

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA EM DESASTRES TECNOLÓGICOS

Paulo Augusto Mavaieie Júnior¹; Duran R, Daniela Adalia¹; Antônio Domingues Benetti¹

RESUMO – Na segunda metade do século XX os desastres tecnológicos aumentaram devido ao crescimento econômico que impulsionou a indústria, a mineração, a agricultura e a urbanização. A indústria química começou a sintetizar milhares de novos produtos químicos, enquanto a mineração produzia a matéria-prima necessária para fabricar bens para o consumo da crescente população. O transporte em estradas, ferrovias e hidrovias de materiais que são muitas vezes perigosos e tóxicos cria novos riscos para os corpos de água. Uma característica dos desastres é que eles produzem impactos que afetam um grande número de pessoas, geralmente milhares. Este artigo apresenta seis casos de contaminação causada por acidentes tecnológicos e seus efeitos em humanos ou ecossistemas. Um aspecto importante dos desastres tecnológicos é que a sociedade geralmente aprende com eles e pode tomar medidas para prevenir ou dificultar que aconteçam de novo no futuro.

ABSTRACT– Technological disasters increased in the second half of the 20th century, when economic growth propelled industry, mining, agriculture and urbanization. The chemical industry began synthesizing thousands of new chemicals while mining produced the raw material needed for industry to manufacture goods for consumption of the growing population. Transportation in roads, railways and waterways of materials that are often dangerous and toxic posed new risks to water bodies. One characteristic of disasters is that they produce impacts that affect a large number of people, often thousands of them. This article presents six cases of contamination caused by technological accidents and their effects either in humans or ecosystems. One important feature of technological disasters is that society usually learn from them and can take actions to prevent or make them more difficult to happen in the future.

Palavras-Chave – Desastres tecnológicos; contaminação da água; água e saúde pública

1 - INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde define desastres como eventos onde muitas pessoas são expostas a perigos aos quais são vulneráveis (WHO, 1999). Desastres dão origem a emergências uma vez que as comunidades afetadas não conseguem manejar, sem ajuda externa, as consequências para prevenir doenças, perdas de vida e dos meios de subsistência. Os desastres podem ter origens naturais ou ser resultado de atividades humanas. Entre as primeiras encontram-se os terremotos, furacões, tsunamis, enchentes e estiagens prolongadas. Desastres que resultam de atividades humanas incluem o rompimento de barragens, acidentes em reatores nucleares, despejos

¹) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: pmvaieie01@gmail.com, dduranr@gmail.com, benetti@iph.ufrgs.br, (51) 3388-1204

industriais tóxicos e transporte de substâncias perigosas. No ano de 2015 ocorreram 371 desastres de origem natural e 203 tecnológicos (IFRC, 2016). Uma outra categoria de desastres são os humanitários, causados por conflitos armados, opressão política e religiosa e pobreza, resultando no deslocamento forçado de milhões de pessoas em situações de vulnerabilidade. Um resultado comum de todas estas situações é que resultam, muitas vezes, na contaminação da água, afetando a saúde de ecossistemas e pessoas. Este artigo limita-se a discussão de acidentes tecnológicos.

Desastres tecnológicos normalmente acontecem devido a falhas em equipamentos, sistemas e padrões de segurança. Desastres tecnológicos têm ocorrido principalmente nos séculos 20 e 21. Entre os maiores encontram-se os acidentes na indústria Seveso, Itália (1976), com a liberação de dioxinas para a atmosfera, depósitos com resíduos industriais tóxicos em Love Canal, Estados Unidos (1978), a liberação de gases tóxicos na fábrica de pesticidas da indústria Union Carbide em Bhopal, Índia (1984), os acidentes nucleares de Chernobyl, Ucrânia (1986) e Fukushima, Japão (2011) e o rompimento do navio de transporte de óleo Exxon Valdez, Alaska (1989). No Brasil, destacam-se a contaminação com Césio-137 em Goiânia (1985) e os rompimentos das barragens de armazenamento de rejeitos de mineração das Companhias Samarco e Vale, respectivamente em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambas no estado de Minas Gerais.

