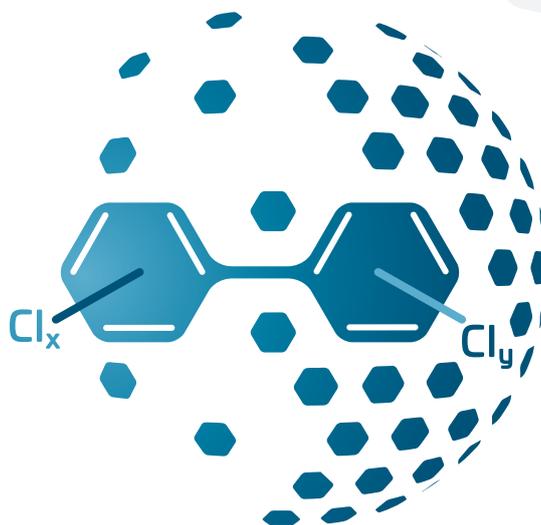


MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA



PCB ZERO

SISTEMA INVENTÁRIO NACIONAL DE PCB

MANUAL DE GESTÃO DE PCB PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

DETENTORES E DESTINADORES



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Jair Messias Bolsonaro

Vice-Presidente

Antonio Hamilton Martins Mourão

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro

Joaquim Alvaro Pereira Leite

SECRETARIA EXECUTIVA

Secretário-Executivo

Fernando Wandscheer de Moura Alves

SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL

Secretário

André Luiz Felisberto França

Secretária Adjunta

Ana Paula Ramos de Almeida e Silva

DEPARTAMENTO DE GESTÃO DA QUALIDADE DO AR E DAS ÁGUAS

Diretora, Substituta

Thaianne Resende Henriques Fábio

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro

Bento Albuquerque

SECRETARIA EXECUTIVA

Secretária-Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário-Executivo Adjunto

Bruno Eustáquio Ferreira Castro de Carvalho

Assessoria Especial de Meio Ambiente

Maria Ceicilene A. Martins

SECRETARIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Secretário

Christiano Vieira da Silva

Secretário Adjunto

Domingos Romeu Andreatta

Diretor de Programa

Rodrigo Daniel Mendes Fornari

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria de Qualidade Ambiental

Ministério de Minas e Energia
Secretaria de Energia Elétrica

MANUAL DE GESTÃO DE PCB PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

DETENTORES E DESTINADORES

Brasília, DF
MMA
2022

COORDENAÇÃO GERAL

André Luiz Felisberto França

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Thaianne Resende Henriques Fábio

EQUIPE TÉCNICA MMA

Camila Arruda Boechat
Caroline Alvarenga Pertussatti
Cayssa Peres Marcondes
Diego Henrique Costa Pereira

EQUIPE TÉCNICA MME

Fernando Antonio Giffoni Noronha Luz
Henryette Patrice Cruz
Ricardo da Costa Ribeiro
Rita Alves Silva
Victor Protazio da Silva
Wilma do Couto dos Santos

APOIO E CONSULTORIA PROJETO GEF/PNUD BRA08G32

Mariana Garcia Costa

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Henrique Peirano

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823m Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental.

Manual de gestão de PCB para equipamentos elétricos: detentores e destinadores / coordenação de André Luiz Felisberto França. – Brasília, DF: MMA, 2022.

147 p. : il. ; color.

ISBN 978-65-88265-18-5

1. Bifenilas policloradas (PCBs). 2. Inventário. 3. Armazenamento. 4. Destinação final. I. França, André Luiz Felisberto. II. Título.

CDU 614.878

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente
Ana Lúcia C. Alves – CRB1/2017

