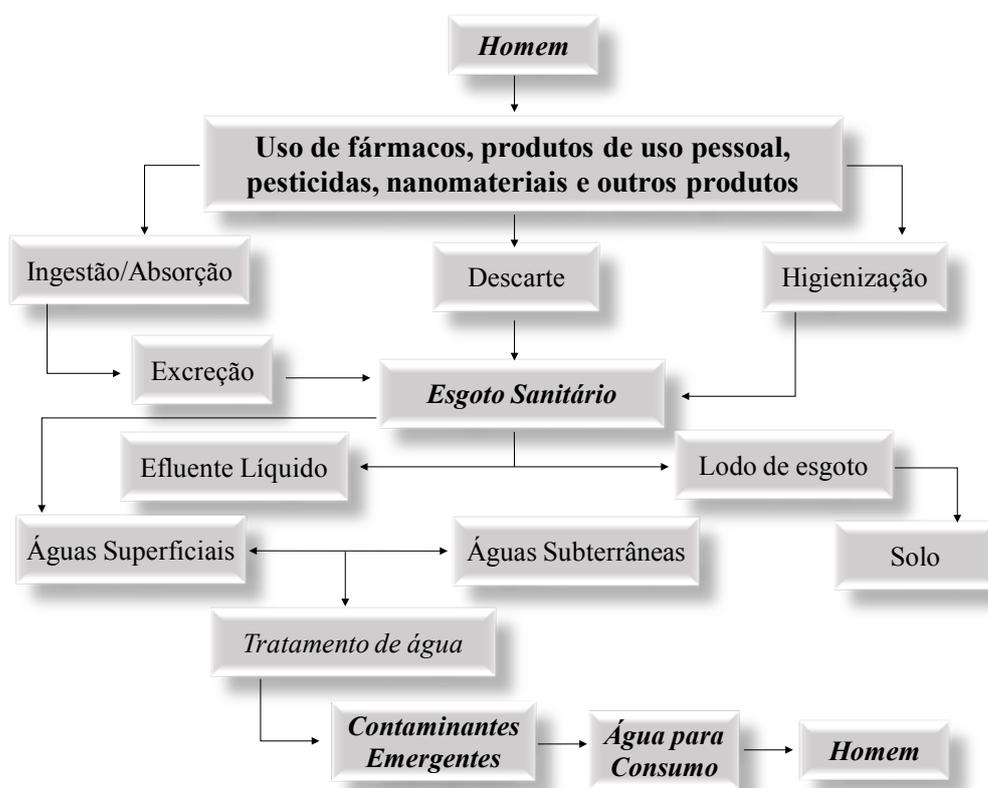
Contaminantes emergentes são substâncias de origem natural ou sintética que podem ser encontradas em matrizes ambientais e biológicas. Ainda pouco estudados, não estão inseridos em programas oficiais de monitoramento — tampouco na legislação —, apesar de seus possíveis efeitos adversos ao homem e ao ambiente. Muitos deles vêm sendo utilizados há muito tempo; outros são mais recentes, decorrentes dos avanços tecnológicos. Entre as substâncias classificadas como contaminantes emergentes, é possível citar os fármacos (antibióticos, analgésicos, repositores hormonais, contra-

ceptivos etc), produtos de uso pessoal (fragrâncias, protetores solares, repelentes de insetos, shampoos etc) e produtos de uso industrial (como surfactantes e plastificantes), entre outros.

Neste contexto, é válido destacar que o mercado brasileiro de fármacos está entre os maiores do mundo e, de acordo com a Anvisa, o consumo pela população aumenta anualmente de forma exponencial – o que faz do Brasil um dos maiores consumidores de produtos farmacêuticos, ao lado dos EUA, França e Alemanha (CAMPANHA et al., 2015).

Cabe salientar, ainda, a presença crescente de produtos de uso pessoal ou industrial em águas superficiais. São poluentes utilizados com os mais diversos fins, como cuidados pessoais, ou produção de embalagens. O plastificante bisfenol, tipicamente usado pela indústria, está presente em águas superficiais brasileiras em concentrações até mil vezes maiores do que aquelas encontradas nos EUA e Europa.

A origem de contaminantes emergentes nos corpos hídricos está associada, principalmente, às águas residuárias urbanas. A figura 3 mostra como esses poluentes podem alcançar as redes de esgoto e, posteriormente, as águas superficiais e subterrâneas, em função do uso antrópico e do descarte inadequado de medicamentos e outros produtos.



**Figura 3. Rota dos contaminantes emergentes do homem ao meio ambiente**

Fonte: CANELA et al. (2014) (adaptação).