Neste artigo são descritos seis acidentes tecnológicos que resultaram em contaminação das águas naturais ou usada para consumo humano. Os casos não estão, necessariamente, entre aqueles classificados como os “maiores” acidentes, mas, representam situações que resultaram na mudança de políticas públicas visando reduzir a probabilidade de reincidência e a devastação de seus impactos.

2 - CASOS DE ACIDENTES TECNOLÓGICOS COM CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA

2.1 - Caso 1: Tubulações de chumbo em sistemas de abastecimento de água (Sedlak, 2014)

Chumbo é um metal tóxico, persistente e cumulativo, associado a danos ao sistema nervoso central, a deficiências de aprendizagem, de audição e de crescimento normal de crianças. A exposição ao chumbo também está associada a aumentos nos riscos de câncer nos pulmões, estômago e bexiga (Smeester *et al.*, 2014).

No Império Romano, chumbo era usado em tubulações de abastecimento de água e utensílios caseiros. Inadvertidamente, os romanos se beneficiavam de uma propriedade de suas águas, ricas em minerais. Estes minerais se precipitavam e formavam depósitos em torno das canalizações, prevenindo a solubilização do chumbo na água.

Vinte séculos depois, chumbo voltaria a ser usado para o abastecimento de água. Ao final do século XIX já estava bem estabelecida a associação entre água contaminada e doenças infecciosas.

Como resultado das ações para melhoria da saúde pública, as cidades iniciaram a implantação de redes de distribuição de água tratada. Nos Estados Unidos, as tubulações que conectam a rede pública e os prédios eram normalmente feitas de chumbo, o mesmo material usado por romanos em sistemas de água. Chumbo é um material maleável e resiste mais a corrosão que outros metais, tornando-o atrativo para uso em canalizações.

Na década de 1970, estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) mostraram que chumbo tetraetílico adicionado à gasolina para melhorar a performance dos motores, estava presente em partículas do ar. Crianças expostas ao chumbo pela respiração mostravam desenvolvimento anormal do sistema nervoso e baixos escores em testes de inteligência. Como resultado, chumbo foi banido da gasolina.

Voltou-se a atenção para a presença de chumbo na água potável. Como os romanos, águas ricas em minerais (águas duras) protegiam a solubilização do chumbo pela deposição de uma camada mineral protetora. Contudo, em cidades onde a água continha poucos minerais (águas leves), havia a solubilização do chumbo dos condutos para a água. O uso de chumbo em tubulações de água levou a um desastre de saúde pública, causando elevadas taxas de mortalidade infantil, nascimento prematuros e morte nas primeiras três décadas do século 20. Na década de 1920, estima-se que 10 por cento da população de Massachusetts tinham envenenamento crônico de chumbo.

Chumbo não é mais usado em novas canalizações, contudo a maioria das antigas não foi substituída. Continuou a ser usado em soldas de canalizações e componentes dos sistemas prediais até a década de 1980, quando foi proibido. Como os romanos, a sorte, mais uma vez, ajudou. A prática de manter um residual de cloro na rede de distribuição de água das cidades contribuiu para diminuir as concentrações de chumbo na água potável. Em águas leves, onde não se forma a camada protetora da calcita, as superfícies das canalizações de chumbo são recobertas com produtos da corrosão muito solúveis, como o carbonato de chumbo, que se encontra no estado de oxidação +II. Na presença de cloro, o chumbo +II é oxidado para o estado +IV, resultando na produção de formas insolúveis de óxidos de chumbo.

Na década de 1970, constatou-se que as reações do cloro com matéria orgânica presente em águas de abastecimento formavam diversos compostos tóxicos, conhecidos como subprodutos da desinfecção (SPD). A EPA estabeleceu concentrações máximas permissíveis para os SPD. Como consequência, cerca de 30% das plantas de tratamento de água substituíram o cloro por cloroaminas, um composto menos reativo e que não forma os SPD regulados pela EPA. Porém, ao contrário do cloro, as cloroaminas causam a reversão da forma insolúvel de chumbo (estado de oxidação +IV) para a forma mais solúvel (+II).