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação genérica da estrutura molecular das bifenilas policloradas (PCBs) e o sistema de numeração da <i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> – IUPAC	23
Figura 2: Uso global acumulado de PCBs (legenda em toneladas)	24
Figura 3: Destinação de PCBs totais, levantadas até o momento, provenientes do Brasil, por ano, de 1991 a 2018	26
Figura 4: Resumo esquemático para classificação dos diferentes tipos de equipamentos de uma companhia elétrica X – Esquema A; e para os equipamentos sujeito à análise estatística – Esquema B	37 e 38
Figura 5: Figura ilustrativa do rótulo de risco de substâncias e artigos diversos – Classe 9	64
Figura 6: Símbolo para volumes contendo produtos perigosos em quantidades limitadas	65
Figura 7: Rótulo de identificação de equipamentos ou continentes classificados como “contaminado com PCB” ou “PCB”, embalagens com capacidade superior a 25 L ou 25 kg (A) ou embalagens com capacidade de 25 L ou 25 kg ou menos (B) – mandatório	66 e 67
Figura 8: Rótulo de identificação de equipamentos que foram descontaminados por substituição do fluido ou por desalogenação	68
Figura 9: Imagem ilustrativa de painel de segurança (formatação em desacordo com regulamentação) – deverá seguir Resolução ANTT 5947/2021, ABNT 7500 e suas atualizações.	74
Figura 10: Exemplo ilustrativo de transporte rodoviário de carga fracionada com “resíduos de PCB” líquido (um único produto perigoso sem risco subsidiário)	75
Figura 11: Representação genérica da estrutura molecular das bifenilas policloradas (PCBs) e o sistema de numeração da <i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> – IUPAC. O número de átomos de cloro pode variar de 1 a 10, sendo representado por (m+n)	100
Figura 12: Exemplos de congêneres de PCB e suas séries homólogas	102
Figura 13: Uso global acumulado de PCBs (legenda em toneladas)	104
Figura 14: Possíveis rotas de difusão das PCBs no ambiente a partir de liberações acidentais atingindo alimentos.	108
Figura 15: Representação esquemática em três dimensões de exemplos de moléculas de PCB com configuração plana (PCB-77 – 3,3',4,4' -tetraclorobifenil - A) e não plana (PCB-180 – 2,2',3,4,4',5,5' - heptaclorobifenil - B)	111
Figura 16: Classes estruturais das PCBs	112
Figura 17: Estrutura molecular das <i>dioxin-like</i> PCBs	114
Figura 18: Estimativa de destinação de PCBs totais provenientes do Brasil (no país e exportados), levantadas até o momento, por ano, de 1991 a 2018.	119
Figura 19: Concentrações de PCB 153 no ar medidos e modelados pelo Glemos e BETR no período de 2004 a 2013, em pg/m ³	121

Figura 20: Visão geral dos principais segmentos da indústria de energia elétrica brasileira	122
Figura 21: Capacidade de geração de energia existente no Brasil	122
Figura 22: Linhas de transmissão existentes no Brasil	123
Figura 23: Subestações existentes no Brasil	124
Figura 24: Sistemas isolados	125
Figura 25: Evolução dos índices de qualidade de fornecimento de energia elétrica, sendo DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). (ANEEL, 2022)	126
Figura 26: Fotos de um transformador de potência em uma subestação de uma transmissora (A) e de um transformador de rede aérea (B) contendo 120 000 L e 60 L de óleo mineral isolante, respectivamente	128
Figura 27: Esquema de modelo proposto que relaciona a massa de PCB identificada ao tempo, esforços necessários e impactos sociais, econômicos, técnicos e logísticos	131
Figura 28: Teste z de hipóteses para proporção, unicaudal, com nível de confiança $(1-\alpha)$	136
Figura 29: Colorações das misturas finais para detecção do nível de PCB através dos kits colorimétricos da empresa Dexsil (Clor-n-oil 50 e Clor-n-oil 20).	138
Figura 30: Fotos dos analisadores de nível de PCB pelo método do eletrodo seletivo de cloro das empresas Dexsil Corporation (A) e Sea Marconi Technologies (B).	139
Figura 31: Mediana dos níveis de PCB marcadores em ng EQT-OMS/g de gordura em amostras de leite humano de população geral do Brasil de 2002 em comparação com as medianas dos países integrantes da 3ª rodada (A) e da 2ª rodada (1992-1993) (B)	145
Figura 32: Níveis médios de <i>dioxin-like</i> PCB (A) e PCB indicadores (B) em leite materno no Brasil em 2012 em comparação com os resultados de outros países no período de 2008/2009	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de quantidade de equipamentos por tipo e data de fabricação	39
Tabela 2: Equipamentos de proteção individual (EPI) aplicáveis para PCB conforme seu tipo de contato, além dos EPI necessários às outras atividades	52
Tabela 3: Dimensões mínimas do rótulo de risco a ser afixado nos equipamentos, volumes, artigos e/ou embalagens	64
Tabela 4: Fórmula, número de congêneres, massa molecular dos diferentes isômeros de PCB.	101
Tabela 5: Produção total de PCB como reportado na literatura (em toneladas)	103
Tabela 6: Teor (% em massa) de isômeros conforme tipo de Aroclor	106
Tabela 7: Fator de equivalência de toxicidade (do inglês <i>Toxic equivalency factor</i> – TEF) das <i>dioxin-like</i> PCB	113
Tabela 8: Dados da estimativa de destinação de PCBs totais provenientes do Brasil em toneladas métricas, levantadas até dez/2018, por ano, de 1991 a 2018	118

