



Éter decabromodifenílico
(DecaBDE – *decabromodiphenyl ether*)

CONSULTOR: Cláudio Eduardo de Azevedo e Silva

Inventário de éter decabromodifenílico (DecaBDE - *decabromodiphenyl ether*) no Brasil, entregue como parte produto final do convênio entre a Fundação Educacional Ciência e Desenvolvimento (FECD) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Rio de Janeiro, dezembro de 2020



Sumário

1.	INTRODUÇÃO	7
1.1.	DecaBDE como Poluente Orgânico Persistente	9
1.2.	Produção	14
1.3.	Aplicações	15
1.4.	Alternativas	15
2.	INVENTÁRIO DO DecaBDE NO BRASIL	17
2.1.	Produção	19
2.2.	Comércio	19
2.3.	Aplicações e Indústrias Nacionais	22
2.4.	Legislação	25
3.	OCORRÊNCIA DE decaBDE NO BRASIL	29
3.1.	DecaBDE em matrizes ambientais abióticas	31
3.2.	DecaBDE em matrizes ambientais bióticas	36
3.2	DecaBDE em bens de consumo	40
4.	PLANOS DE AÇÃO	41
4.1.	Reciclagem	41
4.2.	Comércio Exterior do DecaBDE	41
5.	REFERÊNCIAS	43
6.	ANEXOS	51



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Balanço comercial (importação e exportação) de éter decabromodifenílico em tonelada líquida, no período entre 1989 e 1996. Fonte: Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>). 21
- Figura 2:** Balanço comercial (importação e exportação) de produtos registrados sob os NCM: 29033929 -Outros derivados bromados (verde); 29039929 - Outros derivados halogenados, unicamente com bromo (laranja) e 29093019 - Outros éteres aromáticos (roxo), em tonelada líquida, no período entre 1997 e 2019. Fonte: Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>). 22
- Figura 3:** Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente fazer aplicação de decaBDE em seus processos ou em seus produtos 25
- Figura 4:** Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de decaBDE no Brasil 33



LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmulas (química e estrutural) e outras informações do éter decabromodifenílico (decaBDE - decabromodiphenyl ether). Adaptado de UNEP, 2019. 8

Quadro 2: As exceções específicas para a produção e o uso do c-decaBDE da decisão SC-8/10. 12

Tabela 1 - Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida do éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) consultadas pelo Ministério do Meio Ambiente: número de ofícios enviados, número de empresas privadas, número de associações e número de respostas. 18

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PBDE	Éteres Difenílicos Polibromados
DecaBDE	Éter decabromodifenílico
PentaBDE	Éter pentabromodifenílico
OctaBDE	Éter octabromodifenílico
Log Kow	Partição octanol/água
PBDF	Dibenzofuranos polibromados
PBDD	Dibenzodioxinas polibromadas
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
CAS	Chemical Abstracts Service
RTECS	Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
HIPS	Poliestireno de Alto Impacto
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
BMF	<i>Biomagnification Factor</i>
TMF	<i>Trophic Magnification Trophic</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
RoHS	<i>Restriction of Certain Hazardous Substances</i>
EEE	Equipamentos eletroeletrônicos
HIPS	Poliestireno de Alto Impacto
EVA	Etileno-acetato de vinila
EPDM	Terpolímero de etileno-propileno-dieno
TPE	Elastômeros termoplásticos
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno



PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PP	Polipropileno
PAs	Poliamidas
PPO	Polióxido de fenileno
ATO	Trióxido de antimônio
RDP	Resorcinol bis(difenilfosfato)
BDP/BAPP	Bisfenol A bis(difenilfosfato)
TPP	Triphenyl phosphates
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NCM	Nomeclatura Comum do Mercosul
EBTBP	Etileno bis(tetrabromoftalimida)
MDH	Hidróxido de magnésio
TPP	Trifenilfosfato
ATH	Trihidróxido de alumínio
DBDPE	Decabromodifeniletano
NBM	Nomenclatura Brasileira de Mercadorias
SISCOMEX	Sistema de Comércio Exterior
e-SIC	Sistema Eletrônico do Serviço de Informações ao Cidadão
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
BTBPE	(1,2-bis(2,4,6-tribromophenoxy) ethane)
GAPS	<i>Global Atmospheric Passive Sampling</i>
GRULAC	<i>Group of Latin American and Caribbean Countries</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CEMPRE	Cadastro Central de Empresas
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática



1. INTRODUÇÃO

Os éteres difenílicos polibromados (PBDEs – *polybrominated diphenyl ethers*¹), grupo do qual o decaBDE (éter decabromodifenílico) faz parte, pertencem a uma classe de compostos amplamente utilizados como retardantes de chamas em diversos materiais (EC, 2002). As moléculas caracterizam-se por dois anéis aromáticos ligados por um átomo de oxigênio, além de 1 a 10 átomos de bromo substituindo os hidrogênios no anel aromático. De acordo com a quantidade de átomos de bromo e as posições ocupadas por eles, podem ser formados 209 congêneres, que são distribuídos em 10 grupos homólogos que possuem o mesmo número de átomos de bromo. Estes grupos homólogos são identificados pelo prefixo mono, di, tri, tetra, penta, hexa, hepta, octa, nona e decaBDE (PESTANA et al., 2008; ATSDR 2017; ANNUNCIACÃO et al., 2018). As misturas comerciais são predominantemente compostas por pentaBDE, octaBDE e decaBDE, podendo variar na composição de congêneres (EC, 2002; LA GUARDIA et al., 2006). O pentaBDE e o octaBDE possuem 46 e 12 isômeros, respectivamente, enquanto que o decaBDE, por ter todos os hidrogênios substituídos por bromos no anel aromático, só apresenta um congênere no grupo (ATSDR, 2017), mas pode conter níveis traços de congêneres dos grupos octa e nona-BDEs (ex: octaBDE-196, 197 e 203/nonaBDE-206, 207 e 208) no produto comercial (LA GUARDIA et al., 2006).

O decaBDE é uma molécula com peso molecular de 959,22, com valores de densidade de 3,0 e 3,25 g mL⁻¹. O ponto de fusão do composto está entre 290 e 306°C e a sua decomposição ocorre acima de 400°C. Cabe ressaltar que a pirólise do decaBDE comercial e de polímeros que o contêm podem levar à formação de dibenzofuranos polibromados (PBDF), maior produção entre 400-500°C, e dibenzodioxinas polibromadas (PBDD). O trióxido de antimônio, que é amplamente usado junto com o decaBDE, desempenha um papel catalítico na formação de ambos os compostos. A formação de PBDF e, em certa medida, PBDD, pode ocorrer quando o decaBDE e produtos que o contêm são aquecidos a 300-

¹ *A fim de padronizar e facilitar futuras buscas de informação a respeito do éter decabromodifenílico, a sigla em inglês decaBDE (*Decabrominated Diphenyl Ether*) foi adotada ao longo do texto.



800°C (WHO, 1994; ATSDR, 2017). Outras informações sobre o composto podem ser vistas no quadro abaixo:

Quadro 1: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmulas (química e estrutural) e outras informações do éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*). Adaptado de UNEP, 2019.

Nome comum	Éter decabromodifenílico (<i>decaBDE - decabromodiphenyl ether</i>)
Nome IUPAC	<i>1,1'-Oxybis(pentabromobenzene)</i>
Estrutura molecular	
Fórmula molecular	C ₁₂ Br ₁₀ O
Partição octanol/água	Log Kow - 6,265
Solubilidade em água	20-30 µg L ⁻¹ (25°C)
Sinônimos	Éter bis(pentabromofenila), óxido de decabromodifenila, óxido de decabromobifenila, óxido bis(pentabromofenila), éter decabromofenílico, éter decabromobifenílico, éteres 2,2', 3,3', 4,4', 5,5', 6,6'-decabromobifenílico, éter perbromodifenílico, fenoxibenzeno de decabromo, derivados de 1,1' oxibis-decabromo benzeno, decabromo, 1,1'-oxibis (2,3,4,5,6-pentabromobenzene), 6,6'-oxibis (1,2,3,4,5-pentabromobenzene), BDE-209, PBDE 209, PBED 209, DecaBDE, DBDPE* ¹ , DBBE, DBBO, DBDPO.
Número CAS *²	1163-19-5 (atual), 109945-70-2, 145538-74-5, 1201677-32-8.
Nomes comerciais genéricos	AC1L23S1, Adine 505, AFR 1021, AK113820, BRN 2188438, AI3-27894, AN-20620, BC003385, Berkflam B10E, BR55N, BR 100, Bromkal 70-5, Bromkal 81, Bromkal 82-0DE, Bromkal 83-10 DE, Caliban F/R-P 39P, Caliban F/R-P 44, CHEBI: 82436, Chemflam 011, Fire cut 83D, CCRIS 1421, ChEMBL229975, DTXSID9020376, DSSTox_GSID_20376, DB 10, DB 101, DB 102, DE 83, DE-83R, DE-83-RTM, DP 10F, EB 10, EB 10FP, EB 10W, EB 10WS, EBR 700, Flame Cut BR 100, Flamecut 110R, FR 10 (éter), FR-PE, FR-PE (H), FR P-39, FR-1210, FR 300, FR-300-BA, FR 330BA, FR P-39, FRP 53, FR-PE, FR-PE(H), Planelon DB 100, Planelon DB 101, Phoscon Br-250, Plasafety EB 10, Tardex 100, MCULE-1193062842, NCGC00357196-01, NC-1085, NCI-C55287, Nonen DP 10, Nonen DP 10 (F), N80BQ29A0H, Octoguard FR-01, HFO-102, Hexcel PF1, HSDB 2911, Saytex 102, Saytex 102E, SCHEMBL33901, UNII-N80BQ29A0H, I884, KB-247349, Thermoguard 505, WHHGLZMJPXIBIX-UHFFFAFAYSA-N, ZINC150339491, ST2418855, TL8000475, D1388, FT-0623082, ST51043356, C19383, C-27421, I14-4026, J-003425, 109945-70-2, 1201677-32-8, Mistura comercial de DecaBDE, DecaBDE técnico, DeBDE técnico.



Número NSC	82553 (DTP/NCI)
Número RTECS	KN3525000 (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH))
Número EC	214-604-9 = EINECS No: 214-604-9

(WHO, 1994, EC, 2002; ECHA, 2012; 2013; UNEP, 2013; ATSDR, 2017; NCBI, 2018). *¹ - DBDPE também é usada como abreviação de Decabromodifenila etano CAS no. 84852-53-9 (UNEP, 2013). *² - No passado, os números CAS: 109945-70-2, 145538-74-5 e 1201677-32-8 também foram utilizados e formalmente excluídos, mas ainda podem estar em uso prático por alguns fornecedores e fabricantes (UNEP, 2015).

1.1. DecaBDE como Poluente Orgânico Persistente

As emissões de misturas comerciais podem ocorrer ao longo de todo o ciclo de vida dos PBDEs, com ênfase na produção, no uso e no gerenciamento de resíduos, como por exemplo aterros e incineração (REDFERN et al., 2017). Após a emissão, dependendo do ecossistema, o decaBDE preferencialmente é adsorvido na matéria orgânica de partículas em suspensão (ar ou água), lodo de esgoto, sedimentos e solo (ECHA, 2012).

Na atmosfera, o decaBDE se associa ao material particulado, sendo suscetível à deposição úmida e seca. No solo, a mobilidade do composto será baixa, devido a sua baixa solubilidade em água. No ambiente aquático, o decaBDE se associará principalmente ao sedimento, pois possui uma alta partição octanol/água (Log Kow - 6,265). Dessa forma, sedimentos e solos são os compartimentos ambientais primários em que o decaBDE se associará após a liberação no ambiente. Conseqüentemente, o transporte dele está associado à mobilidade das partículas que o composto está adsorvido (ECHA, 2012). Assim o transporte do decaBDE será influenciado pelo vento, correntes, processos de erosão e lixiviação, com influência das variações climáticas das estações.

Os PBDEs são encontrados em diversos ecossistemas, ocorrendo inclusive no Ártico, o que é uma prova do seu potencial para o transporte ambiental de longo alcance. O composto já foi encontrado em vários compartimentos ambientais da região, assim como: ar, sedimento, neve, gelo e biota (UNEP, 2013; REDFERN et al., 2017). Decorrente de suas propriedades físico-químicas, o seu transporte atmosférico de longo alcance parece ser controlado pela mobilidade atmosférica das partículas às quais está associada. Partículas mais finas podem permanecer no ar por horas ou dias, desde que não sejam removidas por deposição úmida. Além disso, verificou-se que as partículas podem proteger a molécula decaBDE da fotólise



e prolongar sua vida útil no ar para mais de 200 dias. Após depositado, o decaBDE pode apresentar longas meia-vidas no solo e no sedimento, dependendo das características físico-químicas do ambiente (por exemplo: luz e temperatura), podendo alcançar meses e até anos (UNEP, 2013).

O potencial de biotransformação do decaBDE para metabólitos mais tóxicos e bioacumuláveis foi considerado um motivo válido para restrições do uso e produção de c-decaBDE. A debrominação do decaBDE na biota foi confirmada por estudos de campo e laboratório, que investigaram a biotransformação deste composto no ambiente natural e em ambiente controlado (laboratório) (UNEP, 2013). O decaBDE, além de sofrer debrominação, também pode gerar congêneres de PBDFs e metabólitos hidroxilados (CHRISTIANSSON et al., 2009; FENG et al., 2010). Christiansson e colaboradores (2009) ressaltam que estudos já demonstraram que a debrominação do decaBDE pode ocorrer por redução anaeróbia em sedimentos, lodo de esgoto e por bactérias. No entanto, os pesquisadores destacam que a fotólise também pode gerar congêneres debrominados, pertencentes aos grupos heptaBDE, octaBDE e nonaBDE. Entre eles, os autores ressaltam o BDE183 e o BDE153, que são dois importantes congêneres encontrados no ambiente (CHRISTIANSSON et al., 2009). De acordo com Feng et al. (2010), o decaBDE também pode sofrer debrominação em peixe (truta arco-íris - *Oncorhynchus mykiss*) e formar metabólitos hidroxilados, assim como, o 5MBDE47 (tetra-MeO-BDE), que foi o congênere com maior ocorrência nas amostras e concentração do estudo citado (FENG et al., 2010). Entre os 27 PBDEs individuais analisados, 20 congêneres foram detectados com a seguinte distribuição entre os grupos homólogos: monoBDE (3), diBDE (17, 15), triBDE (28), tetraBDE (47, 49, 66, 71, 77), pentaBDE (85, 99, 100, 119, 126), heptaBDE (183, 184), octaBDE (197), nonaBDE (206, 207) e decaBDE (209). O BDE-47 foi o metabólito debrominado que apresentou maior ocorrência, seguido pelos congêneres BDE-49 e BDE-71, enquanto que o BDE-207 foi o metabólito debrominado que apresentou as maiores concentrações, seguido pelo BDE-197 e BDE-206 (FENG et al., 2010).