Concentrações elevadas de chumbo na água potável são ainda hoje um grande problema de saúde pública em muitas cidades dos Estados Unidos, como Washington. Cerca de um terço dos mais de seis milhões de sistemas de distribuição de água dos EUA contêm chumbo. Atualmente, cerca de metade das plantas de tratamento de água dos Estados Unidos adicionam fosfatos a água. Em sua presença, a forma solúvel de chumbo (+II) é convertida em formas fosfatadas de chumbo, que são mais insolúveis (+IV).

2.2 - Caso 2: O protozoário resistente a desinfecção (Morris, 2007)

Em abril de 1993, um surto ocorria na cidade de Milwaukee, localizada as margens do lago Michigan em Wisconsin, Estados Unidos. Milhares de pessoas estavam com diarreias fortes, dores abdominais intensas e náusea. Em surtos de doenças infecciosas, a água potável é considerada sempre suspeita porque é usada pela maioria da população. No caso de Milwaukee, entretanto, as análises de qualidade de água distribuída para consumo humano atendiam a todos os padrões estabelecidos para água potável pela Agência de Proteção Ambiental americana. Testes realizados para detecção de bactérias e vírus patogênicos davam negativos. Mais de uma semana decorreu antes de se conhecer a causa do surto.

Análises de fezes de pacientes mostravam a presença do protozoário *Cryptosporidium parvum*. Este parasita havia sido identificado em 1907, mas permaneceu sem maior interesse até a década de 1960 quando foi constatado que era um patógeno importante para o gado. Em 1981, o parasita foi detectado em pacientes com a Síndrome da Imunodeficiência Humana Adquirida (SIDA) sofrendo com diarreias intensas. Em 1993, a presença de *Cryptosporidium* na água não era considerada importante, a ponto de não estar nos padrões de potabilidade da água na legislação americana. A técnica de análise do parasita na água havia sido desenvolvida poucos anos antes. A comprovação da presença de *Cryptosporidium parvum* na água tratada de Milwaukee veio através de amostras coletadas em uma fábrica de gelo preparado com água de abastecimento da semana anterior ao início do surto.

Os oocistos de *Cryptosporidium* possuem um composto chamado quitina, o mesmo presente em formigas e outros artrópodes. Isto possibilita que permaneçam viáveis por vários meses no ambiente. O surto ocorreu no início da primavera, quando os campos da bacia hidrográfica foram lavados pelo degelo e por chuvas intensas. Os oocistos, presentes na água captada no lago Michigan, entraram na estação de tratamento e passaram por todas os processos, incluindo a filtração e a cloração.

Avaliações mais detalhadas das análises de água monitoradas na planta de tratamento mostraram, durante um período, um pico desproporcional de turbidez na água tratada. Embora o

valor da turbidez ainda respeitasse o padrão de qualidade, foi concluído que aquele pico de turbidez estava relacionado a presença dos oocistos de *Cryptosporidium*.

O episódio de Milwaukee teve consequências muito importantes nas políticas de regulação do tratamento de água para consumo humano. Maior relevância foi dada a etapa de filtração da água. As tecnologias de membrana tiveram grande impulso. Também foi verificado que a radiação ultravioleta (UV) é muito eficaz na inativação dos oocistos. Em 2013, a cidade de Nova York inaugurou a maior planta de desinfecção UV do mundo, um investimento de US\$1,6 bilhões. A descoberta da presença deste patógeno na água refletiu-se também na legislação de qualidade da água do Brasil. O Ministério da Saúde passou a exigir o monitoramento de *Cryptosporidium* nos pontos de captação de água que apresentam médias geométricas anuais de *Escherichia coli* superiores a 1000 org/100 ml, entre outros requerimentos (Brasil, 2011). Outra consequência importante foi a redução no valor permitido da turbidez da água potável, de 1,0 uT para 0,5 uT. Na última revisão de sua Guias de Padrões de Qualidade da Água para Consumo Humano, a Organização Mundial da Saúde recomenda que a média dos valores de turbidez na saída dos filtros em estações de tratamento de água seja menor ou igual a 0,2 UNT e nunca superior a 0,5 UNT (WHO, 2017).