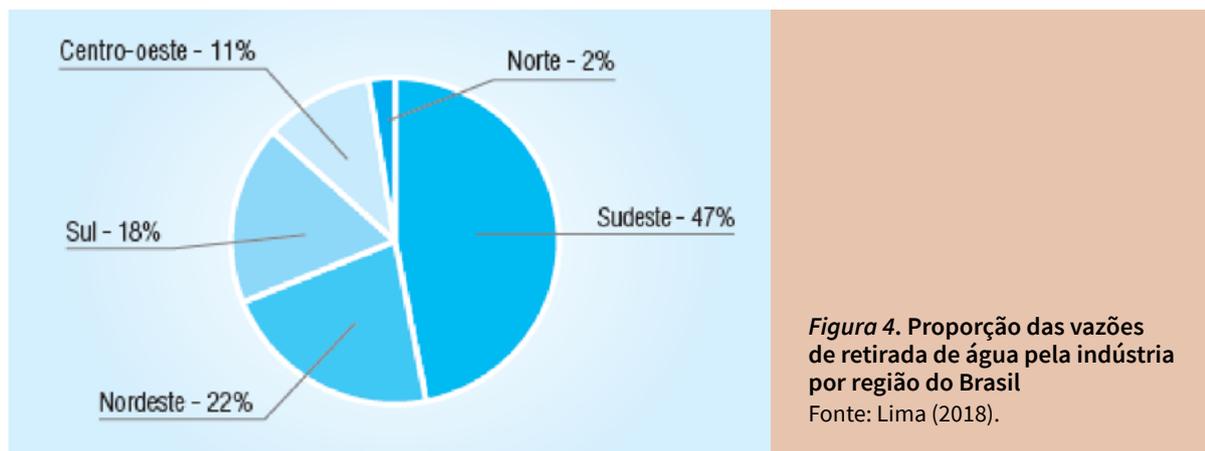
Para eliminar as possibilidades de contaminação da população e do meio ambiente e seus consequentes impactos à saúde humana, serão necessárias alterações urgentes na legislação no sentido de garantir tratamentos adequados de efluentes urbanos e industriais, assim como a remoção desses compostos de água tratada para o consumo humano. Além disso, o gerenciamento de produtos que possam se tornar contaminantes emergentes deve incluir estratégias de redução de uso, descarte adequado, minimização de resíduos e melhores sistemas de tratamento de água.

## *A água na indústria*

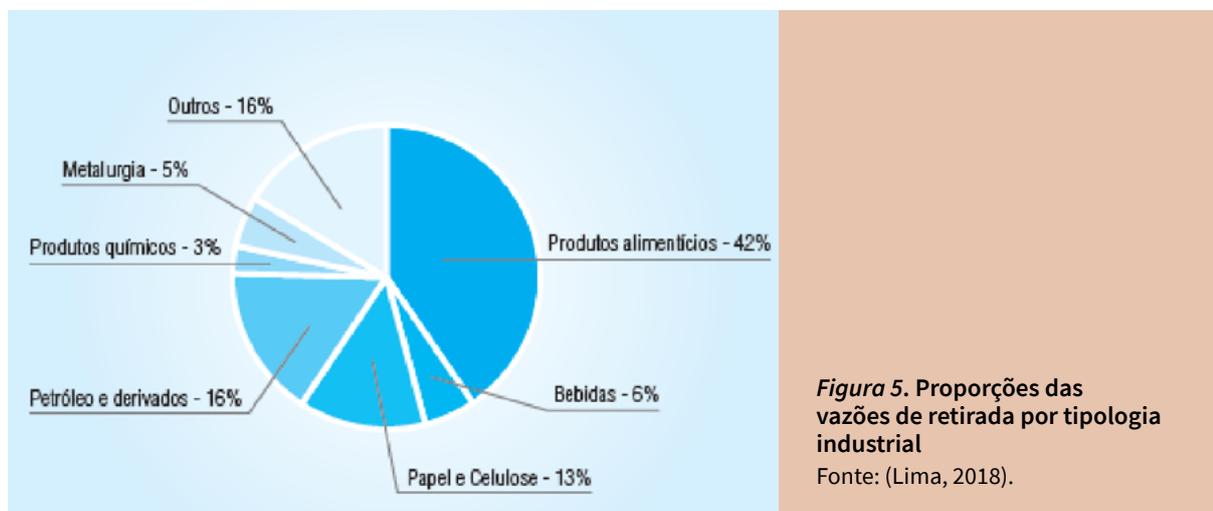
Na produção industrial, a água pode ser utilizada como matéria-prima, reagente ou ter uso auxiliar, em estado líquido ou vapor, como solvente ou em operações de transmissão de calor e de suspensão, por exemplo. Considerando seus diferentes setores, a atividade industrial é responsável por 22% do consumo mundial de água (Tundisi, 2014).

Em grande parte do mundo, a água é insuficiente para atender à demanda urbana, industrial, agrícola e ambiental (Jury e Vaux, 2005). De acordo com o Relatório Global de Riscos do Fórum Econômico Mundial 2014, é estimado um déficit de 40% no suprimento global de água para 2030 caso não haja uma mudança na gestão dos recursos hídricos (World Economic Forum of Global Risks 2014; Voulvoulis, 2018). Desta forma, a segurança hídrica é determinante para a continuidade, crescimento e competitividade das indústrias: sua ausência pode causar impactos irreversíveis para a economia e para a sociedade. Em resposta a isso, a indústria vem adotando novos modelos de gestão da água que incluem o reúso e a reciclagem, visando a assegurar o desenvolvimento econômico sustentável, delineando o processo de transição para a economia circular.

O parque industrial brasileiro é amplo e variado, produzindo desde bens de consumo até tecnologias de ponta (CNI 2017). Assim como os recursos hídricos, os parques industriais estão distribuídos de forma heterogênea no país. As indústrias de transformação, em geral, não se encontram nas regiões de maior disponibilidade de água, pois se instalam em áreas mais favoráveis do ponto de vista econômico, político, social, geográfico e de logística. Consequentemente, as atividades industriais se concentram principalmente na região Sudeste, com destaque para as bacias hidrográficas do Paraná, Atlântico Sudeste e Leste (Lima, 2018). A proporção das vazões de retirada de água pela indústria, por região, é mostrada na figura 4.