Quadro 1: Subpopulações mínimas do inventário de EPP, quando aplicável	30
Quadro 2: Resumo esquemático dos testes de hipóteses	36
Quadro 3: Poluentes orgânicos persistentes (POP) listados na Convenção de Estocolmo, conforme Anexos A a C e ano de sua inclusão (em parêntesis), classificados pelo uso principal ou tipo de formação (• Agrotóxicos / ΔProdutos químicos industriais/□Subprodutos).	98
Quadro 4: Relação entre situação real e a decisão estatística tomada, conforme o teste de hipóteses	136
Quadro 5: Relação das normas utilizadas para determinação de PCB em óleo por cromatografia gasosa	140
Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos testes de detecção do teor de PCB por kit colorimétrico, a partir do eletrodo seletivo de cloro e cromatografia gasosa	142

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASTM – Sociedade Americana para Testes e Materiais (do inglês *American Society for Testing and Materials*)

BAT – Melhores técnicas disponíveis (do inglês *Best Available Techniques*)

BEP – Melhores práticas ambientais (do inglês *Best Environmental Practices*)

CE – Convenção de Estocolmo

CENELEC – Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica (do francês *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ECD – Detector por captura de elétrons (do inglês *Electron Capture Detection*)

ED – Eficiência de Destruição

EDR – Eficiência de Destruição e Remoção

EGP – Equipamentos de grande porte (contendo acima de 2.500 L de óleo isolante), não selados, que podem ser amostrados enquanto em operação normal (sem necessidade de desligamento), de fácil acesso

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (do inglês *Environmental Protection Agency*)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPP – Equipamentos de pequeno porte, não selados, da rede de distribuição aérea ou subterrânea e outros de difícil acesso ou difícil amostragem

EUA – Estados Unidos da América

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

GC – Cromatografia gasosa (do inglês *Gas Chromatography*)

GEF – Fundo Global para o Meio Ambiente (do inglês *Global Environmental Facility*)

IARC – Agência Internacional para Pesquisa de Câncer (do inglês *International Agency for Research on Cancer*)

IEC – Comissão Internacional de Eletrotécnica (do inglês *International Electrothechnical Commission*)

ISO – Organização Internacional de Normalização (do inglês *International Organization for Standardization*)

IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada (do inglês *International Union of Pure and Applied Chemistry*)

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MS – Espectrômetro de massa (do inglês *Mass Spectrometry*)

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (ou, em inglês, *OECD - Organization for Economic Co-operation and Development*)

OEMAs – Órgãos Estaduais de Meio Ambiente

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU – Organização das Nações Unidas

PCDD – dibenzo-p-dioxinas policloradas (do inglês *Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins*)

PCDF – dibenzo-furanos policlorados (do inglês *Polychlorinated Dibenzofurans*)

POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes

PCB ou **PCBs** – Bifenilas Policloradas (do inglês *Polychlorinated Biphenyls*)

SEB – Setor Elétrico Brasileiro

SIN – Sistema Interligado Nacional

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

TCDD – tetracloro-dibenzeno-para-dioxina (do inglês *Tetrachlorodibenzo-p-dioxin*)

TEF – Fator de equivalência de toxicidade (do inglês *Toxic equivalency factor*)

TEQ – Equivalência tóxica (do inglês *Toxic equivalency*)

UC – Unidade Consumidora

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (ou, em inglês UNDP – *United Nations Development Programme*)