2.3 - Caso 3: O veneno no Reno (Capel *et al.*, 1988)

Em primeiro de novembro de 1986, um incêndio no prédio de armazenamento de produtos químicos da indústria Sandoz, junto a cidade de Basileia na Suíça, resultou na contaminação de solos, ar, águas subterrâneas e do rio Reno. Grande parte dos contaminantes foram transportados ao rio através da drenagem dos 10.000 a 15.000 m³ da água usada para combate ao incêndio, que durou cerca de seis horas. Cerca de 90 produtos químicos estavam armazenados no local, entre os quais 20 pesticidas. A maioria das 1.300 toneladas de produtos armazenados foram destruídos pelo fogo, mas estima-se que cerca de 3% chegaram ao rio Reno. O acidente é considerado um dos mais importantes já ocorridos com despejos químicos.

O rio Reno é um dos mais importantes da Europa. Nasce nos Alpes suíços e percorre 1.230 km até chegar ao mar do Norte. É essencial para o sistema de navegação da Europa central e era a fonte de abastecimento de água para 12 milhões de pessoas na Suíça, França, Alemanha e Holanda. Na bacia hidrográfica localizavam-se importantes atividades industriais, agrícolas e de mineração, que contribuía, à época, para a poluição do rio.

A pluma de contaminação da água era muito colorida devida a presença do corante Rodamina B. Cinco estações de monitoramento foram imediatamente implementadas para acompanhar as concentrações de pesticidas, que variaram entre 0,05 a 600 µg.L⁻¹ 14 km à jusante do local do acidente. A biota do rio foi afetada em centenas de km à jusante do despejo, especialmente os

organismos bentônicos e peixes, que foram erradicadas nos primeiros 400 km. A concentração máxima de pesticidas na foz do rio Reno ocorreu 12 dias após o despejo, que é o tempo de residência da água entre a Basiléia e o Mar do Norte.

O monitoramento dos pesticidas na água e modelo matemático mostraram um comportamento na forma de cauda, refletindo o transporte dispersivo e a retenção dos compostos em áreas estagnadas do rio. Junto ao local do acidente, as massas dos contaminantes que eram densos e imiscíveis se depositaram junto aos sedimentos. Este material foi transportado para jusante através das correntes de água, depositando-se em zonas de menor turbulência dos reservatórios do rio.

Em poucos meses, o rio Reno eliminou todos os pesticidas drenados pelo incêndio, com exceção do mercúrio e do endossulfano. Peixes retornaram ao rio Reno em abril de 1987. A fauna bentônica recuperou-se um ano após o acidente. A companhia Sandoz incorreu em perdas econômicas grandes devido a compensações causadas pelos danos ambientais. Após o acidente, foi estabelecido o Programa de Ação do Reno com objetivo de purificar suas águas e possibilitar o retorno de espécies como o salmão, que antes habitavam suas águas. Regulamentos foram criados, como o Decreto de Acidentes com Produtos Perigosos e a Diretiva da União Europeia Seveso II, que objetivaram reduzir os acidentes com resíduos perigosos e as suas consequências caso voltassem a ocorrer. Estas ações ajudaram no desenvolvimento e implementação de técnicas de gerenciamento de riscos.

2.4 - Caso 4: Toxinas na água em clínica de hemodiálise (Azevedo *et al.*, 2002)

Em 1996, a cidade de Caruaru, Pernambuco, vivenciou o primeiro surto de envenenamento humano causado por toxina produzida por cianobactérias. O episódio ocorreu em uma clínica de hemodiálise da cidade. Cento e dezesseis pacientes de um total de 131 tiveram sintomas de distúrbios visuais, náusea, vômitos, fraqueza muscular e dores de cabeça. Cem pacientes desenvolveram falhas agudas da função hepática e 52 morreram.