O decaBDE foi detectado na biota de diferentes ecossistemas, tanto aquático quanto terrestre, em diversas localizações geográficas. Este composto é capaz de biomagnificar em teias alimentares terrestres e aquáticas. O Fator de Biomagnificação (*Biomagnification*



Factor – BMF) e o Fator de Magnificação Trófica (*Trophic Magnification Trophic* – TMF) foram usados para avaliar a ocorrência de biomagnificação (BMFs > 1 e TMFs > 1). Os valores de BMFs variaram entre 1,4 e 7 em organismos terrestres e entre 0,02 e 34 em organismos aquáticos, enquanto que os valores de TMF variam entre 0,2 e 10,4 em teias alimentares aquáticas. A amplitude dos valores observados de BMFs e TMFs pode ser associada às diferenças interespecíficas, os tipos de amostras (músculo, corpo todo e gordura), dieta, exposição, gênero, comprimento, tipo de cadeia alimentar, e etc (UNEP, 2013).

O decaBDE promove efeitos adversos para diferentes organismos, tanto invertebrados quanto vertebrados, incluindo os seres humanos. Os efeitos alcançam diferentes níveis de organização biológica, desde baixos (alterações bioquímicas e celulares) até altos (sobrevivência, crescimento e reprodução). Nos vertebrados, os principais alvos da toxicidade do decaBDE parecem ser o fígado, a tireoide e o sistema nervoso (UNEP, 2013). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC – *International Agency for Research on Cancer*) classificou o PBDEs como 2A, ou seja, provavelmente carcinogênico para humanos. Entre as justificativas estão: congêneres de PBDEs são indutores potentes e eficazes de enzimas metabolizadoras de xenobióticos; congêneres de PBDEs, assim como seus análogos clorados, são ligantes para vários receptores celulares e nucleares; em estudos de longo prazo, os PBDEs induzem alterações hepáticas microscópicas em roedores (por exemplo: inchaço hepatocelular, desorganização e proliferação do ducto biliar) e alterações microscópicas leves nas glândulas tireoides. Além disso, após exposição aos PBDEs foi observada imunocompetência reduzida em roedores, aves, bovinos, suínos e humanos (IARC, 2016).

1.1.1. Convenção de Estocolmo

O Brasil, como signatário da Convenção de Estocolmo, deve adotar medidas de eliminação e/ou restrição de POPs, incluindo o decaBDE. Em 2017, a Conferência das Partes da Convenção de Estocolmo determinou, no anexo A, por meio da decisão SC-8/10, a produção e o uso de éter decabromodifenílico proibidos, exceto para as partes que notificaram o Secretariado de sua intenção de produzi-lo e/ou utilizá-lo nos termos do Artigo



4 (BRASIL, 2018). As exceções específicas para a produção e o uso do c-decaBDE se encontram no quadro abaixo:

Quadro 2: As exceções específicas para a produção e o uso do c-decaBDE da decisão SC-8/10.

Produção	Conforme permitido pelas Partes relacionadas no Registro
Uso	<ul style="list-style-type: none"> - Aeronaves para as quais foi solicitada a homologação antes de dezembro de 2018 e recebida antes de dezembro de 2022 e peças de reposição para essas aeronaves; - Produtos têxteis que exigem características anti-inflamáveis, exceto vestuário e brinquedos; - Aditivos em utensílios plásticos e peças utilizadas para consertar eletrodomésticos, ferros, ventiladores, aquecedores de imersão que contenham ou estejam em contato direto com peças elétricas ou que devem seguir os padrões de retardamento de chamas, em concentrações inferiores a 10 por cento do peso da peça; - Espuma de poliuretano para isolamento de edifícios; - Peças para uso nos veículos especificados no parágrafo 2 da Parte IX deste Anexo.

O parágrafo 2 da Parte IX da decisão SC-8/10 consta abaixo:

“Parte IX

2. Poderão estar disponíveis exceções específicas para a produção e o uso do éter decabromodifenílico comercial em peças utilizadas em veículos, limitadas às seguintes especificações:

(a) Peças utilizadas em veículos antigos, definidos como veículos que pararam de ser produzidos em massa, e cujas peças se encaixam em uma ou mais das seguintes categorias:

(i) Peças da cadeia cinemática e peças sob o capô, como cabos de massa da bateria, cabos de interconexão da bateria, tubos de ar-condicionado portáteis (MAC), cadeias cinemáticas, buchas do escapamento, isolamento do capô, fiação e chicote sob o capô (fiação do motor, etc.), sensores de velocidade, mangueiras, módulos de ventiladores e sensores de detonação;

(ii) Peças do sistema de combustível, como mangueiras de combustível, tanques de combustível e tanques de combustível sob a carroceria;



(iii) Dispositivos pirotécnicos e peças afetadas por dispositivos pirotécnicos, como cabos de ignição de airbags, capas/tecidos de assentos (apenas se possuir airbag) e airbags (dianteiros e laterais);

(iv) Peças de suspensão e do interior do veículo, como materiais de acabamento, materiais acústicos e cintos de segurança.

(b) Peças de veículos especificados nos parágrafos 2 (a) (i)-(iv) acima e as que se encaixem em uma ou mais das seguintes categorias:

(i) Plásticos reforçados (painéis de instrumentos e acabamento interior);

(ii) Sob o capô ou painel (blocos de terminal/fusível, fios de alta amperagem e revestimento de cabos (cabos de velas));

(iii) Equipamentos elétricos e eletrônicos (caixas de bateria e bandejas de bateria, conectores elétricos do motor, componentes de rádio, de sistemas de navegação por satélite, de sistemas de posicionamento global (GPS) e de sistemas de computador);

(iv) Tecidos como o revestimento do porta-malas, o estofamento, o revestimento do teto, os assentos de automóveis, os encostos de cabeça, os para-sóis e os tapetes.

3. As exceções específicas para as peças especificadas no parágrafo 2 (a) acima expirarão no término da vida útil dos veículos antigos ou em 2036, o que ocorrer primeiro.

4. As exceções específicas para as peças especificadas no parágrafo 2 (b) acima expirarão no término da vida útil dos veículos ou em 2036, o que ocorrer primeiro.

5. As exceções específicas para as peças de reposição de aeronaves para as quais foi solicitada a homologação antes de dezembro de 2018 e recebida antes de dezembro de 2022 expirarão no término da vida útil dessas aeronaves” (BRASIL, 2018).

O Brasil pediu isenção específica em peças para uso em veículos listados no parágrafo 2, da parte IX, do anexo A, até o final da vida útil dos veículos, ou até 2036, o que ocorrer primeiro. A razão da exceção foi que o Brasil está trabalhando no desenvolvimento, validação e homologação de peças que não usam o BDE-209. Portanto, será necessário importar peças para uso em veículos até que a substituição seja possível (UNEP, 2019).



1.2. Produção

Os PBDEs começaram a ser produzidos comercialmente na década de 70 e a produção de c-decaBDE (“c-”= produto comercial) foi estimada em mais de 1,1 milhões de toneladas entre 1970 e 2005, sendo considerado o segundo retardante de chama bromado mais produzido e comercializado mundialmente (SCHENKER et al., 2008 apud UNEP, 2014, MMA, 2015a; ATSDR, 2017). Em 2006, um ano depois, o c-decaBDE apresentou o maior consumo mundial, alcançando mais de 56.000 toneladas (ANNUNCIACÇÃO et al., 2018). Earnshaw e colaboradores (2013) estimaram que entre 185.000 e 250.000 toneladas de c-decaBDE tenham sido consumidas na Europa entre 1970 a 2010. Vale ressaltar que a produção e o consumo de c-decaBDE aumentaram após as restrições e banimentos do c-pentaBDE e c-octaBDE em diferentes países. A União Europeia banuiu o c-pentaBDE e o c-octaBDE em 2003, mas manteve o c-decaBDE (PIERONI et al., 2017). Um ano depois, em 2004, os Estados Unidos da América pararam de produzir o c-pentaBDE e o c-octaBDE, mas também mantiveram a produção do c-decaBDE (ATSDR, 2017). O volume de c-decaBDE importado e produzido nos Estados Unidos foi de 25.000 e 50.000 toneladas, em 2002 e 2006, respectivamente (MMA, 2015a). Apesar do uso restringido pela Diretiva 2002/95/EU (*EU Directive on the Restriction of the use of certain Hazardous Substances - RoHS*), a União Europeia comercializou entre 7.500 e 10.000 toneladas métricas de c-decaBDE em 2010. No entanto, os valores começaram a baixar e a União Europeia comercializou no ano de 2014 entre 1.000 a 2.500 toneladas métricas de c-decaBDE (UNEP, 2013; VECAP, 2014). A RoHS foi emitida em 2003 (Diretiva 2002/95/EU) pelo Parlamento e Conselho da União Europeia e, com isso, foi limitado, dentre outras substâncias e elementos, o uso de PBDEs em equipamentos eletroeletrônicos (EEE) (JOEU, 2003; MMA, 2019a). Redfern e colaboradores (2017) observaram uma diminuição da produção mundial de c-decaBDE entre os anos de 2007 e 2016, passando de 57.246 para 30.460 toneladas anuais. Essa diminuição dos valores pode ser associada ao encerramento da venda de decaBDE, em 2013, por dois dentre os três maiores produtores mundiais de retardantes de chama bromados (VECAP, 2014).



1.3. Aplicações

O decaBDE é um retardante de chama aditivo, ou seja, apenas misturado com os polímeros sem possuírem ligação química com os mesmos, o que é compatível com uma ampla variedade de plásticos/polímeros e têxteis (UNEP, 2013; PIERONI, 2017). Acredita-se que 90% do c-decaBDE é usado em plástico e eletrônicos (UNEP, 2015). A principal aplicação do decaBDE é no Poliestireno de Alto Impacto (HIPS – *high impact polystyrene*), que é usado na confecção de gabinetes de televisão. Além do HIPS, o decaBDE é aplicado em outros polímeros com usos finais em equipamentos elétricos e eletrônicos (ex: computadores, conectores, caixas elétricas, fios, cabos, etc.). Dentre estes polímeros, estão incluídos: polipropileno para eletrônicos; copolímeros de acetato (ex.: etileno-acetato de vinila (EVA - *ethylene-vinyl acetate*)) e outros copolímeros para fios e cabos; terpolímero (monômero) de etileno-propileno-dieno (EPDM - *ethylene-propylene-diene terpolymer(monomer)*) e elastômeros termoplásticos (TPE – *thermoplastic elastomer*) para fios e cabos; e resinas de poliéster para eletrônica. Além disso, outros usos em menor quantidade incluem as borrachas de estireno, policarbonatos, poliamidas e tereftalatos, e pequenas quantidades podem ser usadas em cola quente (*hot melt*) (UE, 2002; ATSDR, 2017). Porém, a sua utilização não se restringe a eletroeletrônicos e, devido à sua ampla utilização, podemos separar o uso deste composto em quatro grande grupos: os já citados, equipamentos elétricos e eletrônicos (ex: caixas de aparelhos de TV e computadores); o setor de transporte (ex: indústrias automotivas e de aviação); o setor de construção (ex: fios, cabos, tubos, etc.); e o setor têxtil (ex: revestimento de móveis e cortinas), para cumprir com os padrões de segurança contra incêndios em locais públicos e edifícios (BSEF, 2007).

1.4. Alternativas

O decaBDE é um retardante de chamas que, por ser um aditivo, tem a vantagem de ser inoculado em diferentes materiais (UE, 2002; ATSDR, 2017). Essa multiplicidade de produtos que o decaBDE pode ser misturado propicia o uso de diferentes substâncias



alternativas para substituir este contaminante. Porém, o uso de novos retardantes de chamas precisa passar por uma série de processos, além da adaptação aos sistemas de produção.

A Agência de Proteção Ambiental (EPA – *Environmental Protection Agency*) da Dinamarca discute a utilização de diferentes retardantes de chamas para eletroeletrônicos, como alternativas ao decaBDE (Danish EPA, 2006). O documento sugere vinte cinco substâncias possíveis de substituir o decaBDE em diferentes materiais e polímeros usados em EEE, separados em: halogenados (por exemplo: poliestireno bromado/trióxido de antimônio (*Brominated polystyrene/ATO*)); organofosforados não halogenados (por exemplo: Resorcinol bis(difenilfosfato) (RDP - *Resorcinol bis(diphenylphosphate)*)) e outros não halogenados (por exemplo: cianurato de melamina). O trióxido de antimônio tem efeito sinérgico quando colocado com os retardantes de chamas. Enquanto que a EPA dos Estados Unidos divulgou informações sobre o risco à saúde humana e ao meio ambiente para substâncias e misturas alternativas ao decaBDE numa variedade de polímeros e aplicações (United States EPA, 2014). Dessa forma, ambos os documentos contribuem para a escolha de substâncias alternativas mais adequadas e menos tóxicas.

A UNEP (2015), em seu documento sobre avaliação de gerenciamento de riscos do decaBDE, sugere oito possíveis produtos químicos alternativos para o c-decaBDE em polímeros plásticos: decabromodifeniletano (DBDPE - *Decabromodiphenyl ethane*); bisfenol A bis(difenilfosfato) (BDP/BAPP - *Bisphenol A bis(diphenyl phosphate)*); RDP; etileno bis(tetrabromoftalimida) (EBTBP - *Ethylene bis(tetrabromophthalimide)*); hidróxido de magnésio (MDH - *Magnesium hydroxide*); trifenilfosfato (TPP - *Triphenyl phosphate*); trihidróxido de alumínio (ATH - *Aluminium trihydroxide*); e fósforo vermelho. Todas as substâncias sugeridas pela UNEP (2015) também foram citadas e descritas pela EPA da Dinamarca (2006).