O consumo de água na indústria depende, é claro, do tipo de processo e de produtos desenvolvidos, tecnologias empregadas, boas práticas e maturidade na gestão (ANA, 2017). Com base nos coeficientes técnicos estabelecidos na Classificação Nacional de Atividades Econômicas versão 2.0 (IBGE, 2007), as proporções das vazões de retirada por tipologia industrial são mostradas na figura 5. Efetivamente, os setores de maior uso hídrico são os de fabricação de alimentos e bebidas, de celulose, papel e produtos de papel, de fabricação de coque, derivados de petróleo e biocombustíveis e o de metalurgia.



Hoje há ferramentas disponíveis para quantificar a demanda hídrica, mas as metodologias são complexas, levando em conta captação, consumo, reúso e geração de efluentes. Além disso, o setor industrial ainda trabalha com incertezas e limitações para a estimativa da demanda hídrica, em escalas temporais e espaciais (ANA, 2017).

## *O uso da água na indústria sob a visão da economia circular*

A demanda por matérias-primas aumentou 150% nos últimos 30 anos [UNIDO, 2013]. Diante das evidências do esgotamento de vários recursos naturais no planeta e da ineficácia na solução dos principais problemas contemporâneos, um novo modelo de crescimento emergiu em contraposição ao tradicional modelo linear de extrair, consumir e descartar (Voulvoulis, 2018).

Denominado economia circular, esse modelo é regenerativo em sua própria concepção, tendo por objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo. Trata-se de uma estratégia que está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU. Em suma, a economia circular busca dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

A agenda de eficiência no uso dos recursos naturais está no centro de estratégias de empresas globais e na pauta dos principais fóruns internacionais, como o G7 e o G20. No Brasil, os princípios da economia circular já começam a ser praticados em empresas e organizações, orientando iniciativas de inovação e competitividade. As principais ações envolvem a otimização de processos, o uso de insumos circulares, a recuperação de recursos e o prolongamento do ciclo de vida de insumos. A indústria brasileira também vem avançando na redução de custos e no reúso da água (Globo, 2019).

No setor industrial, a gestão eficiente de água tem caráter estratégico para a competitividade das empresas, sobretudo as de maior demanda hídrica. Em geral, o foco tem sido a diminuição do consumo de água e da emissão de efluentes, visando à redução de custos e garantia de licença social e ambiental para operar. Efetivamente, há casos de indústrias brasileiras que fazem reúso de águas residuais tratadas, oriundas de processos internos ou externos. No entanto, ainda são necessários marcos regulatórios e fiscais adequados para essas atividades, além de clareza nas informações sobre a composição e propriedades dos resíduos. Cabe ressaltar que, principalmente a partir dos anos 2000, a gestão dos recursos hídricos tem merecido atenção destacada pela indústria baiana em função de algumas iniciativas de sucesso.

A gestão adequada de água é uma estratégia de competitividade e sobrevivência para o setor industrial. Considerações sobre a escassez de água e a segurança hídrica indicam a exaustão do modelo econômico linear de extrair, usar e descartar.

A transição do modelo de economia linear para o circular na gestão hídrica na indústria deve envolver esforços e ações políticas, empresariais e sociais. A soma de forças é

essencial para uma adesão em grande escala, que possibilite o efeito sustentável desejado. Ações direcionadas à aderência de empresas de médio e pequeno porte à gestão da água devem ser estimuladas, visto que empresas de grande porte, por necessidade e capacidade própria, já vêm apresentando ações de inovação em sustentabilidade.

## **Solos e a gestão de resíduos em centros urbanos**

Em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela lei nº 12.305/2010, tendo entre seus objetivos a gestão integrada de resíduos sólidos, como visto no seguinte trecho: “o conjunto de ações voltadas para solucionar o problema dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (Brasil, 2010). Neste sentido, a política dos 3R (reduzir, reutilizar e reciclar) deve ser a estratégia do gerenciamento de resíduos, segundo a PNRS — que inclui a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos como ordem de prioridade. Assim, somente depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, os resíduos devem ser dispostos em aterros, construídos de forma a não impactar o meio ambiente nem comprometer a saúde pública.

A PNRS incentiva a educação ambiental, a coleta seletiva e a formação de cooperativas, o que pode disciplinar o trabalho e melhorar os ganhos de catadores de recicláveis. A Política apresenta princípios bastante modernos, como:

- a) Prevenção e precaução.
- b) Uso racional e sustentável dos bens naturais e da energia, fomentando a produção de bens de boa qualidade, de baixo impacto ambiental e com preços competitivos (estabelecendo ecoeficiência).
- c) Reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.
- d) Os conceitos de poluidor-pagador e de protetor-recebedor.
- e) Responsabilidade compartilhada: fabricante, importador, distribuidor, comerciante, consumidor e poder público são responsáveis pelo ciclo de vida do produto e devem atentar para a redução de volume dos resíduos e de rejeitos

gerados, bem como pela mitigação dos impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

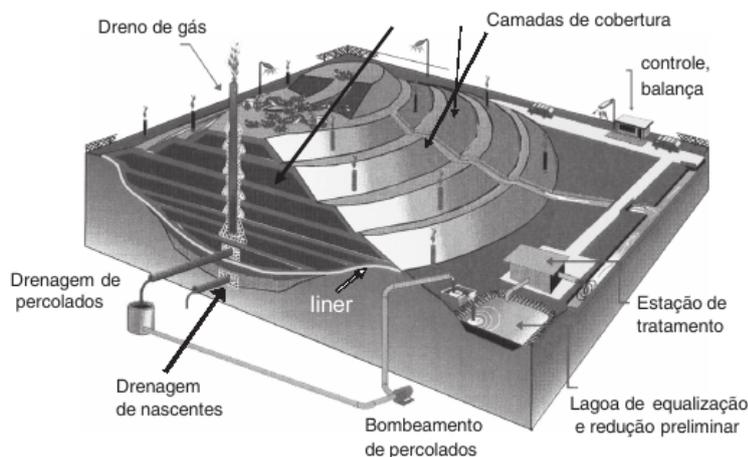
- f) Logística reversa: conjunto de ações e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento — o que pode ocorrer em seu ciclo, em outros ciclos produtivos ou por meio de qualquer outra destinação final ambientalmente adequada.