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ou, em inglês, UNEP - *United Nations Environment Programme*)



SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	13
2	INTRODUÇÃO	14
3	TERMOS E DEFINIÇÕES	18
4	BIFENILAS POLICLORADAS – VISÃO GERAL	23
5	AS PCBs NO BRASIL – BREVE HISTÓRICO	26
6	INVENTÁRIO DOS DETENTORES DE PCB OU SEUS RESÍDUOS	28
6.1	CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	29
6.2	INVENTÁRIOS DAS COMPANHIAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	40
6.3	INVENTÁRIOS DOS OUTROS DETENTORES DE PCB	42
7	INVENTÁRIO DOS DESTINADORES DE PCB E SEUS RESÍDUOS	44
8	METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE ÓLEO	45
9	ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PCB	46
10	MANUSEIO E ASPECTOS DE SEGURANÇA, EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E ACIDENTES	48
10.1	MANUSEIO E ASPECTOS DE SEGURANÇA	48
10.2	EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL	50
10.3	ACIDENTES	52
11	OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS “CONTAMINADOS COM PCB” OU “PCB”	56
12	MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS “CONTAMINADOS COM PCB” OU “PCB”	58
13	ACONDICIONAMENTO	61
13.1	EQUIPAMENTOS “CONTAMINADOS COM PCB” OU “PCB”	61
13.2	RESÍDUOS DE PCB EM ESTADO SÓLIDO	62
13.3	RESÍDUOS DE PCB EM ESTADO LÍQUIDO	62
14	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, VOLUMES, ARTIGOS E EMBALAGENS - ROTULAGEM	63
15	ARMAZENAMENTO	69
16	TRANSPORTE	72
17	DESTINAÇÃO FINAL E PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO	78
17.1	DESTINAÇÃO FINAL E PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO CONFORME CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS OU EQUIPAMENTOS E CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO	79

172 DESTINAÇÃO FINAL E PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO CONFORME PROCESSOS E TECNOLOGIAS	81
18 FICHA DE EMERGÊNCIA	86
19 PRINCIPAIS PONTOS DE ATENÇÃO DOS ÓRGÃOS ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE	87
20 REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA	88
APÊNDICE I – CONVENÇÕES INTERNACIONAIS RELACIONADAS AO GERENCIAMENTO DE PCB	97
CONVENÇÃO DE ESTOCOLMO (CE) E SEUS ANEXOS	98
APÊNDICE II – BIFENILAS POLICLORADAS - FUNDAMENTOS	100
PRODUÇÃO E CONSUMO MUNDIAL DAS PCBS	102
APLICAÇÃO DAS PCBS	104
APLICAÇÃO DAS PCBS EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	105
RISCOS E TOXICIDADE	106
APÊNDICE III – AS PCBS NO BRASIL E O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	115
ESTIMATIVA DE IMPORTAÇÃO E USO	115
HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO E NORMATIVAS BRASILEIRAS RELACIONADAS ÀS PCBS	115
ESTIMATIVA DE DESTINAÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA	117
CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL DE PCBS NO BRASIL	119
O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	121
AVALIAÇÃO DO HISTÓRICO DO GERENCIAMENTO DE PCB NO SEB E CONSIDERAÇÕES SOBRE COMO VIABILIZAR O ATENDIMENTO À CE PELO SEB	128
OUTRAS REGULAMENTAÇÕES APLICÁVEIS A PRODUTOS OU RESÍDUOS PERIGOSOS EM GERAL	132
APÊNDICE IV – FUNDAMENTOS DO CÁLCULO DO TAMANHO DE AMOSTRA E TESTE Z DE PROPORÇÃO	134
APÊNDICE V – MÉTODOS DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PCB	138
TESTE DE DETECÇÃO DE NÍVEL DE PCB POR KIT COLORIMÉTRICO	138
TESTE DE DETECÇÃO DE NÍVEL DE PCB A PARTIR DE ELETRODO SELETIVO DE CLORO	139
TESTE DE DETECÇÃO DE NÍVEL DE PCB POR CROMATOGRAFIA	140
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE ANÁLISE DE PCB EM ÓLEO	141
APÊNDICE VI - EXEMPLO DE FICHA DE EMERGÊNCIA (CONFORME A ABNT NBR 7503:2020) PARA TRANSPORTE DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS CLASSIFICADOS COMO CONTAMINADO COM PCB E / OU PCB (MODELO OPCIONAL)	143
ANEXO I - MEDIÇÃO DE DIOXIN-LIKE PCB E DE PCB INDICADORES EM LEITES MATERNS	145