A UNEP, no mesmo documento, também cita alternativas para o uso do decaBDE em diferentes finalidades (UNEP, 2015), tornando-se uma importante referência. O texto cita alternativas para a área têxtil, tanto sintética quanto de fibras naturais, e para outros usos como selantes, adesivos, espuma arquitetônica e revestimentos, painéis de parede e teto, carpetes, entre outros. O documento cita compostos já especificados para polímeros plásticos, mas que são usados para têxteis e outros usos, tais quais MDH, TPP, ATH, fósforo vermelho



e DBDPE. Cabe ressaltar que o último composto é considerado o mais adequado para o uso têxtil. O trabalho também relata outros compostos, tais quais os polifosfatos de amônio, que são usados em fibras naturais ou de proteínas (UNEP, 2015).

2. INVENTÁRIO DO DecaBDE NO BRASIL

Este inventário se propõe a realizar um levantamento sobre a produção, a comercialização nacional e internacional, o uso e o destino final do decaBDE, ou seja, o ciclo de vida do contaminante e dos produtos que o contém em sua composição. Dessa forma, algumas ações foram realizadas para a obtenção das informações necessárias, dentre elas, a criação e a distribuição de um questionário para órgãos públicos das três esferas do governo (municipal, estadual e federal), federações, associações e empresas. Inicialmente, foi realizada uma busca no site <https://www.google.com>, com o objetivo de encontrar associações e empresas que possam estar vendendo o decaBDE, materiais que o contenham em sua composição, ou produtos que o apresentem integrado em alguma subunidade.

A busca foi feita com todos os nomes, sinônimos e nomes comerciais (Quadro 1) isolados e somados a “retardante de chamas” (ex: decaBDE + retardante de chamas). Além disso, a busca foi feita também com “Éter decabromodifenílico” + nomes comerciais + “retardantes de chamas”; e “nomes, sinônimos ou nomes comerciais + “retardantes de chamas” + produção, fabricação, distribuição, venda, compra, exportação ou importação”. A busca ainda foi realizada com foco nos principais produtos em que o decaBDE é conhecidamente usado (ex: polímeros, transporte terrestre e aéreo; mobiliário, colchões e espumas; e construção civil) e suas associações nacionais. Aliás, as associações também serviram como fonte de empresas para mandarmos os questionários. As instituições foram consultadas, via questionário oficial do MMA (Ofício circular nº 171) enviado por correio eletrônico – quando disponível – ou diretamente pelas páginas das empresas na web. Os questionários foram mandados para associações e empresas, federações das indústrias de diferentes estados da União e secretarias ambientais (Tabela 1). No entanto, apenas uma empresa respondeu, relatando que usou o 1.041 Kg de decaBDE como retardante de chamas por dez anos.



Tabela 1 - Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida do éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) consultadas pelo Ministério do Meio Ambiente: número de ofícios enviados, número de empresas privadas, número de associações e número de respostas.

Setor	Instituições	Envio de ofício	Empresas	Associações	Resposta positiva	Resposta não relacionada	Resposta negativa
Adesivo & Selante	109	98	98	0	0	1	6
Aditivo	12	10	97	1	0	0	0
Borracha	31	30	26	4	0	0	0
Combate a incêndio	2	2	0	2	0	0	0
Construção civil	39	36	27	9	0	0	0
Eletroeletrônicos	386	276	269	7	0	1	8
Plástico	13	11	4	7	0	0	1
Polímeros diversos	33	26	25	1	1	0	0
Química	69	61	51	10	0	14	13
Reciclagem	11	11	1	10	0	0	0
Tinta e revestimento	70	64	60	4	0	1	2
Transformador	54	52	54	0	0	0	1
Transporte	108	94	90	4	0	0	2
Total	937	771	802	59	1	17	33

O Inventário Nacional de Novos Poluentes Orgânicos Persistentes (Novos POPs) de uso industrial (MMA, 2015a), da Convenção de Estocolmo, fez um inventário abarcando o pentaBDE e o octaBDE. Contudo, o inventário também abrangeu o decaBDE e obteve a seguinte resposta: “Uma empresa, ligada ao setor de alimentos e bebidas, declarou que já importou produtos com PBDEs e que utiliza e/ou fabrica produtos com decaBDE, porém não indicou quantidades utilizadas e importadas dessas substâncias.

Essa empresa declarou ainda que recicla produtos que podem conter PBDEs e descreveu algumas medidas de gestão ambiental para as operações de reciclagem: coleta seletiva, destinação para empresa autorizada e tratamento de esgoto sanitário.” Além disso, uma empresa informou que não sabe se já importou o decaBDE, outra informou que não sabia se havia importado pentaBDE, octaBDE e decaBDE, e uma última empresa afirmou que não tinha conhecimento sobre a presença de POPs-PBDEs em artigos em uso em suas instalações. Uma indústria de plásticos e polímeros também afirmou que não sabia se já havia importado produtos contendo POPs- PBDEs (MMA, 2015a).

O inventário também relatou respostas de empresas de eletroeletrônicos, citando três indústrias que declararam “que partes utilizadas na produção de equipamentos elétricos e eletrônicos foram consideradas como suspeitas de conterem POPs-PBDEs”.



Uma das empresas indicou o uso do decaBDE em concentrações inferiores a 0,1% em peso ou homogeneidade do material, que está dentro do limite estipulado pela Instrução Normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010, que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Esta instrução normativa segue os parâmetros estipulados pela RoHS que foi emitida em 2003 (Diretiva 2002/95/EU), pelo Parlamento e Conselho da União Europeia (BRASIL, 2010). Nessa resposta, a empresa declara o uso de decaBDE e o conhecimento das restrições sobre os PBDEs. Podemos perceber a baixa participação das empresas e associações, tanto no Inventário Nacional de Novos Poluentes Orgânicos Persistentes (Novos POPs) de uso industrial (MMA, 2015a), quanto no atual. Essa baixa interação dificulta ou até impossibilita a obtenção de resultados fidedignos quanto ao ciclo de vida do c-decaBDE no país.

2.1. Produção

Pieroni e colaboradores (2017) relatam que pouco se sabe sobre a produção e a comercialização atual e histórica dos retardantes de chamas bromados e dos materiais importados contendo esses produtos no Brasil. Segundo Annuniação e colaboradores (2018), o Brasil não produz c-decaBDE, apenas importa o produto.

2.2. Comércio

O Ministério da Economia (ME) relatou que o Brasil importou 1010 toneladas de um produto chamado "éter decabromo difenílico", que provavelmente é o decaBDE, entre 1989 e 1996. Porém, o decaBDE foi inserido em grupo denominado como "outros éteres aromáticos" em 1997, impossibilitando acessar os dados de comércio exterior do decaBDE (ANNUNIAÇÃO et al., 2018). O levantamento de importação e exportação no ME foi refeito, através do portal Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>), com o nome "éter decabromodifenílico" e a Nomenclatura Brasileira de Mercadorias (NBM - 2909301700), entre 1989 e 1996. Os valores de importação e exportação neste período são de 897.346 e 2.700 quilos, respectivamente (Tabela A2 e figura 1).



O Brasil importou o éter decabromodifenílico de três países: Israel (75,15%), Estados Unidos (23,35%) e Holanda (1,5%), enquanto que a exportação foi realizada apenas para a Argentina, em 1995. Os valores de importação crescem ao longo dos anos, até o momento em que foi inserido em uma Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) genérico. Vale ressaltar que os valores de importação foram inferiores aos relatados por Annuniação e colaboradores (2018).

O presente inventário também levantou os dados de comércio exterior do decaBDE no ME, entre 1997 e 2018. Annuniação e colaboradores (2018) relatam que os PBDEs foram incluídos no NCM 29093019 (outros éteres aromáticos). No entanto, a UNEP (2019) relata que o decaBDE foi importado sob o NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo), que representa todos os derivados halogenados com bromo. No inventário anterior, que fez o levantamento do pentaBDE e octaBDE, a busca de importação e exportação do produto utilizou o NCM 29039929 (Outros derivados halogenados, unicamente com bromo), já relatado pela UNEP (2019) para decaBDE, e o NCM 29033929 (Outros derivados bromados) (MMA, 2015a).

A partir dessa informação, foi realizado o levantamento do NCM 29093019 (outros éteres aromáticos), NCM 29033929 (Outros derivados bromados) e NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo). Apesar do Brasil não produzir decaBDE, os dados de exportação também foram investigados (Tabela A3 e figura 2). Contudo, estimar a importação e a exportação com valores de NCMs generalistas pode gerar dados errados. Por exemplo, a UNEP (2019) relatou que a quantidade importada de decaBDE sob o NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo) foi de 150 kg, em 2018. No entanto, os valores totais desse NCM são de 187 toneladas. Lembrando que o NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo) representa todos os derivados halogenados com bromo, ou seja, vários produtos podem estar inseridos dentro deste NCM.

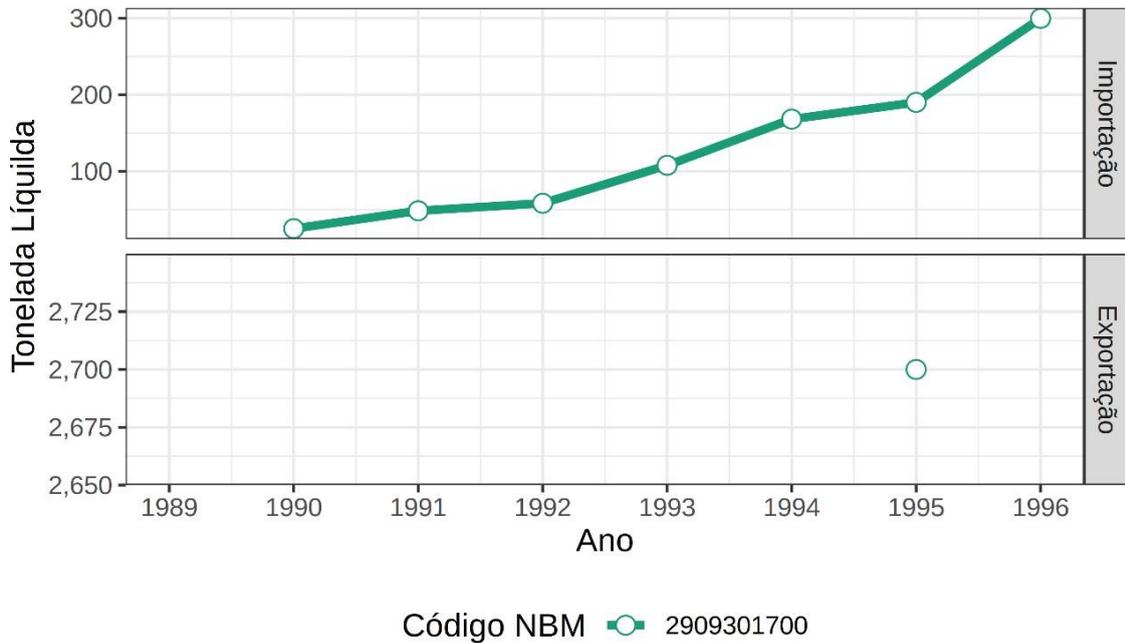


Figura 1: Balanço comercial (importação e exportação) de éter decabromodifenílico em tonelada líquida, no período entre 1989 e 1996. Fonte: Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>).

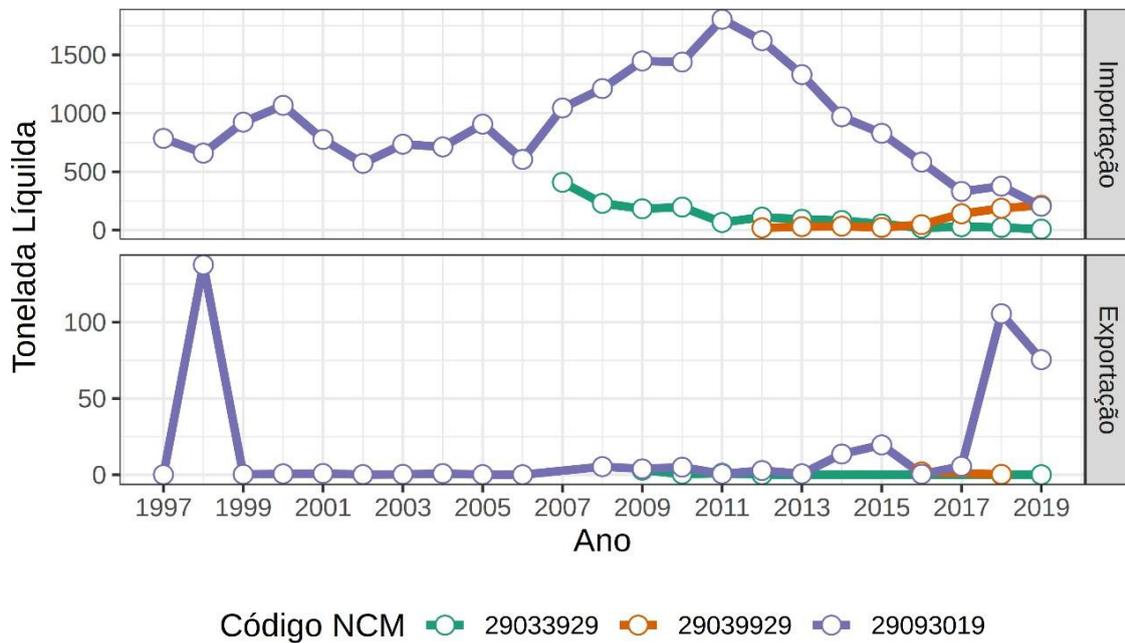


Figura 2: Balanço comercial (importação e exportação) de produtos registrados sob os NCM: 29033929 - Outros derivados bromados (verde); 29039929 - Outros derivados halogenados, unicamente com bromo (laranja) e 29093019 - Outros éteres aromáticos (roxo), em tonelada líquida, no período entre 1997 e 2019. Fonte: Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>).



Por não conseguir informações sobre importação e exportação fidedignas, também foi mandado um pedido, em 20 de maio de 2019, para o Sistema Eletrônico do Serviço de Informações ao Cidadão (e-SIC), que solicitou dados sobre o comércio internacional de decaBDE ao IBAMA, que é o órgão anuente de importação desses produtos. Porém, nenhuma informação foi obtida. O e-SIC informou que consultou o Sistema de Comércio Exterior – SISCOMEX, mas não conseguiu informações sobre o decaBDE e nem de mercadorias que contenham o produto. O Sistema Eletrônico do Serviço de Informações ao Cidadão (e-SIC) permite que qualquer pessoa, física ou jurídica, encaminhe pedidos de acesso à informação, acompanhe o prazo e receba a resposta da solicitação realizada para órgãos e entidades do Executivo Federal (e-SIC, 2019).