Deve-se observar, contudo, que, decorrida mais de uma década de sua publicação, a PNRS ainda tem grande dificuldade de ser aplicada na prática. Esse desafio está presente tanto na abordagem integrada e no modelo cooperativo da gestão quanto no gerenciamento da coleta seletiva e na disposição adequada em aterros sanitários. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam que, em 2017, apenas 22,5 % dos municípios brasileiros apresentavam alguma forma de coleta seletiva de resíduos, abrangendo cerca de 1,48 milhões de toneladas dos 73,3 milhões de toneladas coletadas (ou seja, menos 2% do total). Sendo um país de dimensão continental e com disparidades culturais e econômicas marcantes, o Brasil apresenta grandes diferenças regionais na gestão dos resíduos, sendo as regiões Norte e Nordeste aquelas que apresentam os piores índices, tanto em termos de coleta seletiva como em termos de disposição adequada em aterros sanitários (SNIS, 2017).

Em 2017, o SNIS apontou um total 2.307 unidades de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) no solo, compreendendo aterros sanitários (640), aterros controlados (576) e lixões (1.091). Do total de lixões, cerca de 60% estão localizados no Nordeste (620 unidades, recebendo cerca de 3,9 milhões de toneladas/ano). Lixões são práticas condenáveis de disposição de resíduo no solo, realizadas sem a adoção de nenhum tipo de proteção ao ambiente ou de dispositivos para a coleta ou tratamento de líquidos e gases. Esses espaços tampouco têm cobertura para inibir a propagação de vetores de doenças. Quando promulgada, a PNRS exigia o fechamento dos lixões em todo o país até agosto de 2014. Contudo, esta ação não foi atendida em nenhum estado brasileiro, e a exigência foi revista e adiada para 2024, especialmente para os municípios menores.

Com relação aos aterros controlados, que são unidades com alguns elementos de proteção ambiental (como camadas de cobertura, elementos de drenagem superficial e queimadores de gases), 72% do total em operação em 2017 estão localizados no Sudeste (414 unidades). O Nordeste fica em segundo lugar, com 55 aterros controlados (9,6%, recebendo 1,4 milhão de toneladas/ano).

Os aterros sanitários (AS) são unidades de disposição final de resíduos sólidos no solo construídas para confinar o material no menor volume possível, sem provocar prejuízos ou ameaças à saúde, à segurança e ao ambiente (NBR 8419/92). Para tanto, eles devem conter dispositivos de impermeabilização em sua base e cobertura, camadas intermediárias de cobertura do resíduo, drenagem de subsuperfície, drenagem interna de gases e de lixiviados e drenagem de águas superficiais, como mostra a figura 6. Além disso, deve apresentar uma configuração geométrica e de acessos adequados que permitam a sua operação dentro de padrões aceitáveis de segurança, otimizando a área disponível para a disposição dos resíduos e estendendo ao máximo sua vida útil. Instrumentos de monitorização de seu desempenho também são imprescindíveis, como poços de observação para monitorar a qualidade das águas subterrâneas e instrumentos que possibilitem uma avaliação geotécnica do maciço formado, como medidores de deslocamentos, de pressões de gases e de nível de lixiviado (Vilar et al, 2015).