A diálise é realizada em pessoas cuja função renal encontra-se comprometida, substituindo a função dos rins. Na diálise, o excesso de água, toxinas e solutos do sangue são removidos pela passagem através de uma membrana semipermeável enquanto um fluido especial de diálise se movimenta no sentido oposto. Este fluido é constantemente removido para maximizar o gradiente de concentração de solutos entre o sangue e o fluido. Água usada em diálise deve ser de alta qualidade e tratada por osmose reversa. Normalmente são usados 120 - 200 litros de água por sessão de hemodiálise.

No verão de 1996, a água usada na clínica de hemodiálise de Caruaru vinha diretamente do reservatório Tabocas, um manancial eutrofizado pelo recebimento de nutrientes de áreas agrícolas e urbanas. As espécies de cianobactérias mais comuns no reservatório eram *Microcystis*, *Anabaena* e

Cylindrospermopsis, as duas primeiras capazes de produzir as toxinas microcistina e a terceira, cilindrospermopsina. Ambas causam morte por hemorragia do fígado dentro de algumas horas após o recebimento de uma dose aguda. A água chegava na clínica através de caminhões-tanque da companhia de saneamento. Esta água podia receber cloro se o motorista considerasse que a turbidez estava alta. Na clínica, a água recebia tratamento no ponto-de-uso através de filtros de areia, de carvão ativado e de troca iônica, com o objetivo de remover partículas, compostos orgânicos dissolvidos e íons. A água ainda passava por filtro microporoso antes de ser usado na hemodiálise. Osmose reversa não estava sendo usada na clínica.

Os sintomas das pessoas afetadas pela doença conduziram a suspeita que poderia ser intoxicação por hepatotoxinas produzidas por cianobactérias. Amostras dos filtros de areia, carvão ativado, resinas catiônicas e aniônicas usadas no tratamento da água para diálise foram analisadas, constatando-se a presença de microcistinas com valores entre $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $2,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Cilindrospermopsinas estavam presentes nas amostras de carvão ativado na concentração de $19,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. A concentração estimada de microcistina na água de diálise usada foi de $19,5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, cerca de 20 vezes a concentração máxima recomendada pela Organização Mundial da Saúde em sua quarta edição (WHO, 2011) ($1,0 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Todas as pessoas afetadas tiveram confirmação da presença de microcistina no fígado, com concentração média de $223 \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. O exame histopatológico de tecidos do fígado mostrou similaridade com exames em animais de laboratório expostos a microcistina. As evidências apontavam que a origem das microcistinas que causaram a morte dos pacientes era a água do reservatório Tabocas. A aplicação de cloro na água transportada pelos caminhões-tanque causou lise celular das cianobactérias, liberando as microcistinas intracelulares na água. As concentrações de cianobactérias no reservatório Tabocas eram suficientes para produzir as concentrações de toxinas que levaram as intoxicações agudas observadas. O tratamento de água usado na clínica era insuficiente ou estava com sua capacidade esgotada para remover as toxinas da água.

A eutrofização de reservatórios por nutrientes produzidos por atividades humanas é um problema de poluição da água de difícil, mas não impossível, solução, uma vez que envolve contribuições de fontes pontuais e difusas. Manejo de bacias hidrográficas para reduzir as cargas de nutrientes, monitoramento e melhorias nos processos de tratamento de água são necessários. Os processos convencionais usados para tratar a água nas cidades brasileiras, constituídos por coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração não são suficientes para remover toxinas produzidas por cianobactérias em corpos de água com altas concentrações destes organismos.

A legislação brasileira atualmente estabelece a exigência de monitoramento de cianobactérias nos pontos de captação de água. Quando a concentração de cianobactérias for superior a 20.000 células por ml, devem ser realizadas análises semanais de cianotoxinas no ponto de captação. Na

água potável, as concentrações máximas permitidas foram fixadas em $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente para microcistinas e saxitoxinas (Brasil, 2011).