Segundo dados do Ministério da Economia, considerando a escala de tempo avaliada no presente trabalho, a importação de mercadorias inseridas no NCM 29033929 (outros derivados bromados) foi prioritariamente através do Estados Unidos (81,77%), seguido dos Países Baixos (7,3%) e da China (7,17%), enquanto que a Argentina foi responsável por 99,07% da exportação realizada pelo Brasil. Quando consideramos o comércio internacional dos produtos inclusos no NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo), o Brasil importou principalmente da China (59,78%) e dos Estados Unidos (40,16%), já a exportação destes produtos foi feita para o México (90,24%) e o Chile (9,76%). O Brasil importou os produtos inseridos no NCM 29093019 (outros éteres aromáticos) de diversos países, mas os maiores volumes foram do Japão (33,9%), dos Estados Unidos (30,92%) e da China (9,72%), enquanto que a Alemanha foi a principal responsável pela exportação, seguida pelo México, Paraguai e China com 64,3%, 15,94%; 8,82% e 8,62%, respectivamente.

2.3. Aplicações e Indústrias Nacionais

Segundo Annuniação e colaboradores (2018), pouco se conhece sobre a utilização dos PBDEs no Brasil. Em 2008, o porta-voz de uma das maiores representantes comerciais de retardantes bromados no país relatou que os retardantes de chama no país são empregados principalmente em termoplásticos: HIPS e Acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) (eletroeletrônicos e linha branca), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) (fios e cabos) e compostos de Polipropileno (PP) mas também no setor automotivo).



Em menor quantidade, aparecem alguns plásticos de engenharia, como as Poliamidas (PAs) (nas suas aplicações clássicas em peças próximas do motor de automóveis), e materiais como o Polióxido de fenileno (PPO) e suas blendas. No entanto, o uso específico do decaBDE não foi discriminado nos diferentes produtos relatados. Porém, dois portavozes (incluindo o acima citado) de empresas nacionais, que representam multinacionais, relataram o decaBDE como um dos principais produtos de venda (Azevedo, 2008).

Apesar da pouca informação sobre a produção e uso do decaBDE no país, foi realizado um levantamento sobre as empresas por unidades federativas, que possam eventualmente fazer aplicação do decaBDE em seus processos ou produtos. O levantamento foi realizado a partir dos dados disponibilizados pelo Cadastro Central de Empresas (CEMPRE), pertencente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No site do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) é possível acessar variáveis do CEMPRE, assim como, número de empresas e número de unidades locais, entre outros. As informações podem ser separadas por grupos de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e em diferentes níveis geográficos - Grandes Regiões, Unidades de Federação e Municípios. Dessa forma, permitindo criar um cenário nacional, no qual é possível observar os estados que concentram o maior número de empresas que possam fazer uso do decaBDE em alguma etapa do processo de produção de seus manufaturados (Figura 3). A partir das informações obtidas do CEMPRE (Censo 2017), foi possível identificar um total de 210.218 empresas, dentro de dezesseis grandes categorias (Tabela A4).

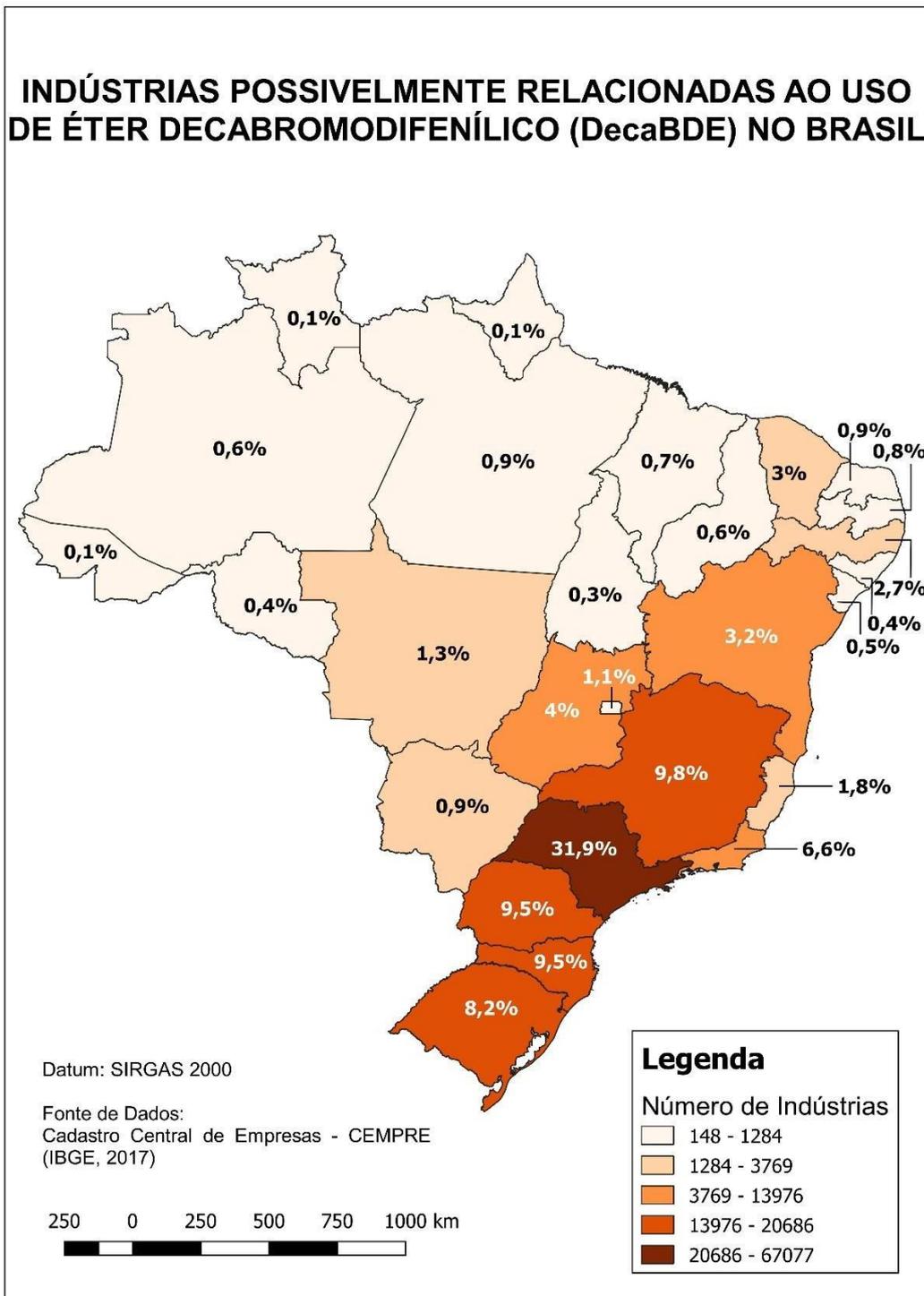


Figura 3: Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente fazer aplicação de decaBDE em seus processos ou em seus produtos.



A região sudeste responde por 50,2% das empresas brasileiras com potencial aplicação de decaBDE. A alta representatividade era esperada, devido ao desenvolvimento industrial da região. O estado de São Paulo se destaca, representando 31,9% das indústrias no país que potencialmente usam o decaBDE em alguma etapa do processo de produção. A segunda região mais importante foi a sul com 27,2%, mas sem destaque entre os estados, que apresenta valores entre 8,2% e 9,5%. Os estados do sudeste e sul são responsáveis por quase 80% das empresas brasileiras que podem usar o decaBDE em seu ciclo produtivo (Figura 3). As outras indústrias se distribuem nas outras regiões, nas quais se destacam, apesar dos baixos valores, Goiás, Bahia, Ceará e Pernambuco, com 4,0%, 3,2%, 3,0% e 2,7%, respectivamente.

As empresas separadas por setor produtivo se apresentam na seguinte ordem numérica decrescente: Construção civil e infraestrutura (99.257), indústria têxtil (68.616), plástico (12.786), eletrônicos e informática (5.743), gestão de resíduos (5.038), peças de carros (2.839), borrachas (2.815), energia elétrica - geração, transmissão e distribuição (2.557), geradores, transformadores, acumuladores e etc. (2.518), preparados químicos diversos (1.996), indústria automobilística (1.990), transporte (exceto carros) (1.461), tintas e revestimentos (1.387), brinquedos e jogos (762), resinas e elastômeros (350) e fibras (103) (Tabela A4). Embora, o número de empresas nos ajude a enxergar a participação de cada setor, a contribuição do decaBDE é diferente em cada uma delas. Estima-se que 90% do c-decaBDE seja usado em plástico e eletrônicos (UNEP, 2015).

2.4. Legislação

2.4.1. Restrições do DecaBDE no Brasil

Pireroni e colaboradores (2017) ressaltam a deficiência de legislação reguladora dos PBDEs e relatam o projeto de lei do Senado Nº 173, de 2009, que foi arquivada em 2011. Este projeto propunha que os computadores, componentes de computadores e equipamentos de informática em geral comercializados no Brasil deveriam apresentar concentração inferior a 0,1% de PBDEs (BRASIL, 2009). Os autores também ressaltam a Instrução Normativa



nº 01, de 19 de janeiro de 2010, que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. O Art. 5º do capítulo III desta instrução diz que “os órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, quando da aquisição de bens, poderão exigir os seguintes critérios de sustentabilidade ambiental: IV – que os bens não contenham substâncias perigosas em concentração acima da recomendada na diretiva RoHS, tais como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cromo hexavalente (Cr(VI)), cádmio (Cd), bifenil-polibromados (PBBs) e éteres difenil-polibromados (PBDEs)” (BRASIL, 2010). A RoHS foi emitida em 2003 (Diretiva 2002/95/EU) pelo Parlamento e pelo Conselho da União Europeia, posteriormente foi reformulada na Diretiva 2011/65/UE em 8 de junho de 2011 (JOUE, 2003; MMA, 2019a). A RoHS assegura que os EEE colocados no mercado, incluindo os cabos e as peças sobresselentes para a respectiva reparação, reutilização, atualização das funcionalidades ou melhoria da capacidade, não contenham as substâncias acima citadas. Porém, para os fins da presente diretiva, é tolerada uma concentração ponderal máxima nos materiais homogêneos. Na RoHS (Diretiva 2011/65/UE), os éteres difenílicos polibromados (PBDE) podem ter no máximo 0,1% em materiais homogêneos, ou seja, um material de composição inteiramente uniforme, ou um material que consista numa combinação de materiais que não possa ser separado ou fragmentado em materiais diferentes por intermédio de ações mecânicas como desparafusar, cortar, esmagar, moer ou ainda por processos abrasivos (UE, 2011).

No entanto, a Instrução Normativa nº 01 de 19 de janeiro de 2010 não se posiciona sobre as isenções da Diretiva 2011/65/UE, dispostas no artigo 2º, âmbito de aplicação, item 4. (UE, 2011). Vale ressaltar que as categorias de EEE abrangidos pela presente diretiva são: grandes eletrodomésticos, pequenos eletrodomésticos, equipamento de informática e de telecomunicações, equipamento de consumo, equipamento de iluminação, ferramentas elétricas e eletrônicas, brinquedos e equipamento de desporto e lazer, dispositivos médicos, instrumentos de monitoramento e controle, incluindo instrumentos industriais de monitoramento e controle, distribuidores automáticos e outros EEE não incluídos em nenhuma das categorias acima (UE, 2011).



No ano seguinte, o Ministério do Meio Ambiente, através do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), abriu uma consulta pública, através da Portaria nº 464, de 30 de julho 2019, com prazo entre 01 e 30/08/2019, sobre a proposta de um Acordo Setorial para a implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes (BRASIL, 2019). O objeto deste Acordo Setorial é a estruturação, implementação e operacionalização de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico colocados no mercado interno (MMA, 2019c).

O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) é um dos Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº. 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (MMA, 2019d). A Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos; às responsabilidades dos geradores e do poder público; e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituiu o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, por meio do qual fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem tomar as medidas previstas em lei para assegurar a implementação e operacionalização dos sistemas de logística reversa das cadeias de produtos sob sua responsabilidade (MMA, 2019c). Logística reversa é definida como o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Vale ressaltar que, no artigo 13, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a sua periculosidade, sendo definido como resíduos perigosos aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2010), dessa forma, abrangendo resíduos que tenha decaBDE.



Assinado em 31 de outubro de 2019, o Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes foi realizado entre o MMA e as empresas da Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação (ASSESPRO NACIONAL), da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e da Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação (ABRADISTI).

Empresas associadas e parceiras da Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (GREEN ELETRON) serão responsáveis pela gestão do sistema coletivo de logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos (MMA 2019e). O Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020, replica o conteúdo do acordo setorial firmado na data acima citada. O acordo firmado entre o estado e a sociedade civil propõe a destinação final ambientalmente adequada, preferencialmente a reciclagem de 100% dos equipamentos eletroeletrônicos discriminados no anexo V. O acordo setorial foi dividido em duas fases e espera-se que em 2025, o quinto ano da segunda fase, 17% dos produtos eletrônicos descartados tenham sido coletados e destinados adequadamente (MMA 2019e, MMA 2019f).

Além disso, o acordo reafirma, o compromisso com o Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo, relativa aos Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs. No ANEXO IX (Avaliação dos possíveis impactos socioambientais), na fundamentação técnica dos impactos sobre o meio ambiente, está descrito que “uma das preocupações em torno da destinação final dos produtos eletroeletrônicos diz respeito às substâncias químicas que compõem tais produtos e seus componentes e aos potenciais impactos ambientais negativos em caso da destinação final ambientalmente inadequada, notadamente da disposição final ambientalmente inadequada.

A logística reversa vem reforçar essa iniciativa, pois assegura a destinação final ambientalmente adequada dos produtos eletroeletrônicos que contém essas substâncias, evitando e minimizando, assim, eventuais impactos ambientais associados a uma disposição inadequada dessas substâncias no meio ambiente, tais como contaminação dos meios terrestre, hídrico e aquático, além de riscos à saúde humana” (MMA 2019g).



No ANEXO IX, também está destacado “que foi criado um Manual Operacional Básico com a descrição dos procedimentos a serem adotados em todas as etapas inerentes à operação da logística reversa com a finalidade de garantir o adequado manuseio dos produtos eletroeletrônicos por todos os atores da cadeia, em cumprimento aos requisitos legais aplicáveis e visando a prevenir qualquer tipo de contaminação ambiental.