**Figura 6. Esquema de aterro sanitário**  
Fonte: Godoi, (1997).

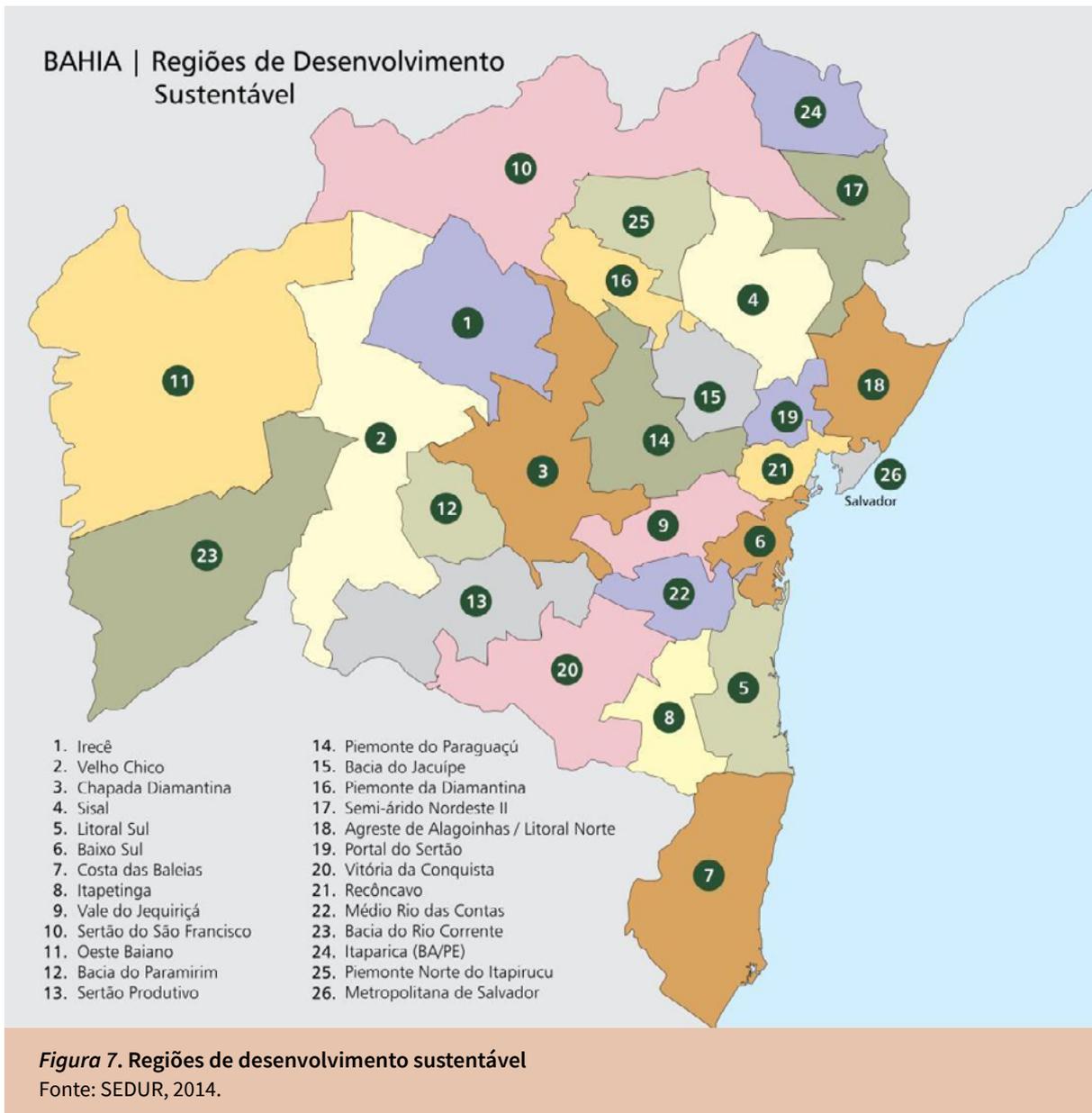
Em termos regionais, o Nordeste tem 8,6% das unidades de AS do país (55 unidades, recebendo 7,6 milhões de toneladas/ano).

No que diz respeito a outras práticas de gerenciamento dos RSU previstas na PNRS, como a compostagem, verifica-se a presença de apenas 68 unidades (pátio ou usina) informadas como em operação no Brasil, pelo SNIS, em 2019. São espaços que processam cerca de 0,3 milhão de toneladas/ano. Destas unidades, apenas três estão localizadas no Nordeste. Quanto às 20 unidades de tratamento por incineração existentes, cinco delas se encontram na região Nordeste. Estes dados apontam uma enorme deficiência no gerenciamento de RSU no país, que registra cerca de 30% da disposição de resíduos ocorrendo de forma inadequada no solo e com o uso incipiente de técnicas de reciclagem e compostagem, afastando-se intensamente das diretrizes propostas na PNRS.

A situação de precariedade do gerenciamento de RSU no estado da Bahia é similar ao que se pratica na região Nordeste. Cerca de 84% dos municípios baianos que responderam ao SNIS em 2017 (194 dos 417 municípios do estado) ainda usam os lixões para disposição final. Apenas 8,3% destes municípios têm o seu local de disposição de RSU enquadrado como aterros controlados — e apenas 7,7% dos municípios usam os aterros sanitários (dados obtidos de tabelas do SNIS 2019). Considerando que, provavelmente, os municípios que não responderam ao SNIS estejam praticando disposição em lixões, teríamos 92% das cidades com disposição irregular na Bahia.

Buscando uma melhor gestão dos RSU gerados e em uma tentativa de se adequar às diretrizes da PNRS, o governo do estado propôs o emprego de soluções regionalizadas e integradas por meio de consórcios públicos entre municípios, criando as chamadas regiões de desenvolvimento sustentável (RDS) (SEDUR 2014). Para a construção das RDS, foram empregados critérios como a espacialização de territórios (distâncias entre sedes de até 30 km com transporte direto de RSU para o aterro, entre 30 a 60 km com estação de transbordo e acima de 60 km com a adoção de soluções individualizadas), a produção de resíduos e o contingente populacional. As 26 RDS (figura 7) poderão facilitar a instalação de unidades de disposição e reduzir custos com compartilhamento entre municípios: quanto maior o número de habitantes que utilizam um mesmo AS, menor é seu custo de implantação e operação. Segundo estudo realizado pela Secretaria do Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia, o custo per capita de disposição do RSU variou de R\$ 0,88 (custo associado ao Aterro Sanitário Metropolitano Centro, que recebe o RSU coletado em Salvador, Simões Filho e Lauro de Freitas, com uma população envolvida de cerca 2,6 milhões de habitantes) a R\$ 109,31 (AS em Camamu e Igrapiúna, com 12,2 mil habitantes), com média per capita de R\$ 6,51.