2.5 - Caso 5: Envenenamento por mercúrio em Minamata (Ekino *et al.*, 2007)

Nos primeiros anos da década de 1950, residentes da Baía de Minamata receberam envenenamento agudo por metilmercúrio (MeHg), resultando em doenças neurológicas severas. A enfermidade recebeu o nome de Doença de Minamata (DM). As principais rotas de exposição do MeHg foram peixes, moluscos e crustáceos. Uma planta química (Chisso Corp.) produtora de acetaldeído formava cloreto de metilmercúrio como subproduto do processo industrial. Acetaldeído é um produto intermediário da fabricação de plásticos, que tinha grande demanda após a II Guerra Mundial. A Chisso Corp. tinha muita influência na região, contribuindo com mais da metade dos impostos recolhidos e sendo a principal empregadora de mão de obra.

O metil mercúrio estava presente nas águas residuárias da indústria. Os despejos foram lançados durante anos na baía de Minamata, mas depois foram desviados para a foz do rio Minamata, resultando na expansão da contaminação para o Mar Shiranui. O despejo contendo MeHg continuou até 1968. As pessoas residentes na área, que dependiam do consumo de alimentos do mar continuaram expostas ao envenenamento crônico por mercúrio. O número de pacientes oficialmente aceitos como recebendo envenenamento agudo de mercúrio era 2.264 em 1960. Contudo, o número de casos suspeitos é 200 mil, com 17 mil sendo ainda hoje investigados.

A Doença de Minamata, conforme ficou conhecida, tinha como principais sintomas, visão embaçada, perda de audição, distúrbios no gosto e no olfato, movimentos do corpo descoordenados, desordens de linguagem, dormência de extremidades e distúrbios psiquiátricos. O primeiro diagnóstico da DM foi feito em 1956 e casos agudos cessaram após 1960. Crianças nascidas de mães expostas ao MeHg tiveram sérios problemas de desenvolvimento mental e motor. O MeHg foi reconhecido, a partir de Minamata, como sendo neurotóxico, afetando o desenvolvimento do cérebro.

Uma das ações que resultaram da contaminação por mercúrio foi a criação, pelo Ministério do Meio Ambiente do Japão, do Instituto Nacional para a Doença de Minamata (Japan, 2018). O instituto mantém arquivos sobre a doença, desenvolve pesquisas sobre métodos analíticos, prevenção da contaminação, destino e transformação do mercúrio no ambiente, entre outras atividades.

2.6 - Caso 6: Contaminação do rio Pamplonita, Colômbia, por petróleo (ECOPETROL, 2017)

O oleoduto Caño Limon – Coveñas, localizado no departamento de Arauca - Colômbia, está em operação desde 1983, transportando em média 73.000 barris de petróleo por dia. É usado para abastecer o oeste colombiano e a demanda de exportação. Segundo a Empresa Colombiana de

Petróleo (ECOPETROL), nos últimos 17 anos, os desastres humanitários causados por conflitos armados na Colômbia resultaram no despejo de cerca de 66 milhões de galões do fluido nos ecossistemas, impactando os territórios que atravessam os 778 quilômetros de comprimento do oleoduto. Em toda sua história, este oleoduto sofreu 1.470 ataques e sua operação tem sido interrompida com frequência ao longo dos anos.

Contudo, os ataques não são os únicos problemas que se registram em torno do oleoduto. A instalação de válvulas ilegais para roubar o fluido têm se tornado um fenômeno recorrente. Entre 2015 e 2018 foram detectadas cerca de 1.740 válvulas ilegais na região do Catatumbo, no norte da Colômbia. Estas ações ocasionaram a contaminação de 14.067 m² de solo e mais de 3.936 m² de fontes de água por derramamento de 749 barris de petróleo. A situação torna-se pior porque os grupos ilegais utilizam somente 38% do produto, com os 62% restantes sendo despejados em solos, rios e em regiões alagadas.