Tal operacionalização ocorre em sinergia com o Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo, relativa aos Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs. Através da destinação final ambientalmente adequada, será possível assegurar o correto manejo dessas possíveis substâncias presentes em produtos eletrônicos descartados a fim de garantir que os mesmos não sejam reinseridos na cadeia produtiva” (MMA 2019g). Em suas considerações finais, o manual deixa isso claro, relatando que o documento se destina a prover uma visão geral de boas práticas que deverão ser observadas ao longo do processo. Não é a intenção deste manual tratar os métodos e tecnologias específicas necessárias ao correto tratamento/reciclagem dos produtos eletroeletrônicos (MMA 2019h)..

3. OCORRÊNCIA DE decaBDE NO BRASIL

A revisão sistemática, que tem o seu protocolo descrito no anexo 6.5, identificou três artigos sobre revisão de PBDE no Brasil, sete artigos e uma tese reportando decaBDE em



amostras ambientais abióticas (Tabela 1) e cinco artigos e uma tese em bióticas (Tabela 2). A tese abordando decaBDE em amostras ambientais abióticas não estava acessível e seus dados não fazem parte da revisão. Nenhum estudo abordando a ocorrência de decaBDE em bens de consumo foi encontrado. A figura 3 ilustra os dados obtidos a partir do protocolo adotado para a avaliação de ocorrência de decaBDE no Brasil.

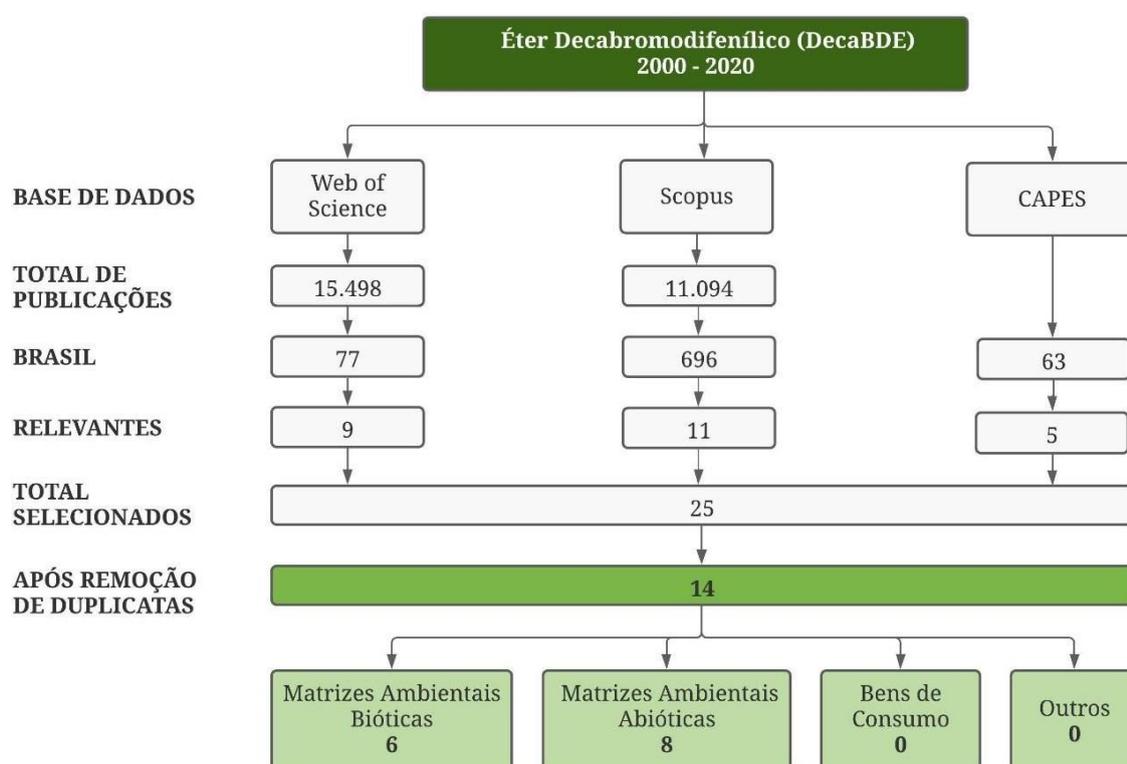


Figura 4: Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de decaBDE no Brasil.

As três revisões brasileiras encontradas no levantamento relatavam a ocorrência de decaBDE no ambiente e em seres humanos em território nacional, sendo que duas delas traziam valores de PBDEs no ambiente. No entanto, os estudos relataram os valores de PBDE total e, quando individualizados, não traziam informações sobre o decaBDE (RODRIGUES et al., 2015; PIRERONI et al., 2017; ANNUNCIACÃO et al., 2018). Um fato importante no levantamento bibliográfico é a baixa quantidade de informações sobre o decaBDE no Brasil.



Embora alguns estudos tenham avaliado os PBDEs em território brasileiro, as concentrações do decaBDE não foram estimadas.

3.1. DecaBDE em matrizes ambientais abióticas

A avaliação de decaBDE em matrizes abióticas foram realizadas em sedimento, que possui caráter integrador de ecossistemas aquáticos para contaminantes hidrofóbicos; em solo e poeira, que permitem caracterizar ambientes terrestres urbanizados; e em ar, que possibilita observar a dispersão do contaminante.

Os dois trabalhos avaliando decaBDE em sedimento foram realizados em ecossistemas dulcícolas do estado de São Paulo. O decaBDE foi avaliado no sedimento da Lagoa do Saibro, em Ribeirão Preto, que é um ponto de recarga do aquífero Guarani. Contudo, o contaminante não foi detectado (FERRARI et al., 2019). Por outro lado, Tominaga e colaboradores (2019) observaram que o decaBDE ocorreu em todas as amostras de sedimento em rios e reservatórios distribuídos pelo estado de São Paulo, em áreas industriais, em desenvolvimento industrial e de conservação. Vale ressaltar, que o composto apresentou as maiores concentrações em relação aos outros dezoito congêneres (Tabela 1). Os autores compararam os resultados do decaBDE observados com o valor limite (19 ng g^{-1}) sugerido pelo *Canadian Environmental Quality Guidelines*, e 40,9% dos resultados de decaBDE estavam acima do valor sugerido pela instituição. As amostras que estavam acima do limite foram coletadas em áreas industriais, exceto uma que foi oriunda de uma área em desenvolvimento industrial. Os autores ressaltam que os valores de decaBDE encontrados em sedimentos de São Paulo são similares a algumas regiões dos EUA, mas foram inferiores a regiões da Europa (TOMINAGA et al., 2019). O predomínio de decaBDE sugere o uso de sua formulação técnica e mudança no uso das misturas técnicas dos PBDEs no país, decorrente da proibição das misturas pentaBDE e octaBDE.



Tabela 2: Dados de éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) em amostras ambientais abióticas no território brasileiro. As amostras de sedimento e poeira estão em ng g⁻¹ p.s. e de ar em pg m⁻³.

Matriz/ano	Área (nº ind.)	Média	Mín. – Máx.	Referências
Aquático				
<i>Sedimento</i>				
Lago Saibro (2014)	São Paulo (3) Ribeirão Preto	n.d.	---	[1]
Rios e reservatórios (2018)	São Paulo (22)	118,42* ¹	0,30 – 673,77	[2]
Terrestre				
<i>Solo e poeira</i>				
(2015)	São Paulo (Araraquara) Aterro de Lixo			[3]
Solo	Áreas do Aterro (7 <i>pools</i>)	264	0,73 – 851	
Poeira	Áreas sociais (4)	2.605	111 – 28.800	
<i>Poeira</i>				
(2015)	São Paulo (Araraquara)			[4]
	Casa (10)	407	125 – 1.200	
	Apartamento (10)	425	254 – 1.420	
	Escritório (5)	4.240	1.760 – 25.200	
	Escola (5)	419	93,9 – 1.210	
	Carro (16)	1.570	291 – 3.950	
<i>Ar</i>				
(2014 – 2015)	Maranhão e R. G. do Sul	* ²		[5]
	São Luís (5)	<1 e <0,9	---	
	São José dos Ausentes (5)	<1 e <0,9	---	
<i>Ar</i>				
(2018)	São Paulo	15,6	---	[6]
<i>Ar</i>				
(2007-2008)	Rio de Janeiro e S. Catarina			[7]
	PARNASO (2)	<0,01	---	
	PNSJ (2)	<0,01	---	

*1 – Os dados brutos de decaBDE foram cedidos gentilmente pela autora principal do artigo; *2 – os valores de limite de detecção são referentes aos anos de 2014 e 2015, respectivamente. p.s. – peso seco; n.d. – não detectado; Mín. – Mínimo; Máx. – Máximo. Referências: [1] FERRARI et al., 2019; [2] TOMINAGA et al., 2019; [3] CRISTALE et al., 2019; [4] CRISTALE et al., 2018; [5] RAUERT et al., 2018; [6] SAINI et al., 2020; [7] MEIRE et al., 2012.

Outros dois estudos importantes também foram realizados em São Paulo, avaliando duas matrizes ambientais e a exposição humana. Em 2015, Cristale e colaboradores (2018) avaliaram a contaminação por retardantes de chamas, incluindo o decaBDE, em poeira residencial em casas, apartamentos, escritórios, escolas e carros da cidade de Araraquara, São Paulo. Além de avaliar as concentrações, os autores avaliaram a exposição através da ingestão diária da poeira para adultos e crianças. O decaBDE correspondeu a mais de 80% do PBDE total (5 congêneres) na maioria das amostras, apresentando as maiores concentrações entre os congêneres analisados. Os autores relatam que os maiores valores (medianas e máximas) foram observados nos escritórios seguido dos carros. Enquanto que, os apartamentos, casas e escolas apresentaram valores similares (Tabela 1). As estimativas



de ingestão diária de poeira por adultos e crianças foram entre 0,49 e 21,0 ng kg⁻¹ corpóreo dia⁻¹, sendo inferior a dose de referência (RfD) de 7.000 ng kg⁻¹ corpóreo dia⁻¹ (Cristale et al., 2018), não oferecendo risco.

Os mesmos autores realizaram outro estudo, em que foi avaliado decaBDE num aterro de lixo desativado, também em Araraquara, no interior de São Paulo. O decaBDE foi mensurado em amostras de solo e poeira, distribuído em diferentes áreas do aterro. O decaBDE apresentou os valores mais elevados entre os congêneres de PBDE (8 congêneres) nas amostras de solo (Tabela 1). As maiores concentrações foram observadas na área que continha material de espuma de poliuretano flexível e na área com resíduos eletrônicos, ambas expostas ao céu aberto. Os valores médios de decaBDE em poeira seguiram a seguinte ordem decrescente, de acordo com área: Cômulo de estoque dos resíduos de EEE (28.800 ng g⁻¹ p.s.) > área de operação de reciclagem da cooperativa (4.140 ng g⁻¹ p.s.) > escritório (1.070 ng g⁻¹ p.s.) > sala da portaria (111 ng g⁻¹ p.s.) (Cristale et al., 2019). As áreas em que foram encontrados os maiores valores do contaminante, nos permite inferir o seu uso em EEE e espuma de poliuretano flexível existente no país, sejam esses produtos manufaturados aqui ou importados.

Vale ressaltar, que o valor médio de decaBDE em poeira de escritórios (4.240 ng g⁻¹ p.s.) de Araraquara foi equivalente a concentração observada na área de operação de reciclagem da cooperativa dentro de um aterro sanitário e superior ao escritório da mesma localidade (CRISTALE et al., 2018; 2019). Ambos os estudos sugerem o uso da mistura técnica do decaBDE e a sua dispersão no ambiente, tanto para o solo quanto para o ar, a partir dos seus rejeitos e do tratamento de reciclagem realizado. Além disso, os estudos nos permitem observar que funcionários de escritórios de Araraquara podem estar expostos a níveis de decaBDE similar ou superior a trabalhadores que atuam em aterros sanitários, incluindo aqueles que trabalham na área de operação de reciclagem de rejeitos de EEE da cooperativa, sugerindo exposição ocupacional dos trabalhadores envolvidos.

O estudo de retardantes de chamas a nível global ganhou grande impulso com a formação da “*Global Atmosférica Passive Sampling (GAPS) Network*”, que busca subsidiar dados atmosféricos sobre diversos poluentes, incluindo os listados na Convenção de Estocolmo. O grupo de trabalho realizou um estudo na América Latina e Caribe (*Group of*



Latin American and Caribbean countries - GRULAC), no qual se propôs a avaliar diversos produtos químicos emergentes e POPs, assim como, o decaBDE (RAUERT et al., 2018). O estudo foi realizado em 2014 e 2015, abrangendo nove localidades em sete países, sendo cinco áreas consideradas *background*, três urbanas e uma agrícola. O Brasil foi representado por São Luís (urbana) e São Jose dos Ausentes (*background*), nos estados do Maranhão e Rio Grande do Sul, respectivamente. A coleta foi feita através de amostradores passivos, com discos de espuma de poliuretano, expostos por quatro períodos de três meses, somando um ano. No entanto, a amostragem realizada no Brasil não foi contínua, havendo lapsos temporais ao longo dos dois anos. Porém, que não inviabilizaram o estudo. As concentrações ficaram abaixo do limite de detecção do método em todo o período amostrado em ambas as localidades (Tabela 1) (RAUERT et al., 2018).

No ano de 2018, um novo estudo foi conduzido pela *GAPS network*, chamado *GAPS-Megacities*, que avaliou os níveis de diferentes contaminantes em dezenove cidades, incluindo o decaBDE na cidade de São Paulo. A coleta também foi feita através de amostradores passivos, com discos de espuma de poliuretano expostos por três meses (SAINI et al., 2020). O decaBDE foi encontrado em 100% das cidades avaliadas, constituindo mais 70% da concentração total de PBDE (14 congêneres) em quatorze das cidades avaliadas. Em São Paulo, o decaBDE correspondeu a 85,6% do PBDE total, apresentando a concentração de 15,6 pg m⁻³ (Tabela 1). A mediana da concentração de decaBDE nas cidades avaliadas foi de 18 pg m⁻³, dentro de uma amplitude de 1,72 pg m⁻³ (Sydney, Austrália) até 84,8 pg m⁻³ (Londres, Reino Unido) (SAINI et al., 2020). Diante do cenário exposto pelos autores, podemos observar que São Paulo possui um valor próximo a mediana das dezenove grandes áreas metropolitanas no Globo, distribuídas nas Américas, Europa, África, Ásia e Oceania.