No Brasil e na Bahia, a adoção de outras tecnologias para a disposição do RSU que não os AS — como compostagem, reciclagem e incineração com recuperação de energia — ainda é incipiente. Alguns países são exemplos na área: caso do Japão, onde predomina o tratamento por incineração e reciclagem, e de nações como Suíça, Alemanha, Holanda, Suécia, Bélgica, Áustria e Dinamarca, onde menos de 5% dos RSU são aterrados, dando espaço para a reciclagem, compostagem e incineração (BNDES, 2013). Acredita-se que um os grandes limitantes para a adoção efetiva de soluções mais sustentáveis no Brasil sejam o valor efetivamente pago para a destinação destes materiais, a adoção da coleta única e o tratamento de resíduos em aterros, dificultando a segregação, reciclagem e a recuperação de materiais e energia, como prescreve a PNRS.



É válido ressaltar que, nas últimas décadas, os AS tiveram importantes mudanças de concepção, passando a ser encarados como grandes biorreatores tendo água (proveniente da interação do AS com as condições ambientais locais) e RSU como principais entradas e lixiviado e biogás como principais saídas. Neste sentido, muita ênfase foi dada à adoção de eficientes sistemas de cobertura e de captação do biogás gerado pela decomposição anaeróbia.

No Brasil, até 2016, foram registrados 30 projetos com potencial de gerar energia elétrica de gás de aterro, sendo que nove deles produziram, juntos, 86,6 MW de energia elétrica entre 2004 e 2015 (Nascimento et al 2019). Na Bahia, o Aterro Sanitário Metropolitano Centro, localizado na região metropolitana de Salvador, possui uma central termoeletrica instalada com capacidade de geração de 20 MW. Para além da

produção de energia, essa prática torna possível a venda das reduções certificadas dentro do escopo dos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (créditos de carbono).

Dentre as técnicas de aproveitamento energético mais usuais, a gaseificação vem ganhando forte impulso nos últimos anos. O processo envolve um número elevado de interações físicas e químicas que ocorrem em temperaturas superiores a 600 °C, variando de acordo com a composição do resíduo (Arena, 2012). No método, parte do RSU é queimada para gerar calor e gaseificar os resíduos remanescentes. A energia química gerada resulta em um gás de alto poder calorífico (gás de síntese), contendo H<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub> (López et al., 2014; Arena, 2011). As emissões de H<sub>2</sub>S, HCl, COS, NH<sub>3</sub>, HCN, alcatrão e particulados são a principal preocupação quando se adota a gaseificação, sendo necessários instrumentos de controle e monitoramento. O calor gerado durante o processo de gaseificação pode ser usado para secar a massa de resíduos antes da queima ou ser aproveitado em outras vias tecnológicas. Além disso, em aterros que já utilizam CH<sub>4</sub> para a produção de energia, o gás de síntese pode ser usado como um combustível alternativo para os motores das usinas termelétricas.

### *Considerações Finais*

O atual cenário de gerenciamento de resíduos na Bahia é deficitário e preocupante, apontando uma urgente necessidade de erradicação dos lixões e de implementação de aterros sanitários, com práticas integradas de gestão, observando as particularidades de cada comunidade e as características geoambientais locais.

O emprego de aterros sanitários consorciados — como proposto pela Sedur, em 2014, para regiões de sustentabilidade em comunidades vizinhas e com pequena produção — pode contribuir para a melhoria da gestão e erradicação de lixões. Essa iniciativa reduziria o custo de implantação e a operação dos aterros. Contudo, deve-se atentar para a definição dos termos dos consórcios, definindo as responsabilidades de cada municipalidade. Para cidades distantes mais de 60 km entre si, as soluções devem ser individualizadas.

Para as cidades de grande porte, além da instalação dessas unidades de aterramento, outras soluções podem melhorar a gestão de RSU até que novas políticas sejam definidas. Entre as saídas estão a consolidação da coleta regular com direcionamento do material para o aterro sanitário, a implantação da coleta seletiva de recicláveis secos (com participação de cooperativas de catadores) e a implementação de compostagem a partir da coleta seletiva de matéria orgânica de grandes geradores. O reconheci-

mento do resíduo sólido como um bem econômico, possível de agregar valor a partir de sua reutilização, reciclagem ou aproveitamento energético está em consonância com a legislação vigente e deve ser implementado. Além disso, devem ser executados estudos sobre a maximização da vida útil dessas áreas e a recuperação do potencial energético remanescente do aterro.

## Ar: o que respiramos?

A população mundial alcançou 7,7 bilhões de habitantes em 2019. Isso representa um aumento de 1 bilhão desde 2007 e de 2 bilhões desde 1994. De acordo com projeções da ONU, a população deve chegar a 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,5 bilhões em 2100 (United Nations, 2019). Cerca de 65% da população global atual vive em áreas urbanas (United Nations, 2015) — e a expectativa é que essa proporção aumente ainda mais até 2050.

Com um modelo de organização em que a maior parte da população encontra-se em áreas urbanas, cria-se a demanda por uma infraestrutura mínima, como um sistema eficiente de transporte, energia abundante e acessível, água tratada e saneamento básico etc. O desenvolvimento desses recursos pode intensificar a poluição de pelo menos um dos compartimentos ambientais: ar, água e solo.