Devido a instalação de válvulas ilegais, no dia 2 de junho ano 2007, no quilômetro 238 do oleoduto, na cidade de Chinacota, ocorreu o derramamento de 9.316 barris de petróleo bruto no rio Pamplonita. Esse rio é a principal fonte de abastecimento do aqueduto de Cúcuta, a capital do estado de Santander, no nordeste da fronteira da Colômbia com a Venezuela. Esta situação obrigou ao fechamento da rede de distribuição de água por nove dias e deixou sem abastecimento mais de 480.000 habitantes, cerca de 70% da população total de Cúcuta. A companhia petroleira contava com um plano de contingência que incluía reservatório de controle, mas o mesmo não funcionou no momento do derramamento devido à falta de manutenção. Essa situação levou ao fechamento de comportas na área de captação das estações de tratamento da cidade, ocasionando o desabastecimento. Somente cinco dias depois do derramamento foram instalados filtros para retenção do óleo na área de captação e nas estruturas de controle (MALDONADO et al., 2007).

Um aspecto importante sobre os desastres tecnológicos ocorridos no Oleoduto Caño Limon - Coveñas é que ajudou na criação do “Sistema Nacional de Gestão do Risco de Desastres”, a partir da lei 1523 do ano 2012. Atualmente o sistema é composto por seis níveis de orientação e coordenação dos riscos as quais tem prevenido que ocorram situações similares as do ano 2007.

3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desastres tecnológicos ocorrem devido a falhas humanas, de materiais ou de tecnologia. Uma característica comum em quase todos os casos de contaminação da água que geram emergências é que o problema de saúde pública aparece antes que se conheçam as causas do surto. Assim foi visto com a associação do chumbo com as dificuldades de crianças na aprendizagem, do protozoário *Cryptosporidium* com gastroenterites, das microcistinas com a morte de pacientes de hemodiálise e mercúrio com a Doença de Minamata. Mesmo no caso da descarga de pesticidas no rio Reno,

constatou-se que as propriedades dos compostos eram desconhecidas, o que dificultou na avaliação dos seus mecanismos de transporte e transformação no ambiente.

Uma outra característica é o aprendizado que estes desastres trazem em termos de conhecimento científico e no estabelecimento de políticas públicas que objetivam reduzir os riscos de que tais eventos ocorram novamente. Isto foi verificado nos seis casos abordados neste artigo.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.; RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. (2002) “*Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru, Brazil*”. *Toxicology*, v. 181-182, pp. 441-446.

BRASIL. Ministério da Saúde (2011). Portaria No 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF.

CAPEL, P.D.; GIGER, W.; REICHERT, P.; WANNER O. (1988) “*Accidental input of pesticides into the Rhine river*”. *Environmental Science & Technology*, v. 22, pp. 992-997.

ECOPETROL - EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEO (2017). “*17 Años de Violencia Arremetida contra el Oleoducto Caño Limón-Coveñas*”. Informe Anual. Bogotá, Colombia, 30 p

EKINO, S.; SUSA, M.; NINOMIYA, T.; IMAMURA, K.; KITAMURA, T. (2007). “*Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning*”. *Journal of Neurological Sciences*, v. 262, pp. 131-144.

INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES (IFRC) (2016). “*World disasters report 2016*”. IFRC, Geneva, Switzerland, 282 p.

JAPAN. Ministry of the Environment. “*Minamata Disease Archives*” <http://www.nimd.go.jp/archives/english/index.html>. Acesso em 18 de maio de 2018.

MALDONADO, J.L.; RAMON, J.A.; ROMERO, L.F. (2007) “*Manejo de la contaminación con petróleo crudo en el acueducto de Cúcuta*” *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo* 2, pp. 1-9.

MORRIS, R.D. (2007). *The blue death: The intriguing past and present danger of the water you drink*. Harper, New York, 310 p.

SEDLAK, D. (2014). *Water 4.0. The past, present and future of the world's most vital resource*. Yale University Press, New Haven, 332 p.

SMEESTER, L.; YOSIM, A.E.; FRY, R.C. (2015). “*Chemical hazards*”, in *Routledge Handbook of Water and Health*. Ed. por Bartram, J., ed. Routledge, Oxford/UK, pp. 107-121.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO (1999). “*Community emergency preparedness: A manual for managers and police-makers*”. WHO, Geneva, 147 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO (2017). “*Guidelines for drinking water quality*”. WHO, Geneva, 541 p.