Antes dos estudos supracitados, abrangendo diversas localidades na América Latina ou no Mundo, Meire e colaboradores (2012), como parte do *GAPS network*, realizaram a primeira avaliação de decaBDE em uma matriz ambiental abiótica no país. As amostragens de PBDEs na atmosfera foram realizadas ao longo de gradientes altitudinais da Serra dos Órgãos, o Parque Nacional do Estado do Rio de Janeiro (PARNASO) (400 – 2200 metros) e o Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) (600 – 1800 metros), no estado de Santa Catarina. O estudo foi realizado durante o verão (dezembro a março) e inverno (junho a agosto) de



2007 e 2008. Os valores de PBDEs, quatorze congêneres, ficaram abaixo do limite de detecção do método em todo o gradiente de altitude de ambos os parques nacionais (Tabela 1) (MEIRE et al., 2012). Os estudos avaliando a atmosfera em diferentes localidades do país sugerem que a urbanização tem um papel determinante, para a ocorrência do decaBDE nessa matriz.

A maioria dos estudos em amostras ambientais abióticas foram realizadas em São Paulo, o estado de maior desenvolvimento industrial do País (TOMINAGA et al., 2019) e que apresenta 31,9% das empresas do país, que potencialmente possuem o decaBDE em seus processos ou produtos. Os estudos sugerem a sua dispersão nos ambientes aquáticos e terrestres, com o predomínio de decaBDE sobre os outros congêneres, o que sugere a supremacia do uso da sua formulação técnica sobre as misturas comerciais do pentaBDE e octaBDE nas regiões avaliadas. A urbanização e industrialização parecem ter sido determinantes para a ocorrência do decaBDE, um resultado já esperado devido as suas principais formas de uso no país (equipamentos de eletroeletrônicos, veículos, construção civil e material têxtil). Rauert e colaboradores (2018) relataram que o decaBDE foi o congêneres dominante em áreas urbanas e industriais em seu estudo. Tominaga et al., (2018) corrobora ao documentar que as amostras que estavam acima do limite sugerido pelo *Canadian Environmental Quality Guidelines* foram coletadas em áreas industriais, exceto uma que foi oriunda de uma área em desenvolvimento industrial, e que as amostras que estavam em áreas de preservação apresentaram concentrações abaixo do limite estipulado. Importante ressaltar, a exposição humana intradomiciliar e ocupacional sugerida pelos estudos que avaliaram o decaBDE em poeira em casas, apartamentos, escritórios e outras áreas de trabalho, assim como, as escolas. O Brasil não possui regulação ou valores padrões de qualidade para os PBDEs, seja total ou apenas o decaBDE, para o monitoramento da qualidade ambiental. Um problema que deve ser sanado o quanto antes, para a proteção dos ecossistemas e da população.



3.2. DecaBDE em matrizes ambientais bióticas

Todos os estudos em ambiente aquático foram desenvolvidos em ecossistemas marinhos, um oceânico e quatro costeiros, com espécies de cetáceos e peixes. Apenas um estudo foi encontrado em ecossistema terrestre e não foi referente a uma espécie, mas a um produto de origem animal, o mel de abelha.

Tabela 3: Dados de éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) em amostras ambientais bióticas no território brasileiro. As amostras biológicas estão em ng g^{-1} p.l, exceto o mel que está em pg g^{-1} peso fresco (p.f). Os tecidos avaliados foram músculo e tecido adiposo subcutâneo, em peixe e cetáceos, respectivamente.

Matriz/ano	Área (nº ind.)	Média	Mín. – Máx.	Referências
Biótico				
Aquático				
<i>Oceânico</i>				
Bonito (2000)	Atlântico Sul (<i>pool</i> – 5)	<5,0 * ¹	---	[1]
<i>Costeiro</i>				
Franciscana (1994-2009)	Rio de Janeiro (1)	n.d.	---	[2]
	Espírito Santo (13)	13,74	n.d. - 60,27	
	São Paulo (12)	13,02	n.d. - 29,87	
	Paraná (3)	n.d.	---	
	Santa Catarina (11)	24,99	n.d. – 124,35	
Franciscana (1994-2008)	Rio Grande do Sul (13)	8,03	n.d. – 20,57	[3]
	Espírito Santo (3)	n.d.	---	
	São Paulo (12)	10,2	n.d.- 45,39	
	Santa Catarina (2)	---	3,69	
Corvina (2014)	Rio Grande do Sul (3)	3,4	2,67 - 4,1	[4]
	Rio de Janeiro			
	B. de Guanabara (14)	15,24* ²	n.d. – 45,18	
	B. de Sepetiba (6)	284,02* ²	n.d. – 566,71	
Terrestre				
Mel (<i>Apis mellifera</i> L.) (2010 - 2012)	Não específica (16)	<27,0* ³	---	[5]

*1 – abaixo do limite de detecção (ng g^{-1} p.l.); *2 – o cálculo da média só considerou os valores acima do limite de detecção; *3 – abaixo do limite de detecção instrumental (pg g^{-1} μL); p.l. - peso em lipídeos; p.f. – peso fresco; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo. Referências: [1] UENO et al., 2004; [2] ALONSO et al., 2012; [3] DE LA TORRE et al., 2012; [4] PIZZOCHERO et al., 2019; [5] MOHR et al., 2014.

O estudo realizado por Ueno e colaboradores não observou valores de decaBDE acima do limite de detecção nas amostras de bonito (*Katsuwonus pelamis*) coletadas em áreas oceânicas da costa brasileira, assim como, em nenhuma das outras quatorze localidades distribuídas em ambos os hemisférios (Tabela 2). Apesar dos valores de PBDEs (10



congêneres) do hemisfério sul serem inferiores que os do hemisfério norte, o Brasil apresentou o valor de PBDE total comparável a localidades do hemisfério norte, por exemplo: Filipinas.

Valores compatíveis de PBDE com o hemisfério norte, também foi observado por Alonso e colaboradores (2012) em franciscana (*Pontoporia blainvillei*), um pequeno cetáceo de distribuição restrita no sudoeste do Atlântico Sul, em relação a pequenos cetáceos da Europa. Os indivíduos de franciscana foram coletados no Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O decaBDE apresentou a quarta concentração mais alta entre os oito congêneres estudados, sugerindo o uso do decaBDE técnico no país. Os maiores valores (médio e máximo) foram observados em Santa Catarina. Enquanto que os valores de decaBDE foram similares em São Paulo e Espírito Santo. O decaBDE não foi detectado nos espécimes do Rio de Janeiro e Paraná (Tabela 2). Apesar do menor valor médio observado, os indivíduos do Rio Grande do Sul apresentaram a maior contribuição do decaBDE em relação ao PBDE total. De La Torres e colaboradores (2012) também avaliaram a franciscana nos estados do Espírito Santo, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O decaBDE foi o terceiro congêneres com maior contribuição ($12 \pm 17\%$) para o PBDE total, entre os vinte e um estudados. As maiores concentrações (média e máxima) foram observadas em São Paulo (Tabela 2). Os autores observaram uma correlação entre o padrão da contribuição do BDE-209, BDE-207 e BDE-206 para o PBDE total nas amostras com o padrão de duas misturas técnicas do decaBDE (Saytex 102E e Bromkal 82-0DE), sugerindo o seu uso e a sua dispersão no meio ambiente marinho costeiro do sul e sudeste do Brasil (DE LA TORRES et al., 2012).

Vidal (2011) estudou a contaminação pelo PBDE em boto-cinza (*Sotalia guianensis*) em diferentes estados do país (Ceará; Rio Grande do Norte; Bahia - Alcobaça, Prado e Arraial D'Ajuda; Espírito Santo – Regência-Linhares e Guarapari; Paraná - estuário de Paranaguá; Santa Catarina – Baía de Babitonga; e Rio de Janeiro - Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande). A autora não disponibiliza o valor individual do decaBDE, mas ressalta que só foi encontrado em sete amostras (1 indivíduo - Baía de Guanabara/RJ, ES e BA / dois indivíduos - RN e SC) ou seja, em 14% dos indivíduos coletados. Dentre os locais



de amostragem, a maior contribuição percentual do decaBDE ocorreu na Baía de Guanabara (RJ), pouco mais de 20%, em relação ao PBDE total (8 congêneres).

Pizzochero e colaboradores (2019) estudaram PBDEs em amostras de músculo de corvina em duas baías do litoral do Rio de Janeiro. O decaBDE ocorreu em 33,3% e 42,86% das amostras das Baías de Sepetiba e Guanabara, respectivamente. A participação do decaBDE no PBDE total (35 congêneres) foi entre 8% e 78% na Baía de Sepetiba e 19% e 65% na Baía de Guanabara. Além disso, o decaBDE apresentou os maiores valores em 62,5% das amostras em que foi observado, sendo responsável pela maior concentração (Tabela 2). Decorrente da representatividade do decaBDE, os autores sugerem que o decaBDE comercial é utilizado na região costeira do estado do Rio de Janeiro (PIZZOCHERO et al., 2019).

Vale ressaltar, que as espécies de cetáceos estudadas, a franciscana e o boto-cinza, são espécies com alta fidelidade aos seus habitats e vivem em regiões costeiras e baías (SANTOS et al., 2001; LAILSON-BRITO et al., 2010; ALONSO et al., 2012; CRESPO, 2018). A corvina também pode atuar como espécie sentinela de baías e regiões costeiras, com ciclo de vida que abrange essas regiões com movimentos sazonais (JAUREGUIZAR et al., 2008; MULATO et al., 2015; PIZZOCHERO, 2018).

Os estudos realizados em amostras biológicas oriundas de ambiente marinho sugerem o uso de decaBDE técnico nos centros urbanos litorâneos na costa brasileira, principalmente sudeste e sul. Inclusive sugerindo o uso de duas formulações - Saytex 102E e Bromkal 82-0DE – de c-decaBDE. Importante ressaltar, que as regiões sudeste e sul foram responsáveis por 77,4% das empresas que potencialmente fazem aplicação do decaBDE em seus processos ou produtos. Alonso e colaboradores (2012) ressaltam que as áreas onde as carcaças dos cetáceos foram encontradas, incluem regiões industrializadas e urbanizadas, assim como, o estuário do rio Doce, ES; costa de Santos, SP; Baía de Paranaguá, PR; Baía de Babitonga, SC e o estuário da Lagoa dos Patos, RS. As maiores concentrações observadas por De La Torres e colaboradores (2012) foram no litoral do estado de São Paulo, uma das áreas de maior desenvolvimento do sudoeste do Atlântico (YOGUI et al., 2011) e que sofre grande impacto antrópico (UNEP, 2000). A ocorrência do decaBDE também foi observada em espécimes de cetáceos (boto-cinza) e peixes (corvina) da Baía de Guanabara. A mesma espécie de peixe apresentou as maiores concentrações observadas nessa revisão, na Baía de



Sepetiba. A Baía de Guanabara é reconhecida pela pressão antrópica que sofre há décadas, decorrente de indústrias e poluição doméstica (KJERFVE et al, 1997; WASSERMAN, 2005; INEA, 2018), com uma população de onze milhões de pessoas no seu entorno e mais de doze mil indústrias na sua bacia de drenagem (PIZZOCHERO et al., 2019). A situação deste ecossistema se agrava ainda mais pela grande quantidade de atividades portuárias, terminais de petróleo e descarga de esgoto (UNEP, 2000; INEA, 2018). A Baía de Sepetiba também sofre grande impacto decorrente do desenvolvimento há décadas, com o aporte de resíduos industriais sendo superior ao doméstico (WASSERMAN, 2005), apresentando uma população no entorno de dois milhões de pessoas e um parque industrial de mais de quatrocentas indústrias (PIZZOCHERO et al., 2018).

Os resultados da revisão de decaBDE em matrizes biológicas reafirma a relação encontrada entre a ocorrência de decaBDE no ambiente com a urbanização e a industrialização observada nas matrizes abióticas. Os resultados também corroboram Righetti e colaboradores (2019), pois os autores ressaltam que o crescimento populacional associado ao processo de urbanização de áreas costeiras, inclusive com o aumento da industrialização, acarreta no aumento da contaminação de ecossistemas aquáticos por compostos de uso industriais e urbanos, assim como, os PBDE.

O único estudo estimando decaBDE realizado em ambiente terrestre foi avaliando um produto de origem animal e não uma espécie, mais especificamente, o mel de abelha *Apis mellifera* L. Mohr e colaboradores (2014) avaliaram PBDEs em dezesseis amostras de mel compradas em mercados no Brasil. Infelizmente, os autores não relatam a região no qual o mel foi produzido, nem o tipo (silvestre; laranjeira e etc.). Todos os valores de decaBDE estavam abaixo do limite de detecção do instrumento ($27 \text{ pg g}^{-1} \mu\text{L}$).

Por outro lado, as amostras do Brasil apresentaram os maiores valores de retardante de chamas bromados (15 PBDEs + DBDPE + BTBPE) entre os cinco países estudados (Brasil, Portugal, Espanha, Marrocos e Eslovênia), com a concentração média de $5,19 \text{ pg g}^{-1}$ p.f. Contudo, devemos observar que o mel analisado foi processado, ou seja, passou por etapas que podem ter acarretado na sua contaminação e, assim, não representando a contaminação do local em que foi coletado. O mel foi considerado como amostra biótica, por manter as suas características intrínsecas no final do beneficiamento.



O mel não sofre alterações físico-químicas durante o seu processamento, que apresenta etapas, tais como: centrifugação, filtragem e decantação (EMBRAPA, 2003). Diante dos poucos resultados obtidos sobre decaBDE torna-se claro a necessidade de maiores estudos avaliando esse contaminante em amostras biológicas em diferentes ecossistemas, seja aquático ou terrestre.

3.2 DecaBDE em bens de consumo

Nenhum estudo foi encontrado com informações sobre o decaBDE em bens de consumo no Brasil. As únicas informações obtidas foram devido a Associação de Saúde Ambiental (TOXISPHERA), que divulgou uma carta endereçada a membros do governo pedindo a revogação das isenções da Convenção de Estocolmo para reciclagem de produtos contendo PBDEs. O pedido se respalda na migração do PBDE para os materiais reciclados, que foi observado após a associação testar produtos fabricados com plástico reciclado, que foram coletados no mercado brasileiro em 2019.

O estudo observou 139, 339, 121 e 147 $\mu\text{g g}^{-1}$ de decaBDE em calculadora de bolso, tiara de cabelo, navalha e carro de brinquedo feitos de material reciclado, respectivamente (TOXISPHERA, 2019). Estudos fazendo o levantamento da carga de decaBDE em bens de consumo devem ser realizados, pois contribuem para que tenhamos conhecimento da quantidade do contaminante em materiais que ainda estão em uso, produzidos ou reciclados, e descartados no país.