Segundo dados do IBGE, a população da Bahia em 2019 é estimada em 14,87 milhões de habitantes, o que a torna o quarto estado mais populoso do país. Mais de 10 milhões desses habitantes viviam em áreas urbanas e possuíam mais de 4 milhões de veículos (IBGE, 2019a): a Bahia é o oitavo estado em total de veículos leves, o quarto em motos e o sexto em ônibus [IBGE, 2020c]. À época, Salvador e sua região metropolitana tinham cerca de 2,9 milhões de habitantes, o que configurava a cidade como a quarta capital mais populosa do país, com estimativa de um carro a cada três habitantes em 2018 (IBGE, 2019b; TRBN, 2018). Nesse cenário, a capital baiana continha 22% de toda a frota veicular do estado e aproximadamente 35% de todos os carros.

A quantidade de veículos é um reflexo do perfil majoritariamente urbano da população da Bahia. Entre os municípios do estado, 17 concentram cerca de 41% da população baiana, todos com mais de 100 mil habitantes e podendo chegar a mais de 500 mil, como no caso de Feira de Santana. Tais cidades, ao se organizarem em bairros residenciais, zonas de comércio e serviços e pólos industriais, requerem sistemas de transporte público, abastecimento de água, saneamento, coleta e reutilização/reciclagem de resíduos. Além disso, as populações residentes nesses grandes centros devem ter assegurado o direito a um ar de qualidade, livre de contaminação por substâncias

danosas à saúde. Nos centros urbanos, a emissão causada pela queima de combustíveis em veículos é considerada a maior fonte de poluentes atmosféricos, entre eles os gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição atmosférica é, atualmente, um dos maiores riscos ambientais à saúde humana. Globalmente, cerca de 7 milhões de mortes foram atribuídas à poluição do ar de ambientes internos (como residências e escritórios) e externos em 2016. Cerca de 94% dessas mortes ocorreram em países de baixo ou médio poder aquisitivo. A ciência vem registrando correlações entre diferentes doenças e a poluição do ar: dentre elas, acidente vascular cerebral, doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer de pulmão, isquemia coronária e infecções respiratórias em crianças. São quadros que levam à diminuição da expectativa de vida e ao aumento da morbidade e mortalidade (WHO, 2014, 2018; Pope e Dockery, 2006; Pope et al., 2009).

Estima-se que 91% da população mundial viva em ambientes com níveis impróprios de qualidade do ar, levando-se em conta os valores máximos permitidos pela OMS de poluentes-chave como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO + NO<sub>2</sub> = NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), amônia (NH<sub>3</sub>) e material particulado atmosférico fino (PM<sub>2.5</sub>) – este último sendo um dos poluentes atmosféricos com maior potencial de causar riscos à saúde humana por estar diretamente associado a doenças respiratórias, cardiovasculares e diferentes tipos de câncer (UN Environment Programme, 2017; WHO, 2018). Por fim, cabe destacar que a poluição do ar afeta principalmente crianças, idosos, mulheres e populações de regiões de maior pobreza (UN Environment Programme 2017).

### *Considerações finais*

A maior fonte de poluição do ar nas cidades é constituída por veículos. Em consequência, qualquer estratégia que vise à redução das emissões de poluentes em centros urbanos, deve, necessariamente, considerar a utilização prioritária de sistemas de transporte público, de uma forma racional e eficiente. A frota deve ser capaz de atender à demanda dentro de uma malha viária abrangente e adequada à população atendida. Além disso, a adoção de políticas que incentivem o uso de combustíveis renováveis e a criação de incentivos para a substituição da atual frota veicular por veículos movidos a eletricidade devem ser prioridades dos gestores públicos.

A instalação de estações de monitoramento de ar em pontos de grande fluxo de pessoas e veículos deve ser ampliada. Isso não apenas para oferecer diagnósticos de qualidade

do ar em escalas temporal e espacial, mas por ser uma valiosa fonte de informação para a população e para órgãos ambientais.

Estudos sobre a qualidade do ar na Bahia devem receber mais investimentos, especialmente aqueles que focam nas maiores cidades. Hoje, a base de dados disponível ainda é pequena quando comparada a outras regiões do país ou do exterior.

O monitoramento e o processamento de grandes quantidades de dados em tempo real é uma tendência cada vez mais dominante — e o diagnóstico ambiental de grandes cidades pode se beneficiar dessas tecnologias. Neste sentido, deve-se investir em pesquisas voltadas para a criação e produção de sistemas portáteis e baratos de monitoramento de diferentes tipos de poluentes do ar, capazes de ser utilizados por qualquer indivíduo e que possam coletar dados e transmiti-los em tempo real para *hubs* por meio de dispositivos móveis.

No caso das indústrias, as alternativas para a mitigação da poluição atmosférica devem passar, principalmente, pela adoção de tecnologias e processos industriais mais limpos, visando à adoção de sistemas de produção que sigam os princípios da economia circular.

## Referências

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Projeto de Ciência para o Brasil. Silva J.L.; Tundisi, J. G (org.). Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2018. 396 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: 1992.

ACCIONA. Water desalination: turning seawater or brackish water into drinking water. 2019. Disponível em: <https://www.acciona.com/water-treatment/desalination/>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Água na Indústria: Uso e coeficientes técnicos. 2017. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>>.

ARENA, U. Gasification: An alternative solution for waste treatment with energy recovery. *Waste Management*, 2011. 31, No. 3, 405–406, doi:10.1016/j.wasman.2010.12.006.

ARENA, U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification: A review. *Waste Management*, 2012. 32, No. 4, 625-639, doi:10.1016/j.wasman.2011.09.025.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pesquisa Científica BNDES FEP N° 02/2010, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. Brasília, 2018. Vol 1, Tomo 2. [http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio\\_nacional\\_vigilancia\\_populacoes\\_expostas\\_agrotoxicos.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf).