4. PLANOS DE AÇÃO

4.1. Reciclagem

O uso do decaBDE pode ser separado em quatro grupos: equipamentos elétricos e eletrônicos (ex: caixas de aparelhos de TV e computadores); setor de transporte (ex: indústrias automotivas e de aviação); setor de construção (ex: fios, cabos, tubos, etc.); e setor têxtil (ex: revestimento de móveis e cortinas) (BSEF, 2007).

Quanto aos produtos eletroeletrônicos, em 19 de novembro de 2019 foi publicado o Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes. O acordo firmado entre o estado e a sociedade civil propõe a destinação final ambientalmente adequada, preferencialmente a reciclagem, de 100% dos equipamentos eletroeletrônicos. Indiscutivelmente, um passo importante para a resolução do descarte de eletroeletrônicos.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social composta por ações, procedimentos e meios que viabilizam o reaproveitamento do material descartado ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). O MMA enviará ofício para Abinee - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica e Eletros - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos solicitando que fiquem atentos à logística reversa, buscando a identificação de equipamentos que possam estar contaminados com decaBDE. A implementação da logística reversa evitará a contaminação ambiental causada pela destinação inadequada de produtos contendo essas substâncias químicas.

4.2. Comércio Exterior do DecaBDE

A Convenção de Estocolmo proíbe ou restringe a produção e utilização dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) que estão listadas nos anexos da Convenção. Além disso, a Convenção de Estocolmo também regula a importação e exportação de produtos químicos produzidos intencionalmente, que estão listados nos anexos A e B (UNIDO/UNIPAR/UNEP, 2012).



Ao observar os parâmetros colocados pela Convenção, reconhecemos que o Brasil ainda precisa regular a importação e exportação dos novos POPs listados na Convenção, neste caso mais específico, do decaBDE. As operações de importação e exportação são processadas no Sistema Integrado de Comércio Exterior (Siscomex), administrado pelo Ministério da Economia (ME), junto com a Receita Federal e o Banco Central. As mercadorias são classificadas de acordo com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), também adotada pela Argentina, Paraguai e Uruguai (MMA, 2015b).

O ME disponibiliza as informações de importação e exportação no Comex Stat, um portal de acesso gratuito às estatísticas de comércio exterior do Brasil. O presente inventário fez as buscas do decaBDE sob diferentes NCMs genéricos, em que o decaBDE poderia estar inserido, nos baseando nas informações de Annuniação et al., (2018) e UNEP (2019). Porém, a colocação em NCMs genéricos gera resultados superestimados, como pode ser visto no caso em que UNEP (2019) relatou que a quantidade importada de c-decaBDE sob o NCM 2903.99.29 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo) foi de 150 kg, em 2018. No entanto, os valores totais sob esse NCM neste ano são de 187 toneladas. A discrepância é clara ao comparar os valores totais disponibilizados pelo ME, através de um NCM abrangente, com os valores reais como os obtidos pela UNEP. O uso dos valores do ME levará a números superestimados e a um cenário não realista da importação ou exportação deste produto.

Dessa forma, sugere-se, no plano de ação do decaBDE, conste ajustes no procedimento de comercialização na plataforma Siscomex para garantir dados corretos sobre a importação e exportação de decaBDE, através da criação de um NCM próprio, e de produtos que possam conter o contaminante. O Ibama pode solicitar a inclusão como órgão responsável pela anuência dessa substância. Para tanto, o MMA enviará Ofício ao IBAMA informando sobre a necessidade de solicitar ao ME anuência ou destaque na importação dessas substâncias. As NCM são criadas pelo Comitê de Barreiras Técnicas ao Comércio da Organização Mundial do Comércio (OMC), sendo que esta ação deverá ser tomada internacionalmente. Somente após NCM específico será possível melhor controle da importação do decaBDE.

Deve-se acompanhar discussões internacionais do OMC sobre a criação de códigos específicos, e acessar rotineiramente os banco de dados pelo portal Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) para verificar se foram criadas NCM específicas.



5. REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR) TOXICOLOGICAL PROFILE FOR POLYBROMINATED DIPHENYL ETHERS (PBDEs), March 2017, 592p.

ALONSO, M.B. et al. Natural and anthropogenically-produced brominated compounds in endemic dolphins from Western South Atlantic: another risk to a vulnerable species. *Environmental pollution*, v. 170, p. 152-160, 2012.

ANNUNCIACÃO, D.L.R. et al. Éteres Difenílicos Polibromados (PBDE) como contaminantes persistentes: ocorrência, comportamento no ambiente e estratégias analíticas. *Química Nova*, São Paulo, v. 41, n. 7, p. 782-795, July 2018.

ASSOCIAÇÃO DE SAÚDE AMBIENTAL (TOXISPHERA) - Revogação das isenções da Convenção de Estocolmo para reciclagem de TetraBDE, PentaBDE, HexaBDE e HeptaBDE, 16 de abril de 2019.

AZEVEDO, M. – Retardantes de Chamas – Descaso legislativo e falta de informação dos consumidores mantêm consumo de plásticos antichama em baixa no Brasil. – QD Editora., *plastico.com.br* – O portal da revista Plástico Moderno, 10 de Junho de 2008.
<https://www.plastico.com.br/retardantes-de-chama-descaso-legislativo-e-falta-de-informacao-dos-consumidores-mantem-consumo-de-plasticos-antichama-em-baixa-no-brasil/> visualizado em 10 de dezembro de 2018.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado Nº173, 2009 - Estabelece prazo para que computadores, componentes de computadores e equipamentos de informática em geral, comercializados no Brasil, atendam a requisitos ambientais e de eficiência energética.

BRASIL. Instrução Normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010 - Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010a.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2010b.

BRASIL. CONVENÇÃO DE ESTOCOLMO SOBRE POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES ESTOCOLMO, 22 DE MAIO DE 2001 - EMENDAS AOS ANEXOS

A E C. Ministério das Relações Exteriores. Diário Oficial da União, Nº 177, quinta-feira, 13 de Setembro de 2018. Pag. 92.

BRASIL. Portaria nº 464, de 30 de Julho de 2019. Torna pública a abertura de processo de consulta pública da proposta de Acordo Setorial para a implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes.



BROMINE SCIENCE AND ENVIRONMENTAL FORUM (BSEF). 2007. Fact sheet: brominated flame retardant DecaBDE. Bromine Science and Environmental Forum, http://icl-ip.com/wp-content/uploads/2012/03/230_45_FR1210_BSEF_factsheet_DecaBDE_oct07.pdf, visualizado em 02/12/2018.

CHRISTIANSOON, A. et al. Identification and quantification of products formed via photolysis of decabromodiphenyl ether. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 16, n. 3, p. 312-321, 2009.

CRESPO, Enrique A. Franciscana Dolphin: *Pontoporia blainvillei*. In: Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, 2018. p. 388-392.

CRISTALE, J. et al. Occurrence and human exposure to brominated and organophosphorus flame retardants via indoor dust in a Brazilian city. *Environmental Pollution*, v. 237, p. 695-703, 2018.

CRISTALE, J. et al. Occurrence of flame retardants in landfills: A case study in Brazil.

Environmental research, v. 168, p. 420-427, 2019.

DA SILVA, S.F.G. et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in mussels and two fish species from the estuary of the Guanabara Bay, southeastern Brazil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 91, n. 3, p. 261-266, 2013.

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Danish EPA) Deca-BDE and Alternatives in Electrical and Electronic Equipment - Environmental Project No. 1141 2006 – Miljøprojekt, 93p.

DE LA TORRE, A. et al. Dechlorane-related compounds in franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*) from southeastern and southern coast of Brazil. *Environmental science & technology*, v. 46, n. 22, p. 12364-12372, 2012.

EARNSHAW, M.R.; JONES, K.C.; SWEETMAN, A.J. Estimating European historical production, consumption and atmospheric emissions of decabromodiphenyl ether. *Science of the total environment*, v. 447, p. 133-142, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistemas de Produção 3: Produção de mel. Editor técnico: Ricardo Costa Rodrigues de Camargo et al., - Teresina: Embrapa Meio-Norte, 138p. 2002.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA). Substance Name: Bis(pentabromophenyl) ether, EC Number: 214-604-9, CAS Number: 1163-19-5 - MEMBER STATE COMMITTEE SUPPORT DOCUMENT FOR IDENTIFICATION OF BIS(PENTABROMOPHENYL) ETHER AS A SUBSTANCE OF VERY HIGH



CONCERN BECAUSE OF ITS PBT/vPvB PROPERTIES - Adopted on 29 November 2012, 188p.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA) Draft background document for Bis(pentabromophenyl)ether (decabromodiphenyl ether; DecaBDE) – DRAFT, 24 June 2013. 6p.

EUROPEAN COMMISSION (EC) -EUR 20402EN - European Union Risk Assessment Report Bis(pentabromophenyl) ether, Volume 17. Editors: B.G. Hansen, S.J. Munn, J.de Bruijn, M. Luotamo, S. Pakalin, F. Berthault, S. Vegro, G. Pellegrini, R. Allanou, S. Scheer. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, 282 pp.

FENG, C. et al. Debrominated and methoxylated polybrominated diphenyl ether metabolites in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after exposure to decabromodiphenyl ether. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 9, p. 1425-1434, 2010.

FERRARI, R.S. et al. Assessing surface sediment contamination by PBDE in a recharge point of Guarani aquifer in Ribeirão Preto, Brazil. *Water*, v. 11, n. 8, p. 1601, 2019.

FLORES, P.A.C. et al., Tucuxi and Guiana Dolphins: *Sotalia fluviatilis* and *S. guianensis*. In: *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, 2018. p. 1024-1027.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC) – Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013: Lyon, France) (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; volume 107), 510p., 2016.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO (INEA). Diagnóstico de acidentes ambientais no Estado do Rio de Janeiro 1983-2016: enfoque no vazamento de óleo na Baía de Guanabara / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Diretoria de Pós-Licença. Gerência de Operações em Emergências Ambientais. – Rio de Janeiro, 2018. 94p.

KJERFVE, Björn et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental shelf research*, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.

JAUREGUIZAR, A.J. et al., Distribution of *Micropogonias furnieri* at different maturity stages along an estuarine gradient and in relation to environmental factors. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 88, n. 1, p. 175, 2008.

JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA. DIRECTIVA 2002/95/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos. 27 de Janeiro de 2003. PT.

LA GUARDIA, M.J. et al Detailed Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Congener Composition of the Widely Used Penta-, Octa-, and Deca-PBDE Technical Flame-



retardant Mixtures. Environ. Sci. Technol. 40, p.6247-6254, 2006.

LAILSON-BRITO, J. et al. High organochlorine accumulation in blubber of Guiana dolphin, *Sotalia guianensis*, from Brazilian coast and its use to establish geographical differences among populations. Environmental Pollution, v. 158, n. 5, p. 1800-1808, 2010.

MEIRE, R. O. et al. Air concentrations and transport of persistent organic pollutants (POPs) in mountains of southeast and southern Brazil. Atmospheric Pollution Research, v. 3, n. 4, p. 417-425, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002- "Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil". - Data da legislação: 05/07/2002 - Publicação DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) RESOLUÇÃO Nº 448, DE 18 DE JANEIRO DE 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Inventário Nacional de Novos Poluentes Orgânicos Persistentes (Novos POPs) de uso industrial Convenção de Estocolmo. Brasília, 2015a, 166p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano de Ação para a gestão dos novos poluentes orgânicos persistentes (POPs) de uso industrial: Convenção de Estocolmo / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2015b. 96 p

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Análise do questionário RoHS Brasil - Relatório quantitativo das respostas do questionário sobre a proposta de normativo adequada à realidade nacional em relação ao controle de substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos (EEE). 2018a, 31p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). MEMÓRIA DE REUNIÃO - 2ª Reunião Ordinária do Grupo de Trabalho RoHS Brasileira (GT-RoHS). 23 e 24 de julho de 2018b.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). RoHS Brasileira <https://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/gestao-das-substancias-quimicas/rohs-brasileira.html> 02 de setembro de 2019a.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Grupos de Trabalho para a implementação do NIP Brasil <https://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/convencao-de-estocolmo/grupos-de-trabalho-para-a-implementacao%20do-nip-brasil.html> 20 de novembro de 2019b.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Resultado da consulta pública sobre a proposta de acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL (2019c)



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR - <https://sinir.gov.br/>, 02 de dezembro de 2019d.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL (2019e)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes – ANEXO V – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL (2019f)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes – ANEXO XI – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL (2019g)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes – ANEXO VI – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL (2019h)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). RoHS Brasileira <https://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/gestao-das-substancias-quimicas/rohs-brasileira>, 24 de abril de 2020.

MOHER, D. et al. The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. Disponível em: www.prisma-statement.org. Tradução: GALVÃO, T. F., PANSANI, T. S. A., 2015. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. Epidemiol. Serv. Saúde, v. 24, n. 2, 2015. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>

MOHR, S. et al. Levels of brominated flame retardants (BFRs) in honey samples from different geographic regions. Science of the Total Environment, v. 472, p. 741-745, 2014.

MULATO, I.P. et al., Distribuição espaço-temporal de *Micropogonias furnieri* (Perciformes, Sciaenidae) em um estuário tropical no sudeste do Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, v. 41, n. 1, p. 1-18, 2018.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). PubChem Compound Database; CID=14410, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14410> (accessed Dec 13, 2018).

PESTANA, C.R. et al. Risco ambiental da aplicação de éteres de difenilas polibromadas como retardantes de chama. Revista Brasileira de Toxicologia 21, n.2, p.41-48, 2008.



PIERONI, M.C.; LEONEL, J.; FILLMANN, G. Retardantes de chama bromados: uma revisão. *Química Nova*, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 317-326, abr. 2017.

PIZZOCHERO, A.C. et al. Use of multielement stable isotope ratios to investigate ontogenetic movements of *Micropogonias furnieri* in a tropical Brazilian estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 75, n. 6, p. 977-986, 2018.

PIZZOCHERO, A.C. et al. Occurrence of legacy and emerging organic pollutants in whitemouth croakers from Southeastern Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 682, p. 719-728, 2019.

RAUERT, C. et al. Atmospheric concentrations of new persistent organic pollutants and emerging chemicals of concern in the Group of Latin America and Caribbean (GRULAC) region. *Environmental science & technology*, v. 52, n. 13, p. 7240-7249, 2018.

REDFERN, F.M. et al. Overview and perspectives on emissions of polybrominated diphenyl ethers on a global basis: Evaporative and fugitive releases from commercial PBDE mixtures and emissions from combustion sources. *Aerosol Air Qual. Res.*, v. 17, n. 5, p. 1117-1131, 2017.

RIGHETTI, B.P.H. et al. Biochemical and molecular biomarkers in integument biopsies of free-ranging coastal bottlenose dolphins from southern Brazil. *Chemosphere*, v. 225, p. 139-149, 2019.

RODRIGUES, E. M. et al. The occurrence of polybrominated diphenyl ethers in Brazil: a review. *International Journal of Environment and Health*, v. 7, n. 3, p. 247-266, 2015.

SAINI, A. et al. GAPS-megacities: A new global platform for investigating persistent organic pollutants and chemicals of emerging concern in urban air. *Environmental Pollution*, v. 267, p. 115416, 2020.

SANTOS, M.C.O. et al., Insights on site fidelity and calving intervals of the marine tucuxi dolphin (*Sotalia fluviatilis*) in southeastern Brazil. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 81, n. 6, p. 1049, 2001.

SCHENKER, U. et al. Modeling the Environmental Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE): The Importance of Photolysis for the Formation of Lighter PBDE. *Environmental Science and Technology* 42, 9244-9249, 2008.

SISTEMA ELETRÔNICO DO SERVIÇO DE INFORMAÇÕES AO CIDADÃO (e-SIC)
https://esic.cgu.gov.br/sistema/site/acao_info.aspx , 20 de maio de 2019.

TOMINAGA, M.Y. et al. PBDE LEVELS IN SEDIMENT SAMPLES FROM SÃO PAULO STATE, BRAZIL. *Organohalogen Compound*, Vol. 81, 514-517, 2019.

UENO, D. et al. Global pollution monitoring of polybrominated diphenyl ethers using skipjack tuna as a bioindicator. *Environmental science & technology*, v. 38, n. 8, p. 2312-2316, 2004.



UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) - Overview of Land-Based

Sources and Activities Affecting the Marine, Coastal and Associated Freshwater Environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean. UNEP/GPA Coordination Office Regional Seas Report and Studies Series 170. 57 pp., 2000.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) - Technical Review of the Implications of Recycling Commercial Pentabromodiphenyl Ether and Commercial Octabromodiphenyl Ether – DRAFT. UNEP/POPS/POPRC.6/2, Geneva, 11–15 October 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) - Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants - Proposal to list decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-DecaBDE) in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants - Persistent Organic Pollutants Review Committee Ninth meeting - UNEP/POPS/POPRC.9/2, Rome, 14–18 October 2013, 20p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants Seventh meeting. Guidance for the inventory of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Geneva, 2014.

(UNEP/POPS/COP.7/INF/27). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) - Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its eleventh meeting – Addendum - Risk management evaluation on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE). Persistent Organic Pollutants Review Committee Eleventh meeting Rome, 19-23 October 2015. (UNEP/POPS/POPRC.11/10/Add.1)

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION/UNITED NATIONS INSTITUTE FOR TRAINING AND RESEARCH/UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNIDO/UNIPAR/UNEP) Guidance for the control of the import and export of POPs under the Stockholm Convention – Draft - April 2017, 22p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Stockholm Convention - Register of Specific Exemptions: Decabromodiphenyl ether. <http://chm.pops.int/Implementation/Exemptions/SpecificExemptions/DecabromodiphenyletherRoSE/tabid/7593/Default.aspx> , acessado em 3 de fevereiro de 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States EPA). AN ALTERNATIVES ASSESSMENT FOR THE FLAME RETARDANT DECABROMODIPHENYL ETHER (DecaBDE) FINAL REPORT - January 2014, 901p. UNIÃO EUROPEIA. DIRECTIVA 2011/65/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 8 de junho de 2011 relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos (reformulação) (Texto relevante para efeitos do EEE) - Jornal Oficial da União Europeia L 174/88, 1.7.2011, 23p.



VIDAL, L. G. Contaminantes orgânicos em boto-cinza (*Sotalia guianensis*, Cetartiodactyla: Delphinidae) da costa do Brasil/Lara Gama Vidal. – Rio de Janeiro – Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - IBCCF, 2015, 143p.

VOLUNTARY EMISSIONS CONTROL ACTION PROGRAMME (VECAP) European Progress Report 2014 (Anniversary Issue) - Published on May 5, 2015 - https://issuu.com/burson-marsteller-emea/docs/vecap_2015_bro_light , acessado em 30 de Agosto de 2019.

WASSERMAN, J.O. O impacto da mobilização química de metais durante um serviço de dragagem na Baía de Sepetiba para o terminal marítimo da CSA. Mobilidade de Metais em Sepetiba. Rio de Janeiro. Setembro, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Brominated diphenyl ethers. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria Document Number 162. Geneva. 1994.

YOGUI, G. T. et al. PBDEs in the blubber of marine mammals from coastal areas of São Paulo, Brazil, southwestern Atlantic. Marine pollution bulletin, v. 62, n. 12, p. 2666-2670, 2011.



6. ANEXOS

6.1. **Tabela A1:** Valores de importação e exportação de éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) em quilograma líquido, no período de janeiro de 1989 a março de 1996.

NBM - 2909301700		
Ano	Importação	Exportação
1989	-	-
1990	25106	-
1991	48400	-
1992	58200	-
1993	107840	-
1994	168100	-
1995	190000	2700
1996	299700	-
Total	897346	2700



6.2. Tabela A2: Valores de importação e exportação de éter decabromodifenílico (decaBDE - *decabromodiphenyl ether*) em quilograma líquido, no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2019.

Ano	NCM 29093019		NCM 29033929		NCM 29039929	
	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
1997	784931	47	-	-	-	-
1998	658690	137576	-	-	-	-
1999	924035	228	-	-	-	-
2000	1067555	580	-	-	-	-
2001	775599	810	-	-	-	-
2002	571436	100	-	-	-	-
2003	735433	247	-	-	-	-
2004	711940	735	-	-	-	-
2005	907036	83	-	-	-	-
2006	605010	3	-	-	-	-
2007	1045237	-	409259	-	-	-
2008	1211233	5285	229255	-	-	-
2009	1447286	3850	182871	3000	-	-
2010	1438197	4956	197523	474	-	-
2011	1804334	574	65655	1010	-	-
2012	1621254	2761	111143	6	20202	-
2013	1330233	607	92838	-	30160	-
2014	969680	13587	82502	-	34064	-
2015	828609	19537	53473	-	23151	-
2016	582487	381	18968	-	47004	1850
2017	330913	5514	29234	-	140017	-
2018	376378	105531	23081	25	187007	200
2019	204140	75415	8686	1	213075	-
Total	20931646	378407	1504488	4516	694680	2050

NCM 2909.30.19 (outros éteres aromáticos), NCM 2903.39.29 (Outros derivados bromados) e NCM 2903.99.29 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo).



6.3. Tabela A3: Número de empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE (Censo 2017) por unidade federativa.

INDÚSTRIAS	AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
Indústria têxtil	32	183	33	104	1533	3521	341	1228	3933	261	403	322	7319	258
Resinas e elastômeros	0	2	0	6	18	8	0	2	2	0	0	0	29	0
Fibras	0	0	0	0	7	2	1	1	8	1	0	1	4	0
Tintas e revestimentos	1	8	0	4	41	46	18	23	76	10	19	13	98	8
Preparados químicos diversos	0	5	0	14	57	39	4	23	41	9	12	9	235	7
Borrachas	4	11	5	7	97	75	12	48	99	26	89	40	323	51
Plástico	10	79	2	117	353	262	60	111	316	39	91	67	869	54
Eletrônicos e informática	1	5	1	110	93	71	32	37	95	6	11	18	593	9
Geradores, transformadores, etc.	2	4	1	23	36	21	19	25	74	3	15	10	245	11
Indústria automobilística	6	17	0	11	69	36	15	68	108	24	37	24	173	35
Peças de carros	1	1	2	8	38	22	8	19	43	4	14	7	206	6
Transporte (exceto carros)	3	4	5	86	48	32	5	14	37	9	13	9	84	33
Brinquedos e jogos	0	0	0	5	15	13	6	8	28	4	8	2	67	7
Energia elétrica *1	1	8	4	17	133	83	28	17	64	37	104	27	212	10
Gestão de resíduos	6	33	8	43	242	134	57	121	241	60	128	132	529	80
Construção Civil e Infraestrutura	98	469	134	676	4032	1854	1694	2024	3208	1037	1811	1252	9700	1347
TOTAL	165	829	195	1231	6812	6219	2300	3769	8373	1530	2755	1933	20686	1916
Percentual	0.1	0.4	0.1	0.6	3.2	3.0	1.1	1.8	4.0	0.7	1.3	0.9	9.8	0.9

*1 - Energia elétrica - geração, transmissão e distribuição.



6.3. Tabela A4 Continuação: Número de empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE (Censo 2017) por unidade federativa.

INDÚSTRIAS	PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO
Indústria têxtil	526	6061	3106	425	4386	653	3814	148	25	10420	19123	364	94
Resinas e elastômeros	1	24	8	0	11	3	28	0	0	31	176	0	1
Fibras	0	15	6	0	8	1	13	0	0	6	28	1	0
Tintas e revestimentos	21	184	27	9	81	16	116	5	0	103	453	2	5
Preparados químicos diversos	7	166	29	5	98	9	211	5	0	130	872	3	6
Borrachas	22	251	37	17	112	15	240	20	1	170	1011	16	16
Plástico	129	1216	291	42	639	69	1557	25	1	1137	5202	36	12
Eletrônicos e informática	25	632	63	8	205	15	732	8	0	411	2554	8	0
Geradores, transformadores, etc.	5	254	48	8	105	3	293	6	0	214	1085	6	2
Indústria automobilística	10	335	41	17	78	18	275	30	2	180	345	19	17
Peças de carros	5	261	21	4	68	11	417	2	0	183	1474	9	5
Transporte (exceto carros)	9	153	21	2	166	6	147	14	0	130	422	5	4
Brinquedos e jogos	2	116	12	2	28	0	70	3	0	53	310	2	1
Energia elétrica *1	14	188	122	19	319	81	179	32	3	356	474	7	18
Gestão de resíduos	63	435	105	73	316	63	370	41	7	265	1431	17	38
Construção Civil e Infraestrutura	759	9594	1828	653	7356	960	8834	549	109	6252	32117	466	444
TOTAL	1598	19885	5765	1284	13976	1923	17296	888	148	20041	67077	961	663
Percentual	0.8	9.5	2.7	0.6	6.6	0.9	8.2	0.4	0.1	9.5	31.9	0.5	0.3

*1 - Energia elétrica - geração, transmissão e distribuição.



6.4. Protocolo de revisão sistemática

Para uma avaliação completa a respeito da ocorrência dos POP, se faz necessário – além das investigações diretas com as partes interessadas e levantamentos previamente descritos ao longo desse inventário – revisar a produção acadêmica nacional e internacional em busca de relatos científicos que apontem a ocorrência de tais substâncias no país; seja em produtos disponibilizados no mercado consumidor interno, ou seja em matrizes ambientais.

Com essa finalidade, foi estabelecido um processo de revisão sistemática para obtenção de dados com base no protocolo PRISMA (“Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises”, 2015). O método PRISMA envolve a definição de critérios de busca e seleção rígidos para definir as publicações que serão consideradas para a revisão. Duas bases de dados específicas para a busca de publicações científicas revisadas pelos pares foram utilizadas, sendo elas: Web of Science e SCOPUS. Além dessas, a plataforma Sucupira da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para Teses e Dissertações (base nacional) foi consultada para se obter uma visão da produção de conhecimento a respeito de POP pela pós-graduação brasileira.

As buscas por estudos consideraram o decaBDE, o pentaBDE e o octaBDE, não apenas para aumentar a amplitude da busca, mas por fazerem parte em conjunto da Elaboração da revisão e atualização do Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo – NIP Brasil/2015. Dessa forma, padronizando a metodologia utilizada para a elaboração da revisão e da atualização. A revisão foi realizada no período de 28 de setembro até 28 de outubro de 2020.

Nas duas bases de dados específicas internacionais (Web of Science e SCOPUS), foi feito primeiramente um levantamento de trabalhos que mencionassem o nome do composto ou sua sigla. Em ambas as bases de dados, as buscas foram feitas em inglês e utilizando caracteres polivalentes (* e ?) para a variação de palavras chaves. As buscas por trabalhos que mencionassem decaBDE incluíram os seguintes termos no Web of Science: (TS=(Polybrominated Diphenyl Ether) OR TS>(*bde) OR TS=(bde-*) OR TS=(bde??) OR TS=(bde???) OR TS>(*bromodiphenyl ether)) NOT AB=(bdenf). Enquanto que, no Scopus: ((TITLE-ABS-KEY ((Polybrominated Diphenyl Ether) OR *bde OR bde-* OR bde?? OR BDE??? OR (*bromodiphenyl ether))) AND PUBYEAR > 2000) AND NOT (BDEF)).



Os termos utilizados possibilitaram a busca pela maior variedade de palavras derivadas do nome do composto e da sua sigla, como por exemplo: (*bde), que permitiu a busca de grupos homólogos, assim como, decaBDE, octaBDE e pentaBDE. Posteriormente, a palavra (Bra?il) - que engloba as variações de escrita Brazil (inglês) e Brasil (português) foi utilizada como filtro para buscar as publicações contendo o nome do composto, e suas possíveis variações, que estão relacionadas com o país. Outro filtro aplicado às buscas foi o intervalo de anos, para focar em trabalhos publicados entre os anos 2000 e 2020. A exclusão do termo “bdenf” da busca foi decorrente do grande número de artigos que apareceram devido a inclusão do termo “bde??”, mas que não possui relação com o contaminante avaliado. O termo BDNF é uma base de dados especializada na área de enfermagem.

Já na plataforma Sucupira da CAPES para Teses e Dissertações, as buscas foram feitas na língua portuguesa, utilizando as seguintes palavras chaves: pbde OR bde OR decabde OR pentabde OR octabde OR "deca-bde" OR "penta-bde" OR "octa-bde" OR "éteres difenílicos polibromados" OR "difenil éter polibromado". Nesse caso não se fez necessário utilizar o nome do país como palavra-chave.

Nas três bases de dados utilizadas as palavras chaves foram pesquisadas nos seguintes campos: Títulos, Palavras-chaves e Resumos. O critério de seleção das publicações tidas como relevantes foi toda e qualquer menção a ocorrência de decaBDE no território brasileiro. Os resultados estão na figura 4.