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em 22 mai. 2017.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Recursos Hídricos. Brasília: 2019. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/176-recursos-hidricos>. Acesso em 14 nov. 2019.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

CAMPANHA, M. B.; AWAN, A. T.; DE SOUSA, D. N. R.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. A 3-year study on occurrence of emerging contaminants in an urban stream of São Paulo State of Southeast Brazil. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2015. 22, 7936.

CANELA, M.C.; JARDIM, W.J.; SODRÉ, F.F. E GRASSI, M.T. Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas. Caféina em águas de abastecimento público no Brasil. São Carlos: Editora Cubo, 2014. 100 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Indústria em número. Brasília, 2017. Disponível em: < <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/7/a-industria-em--numeros/#a-industria-em-numeros-dezembro-2017>>.

COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI. [www.coficpolo.com.br](http://www.coficpolo.com.br). Acesso em 15 dez. 2017.

- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo à Economia Circular: O Racional de Negócio para Acelerar a Transição. 2015. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80-economia-circular\\_Updated\\_08-12-15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf)
- GLOBO. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/09/24/76percent-das-empresas-tem-iniciativas-da-economia-circular-mas-70percent-nao-conhecem-o-conceito-diz-cni.ghtml>
- GODOI, M. O. Origem e destino dos resíduos sólidos domiciliares em São Paulo. EESC-USP, 1997.
- IBGE. Classificação Nacional de Atividades Econômicas Versão 2.0. 2007. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv36932.pdf>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2019a. [www.cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/panorama](http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/panorama). Acesso em 11 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2019b. [www.cidades.ibge.gov.br/brasil/salvador/panorama](http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/salvador/panorama). Acesso em 11 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/pesquisa/22/28120?localidade1=29>. Acesso em jan. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da População. 2019. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=25272&t=resultados>
- JURY, W.A., VAUX, JR., H., The role of science in solving the world's emerging water problems. PNAS 44, 2005. 15715-15720.
- LIMA, E. P. da C. Água e Indústria: experiências e desafios. Infinita Imagem, 2018.
- LÓPEZ, I. S.; IZQUIERDO, A. G.; ALCÓN, N. E. Análisis comparativo de las tecnologías de valorización de residuos basadas en la gasificación. In CONAMA2014 - Congreso Nacional del medio ambiente. 2014. pp. 1-22.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Programa Água Doce. 2019. Disponível em: <http://www.mdr.gov.br/seguranca-hidrica/programa-agua-doce>.
- MOCOCK, J.F.B.; PESSOA, C.N.; MONTEIRO, A,T,DA S.; TORRES, A.S.C.G.; RABBANI, E.R.K. Estudo comparativo entre os principais métodos de

dessalinização de águas subterrâneas: revisão de literatura. Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2018.

NASCIMENTO, M.C.B; FREIRE, E.P.; DANTAS, F.A.S; GIANANTE, M.B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. Eng. Sanitária Ambiental, 2019. V.24, n.1, 143-155, DOI: 10.1590/S1413-41522019171125.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of the Air and waste management association. 2006. 56, 709-742.

POPE, C. A.; EZZATI, M.; DOCKERY, DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. New England Journal of Medicine. 2019. 360, 376-386.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.C. Águas doces do Brasil. Instituto de Estudos Avançados da USP. Academia Brasileira de Ciências. Escrituras: São Paulo, 1999.

REVISTA EM DISCUSSÃO!. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. 2014. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/leis-e-propostas-quem-cuida-das-aguas/dessalinizar-a-agua-e-cada-vez-mais-viavel>

SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do estado da Bahia – Documento-síntese. 2014. <http://www.sedur.ba.gov.br/arquivos/File/DocumentoSinteseEstudoRegionalizacao.pdf>

TRIBUNA DA BAHIA ONLINE. Salvador tem um carro por três habitantes. 2018. Disponível em: [www.trbn.com.br/materia/I6836/salvador-tem-um-carro-por-tres-habitantes](http://www.trbn.com.br/materia/I6836/salvador-tem-um-carro-por-tres-habitantes). Acesso em 11 dez. 2019.

TUNDISI, J.G. (coordenador). Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 2014.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. Green growth: from labour to resource productivity - best practice examples, initiatives and policy options. 2013. Disponível em: <http://www.greengrowthknowledge.org/resource/green-growth-labour-resource-productivity-best-practice-examples-initiatives-and-policy>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Towards a pollution-free planet, background report. Nairobi, 2017.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). 2019.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 revision, (ST/ESA/SER.A/366). 2015.

VILAR, O. M.; MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F. Resíduos Sólidos - capítulo 8. In: Zuquette, L.V. (Org.). Geotecnia Ambiental. 1ed. São Paulo: Elsevier, 2015.

VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2018. 2:32–45.

WANKA, S.; MÜNNICH, K.; FRICKE, K. Landfill Mining - Wet mechanical treatment of fine MSW with a wet jigger. *Waste Management*, 2017. 59, 316–323, doi:10.1016/j.wasman.2016.10.050.

WORLD ECONOMIC FORUM – 2014. Global Risks 2014. Ninth edition, 2014. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalRisks\\_Report\\_2014.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalRisks_Report_2014.pdf)

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Cancer. 2018. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. 7 million premature deaths annually linked to air pollution. 2014. Disponível em: [www.who.int/mediacentre/news/2014/air-pollution/en](http://www.who.int/mediacentre/news/2014/air-pollution/en). Acesso em 12 set. 2019.