1 - APRESENTAÇÃO

Este Manual de Gestão de PCB para Equipamentos Elétricos foi concebido para dispor de procedimentos e critérios para subsidiar detentores e destinadores de Bifenilas Policloradas (PCB ou PCBs) e seus resíduos quanto à elaboração do inventário e do gerenciamento de equipamentos elétricos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg e seus resíduos. Esta iniciativa visa o atendimento do estabelecido na Convenção de Estocolmo (CE) sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) quanto à gestão e à eliminação de PCB e na Lei nº 14.250, de 25 de novembro de 2021, que dispõe sobre a eliminação controlada de materiais, de fluidos, de transformadores, de capacitores e de demais equipamentos elétricos contaminados por bifenilas policloradas (PCBs) e por seus resíduos.

Neste Manual, são descritas as características e os riscos das PCBs, o histórico do gerenciamento desta substância no Brasil e são fornecidas orientações para: **i)** elaboração do inventário de PCBs; **ii)** manuseio, acondicionamento, rotulagem, armazenamento, transporte, e destinação final; **iii)** procedimentos para equipamentos em operação; **iv)** outros.

É recomendado que este documento seja utilizado pelas companhias do Setor Elétrico Brasileiro, outros detentores, prestadores de serviço e todos os demais agentes envolvidos na gestão de PCBs, como destinadores e Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs).

Também é recomendado que os usuários deste Manual estejam atualizados quanto às normas, orientações legais e procedimentos normativos de transporte, operação, entre outros, que possam surgir após a publicação deste documento, uma vez que podem haver alterações ou atualizações que devem ser seguidas.

2 - INTRODUÇÃO

O Brasil é signatário da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, dentre os quais se tem as Bifenilas Policloradas (do inglês *Polychlorinated Biphenyls*, PCB ou PCBs). O termo Ascarel foi usado genericamente para denotar líquidos dielétricos sintéticos, não inflamáveis, usados principalmente em transformadores que continham PCBs e outros organoclorados (tri e tetra clorobenzeno, principalmente), sendo também comercializados e distribuídos numa grande variedade de nomes, conforme seu fabricante e país de origem, destacando-se: Aroclor (Monsanto, EUA); Clophen (Bayer, Alemanha); Kanechlor (Kanegafuchi, Japão); Phenoclor e Pyralene (Prodolec, França); Santotherm (Mitsubishi, Japão); Aceclor (ACEC, Bélgica); Apirolio (Caffaro, Itália); Pyranol (G.E., Estados Unidos); Pyroclor (Monsanto, Reino Unido) (QI et al, 2014; WEBBER, 2012).

A Convenção de Estocolmo, que foi adotada em 22 de maio de 2001 e promulgada no Brasil pelo Decreto nº 5472, de 20 de junho de 2005, proíbe a produção, a utilização, a importação e a exportação das PCBs em seu Anexo A e prevê uma exceção específica para os artigos em uso, que devem seguir as disposições da Parte II do Anexo A. A parte II, em relação à eliminação de PCBs, determina que os Países-Parte deverão agir de acordo com as seguintes prioridades:

- evitar esforços para identificar, rotular e tirar de uso equipamentos que contenham mais de 10% de PCBs e volumes superiores a 5 litros até 2025;
- evitar esforços para identificar, rotular e tirar de uso equipamentos que contenham mais de 0,05% de PCBs (500 mg/kg) e volumes superiores a 5 litros até 2025;
- empenhar-se para identificar e tirar de uso equipamentos que contenham mais de 0,005% de PCBs (50 mg/kg) e volumes superiores a 0,05 litro até 2025.

Adicionalmente, é previsto que os Países-Parte deverão realizar seu gerenciamento ambientalmente adequado até 2028.

O Apêndice I deste Manual apresenta maiores informações sobre a CE, bem como outras Convenções internacionais relacionadas ao gerenciamento de PCBs.

As PCBs nunca foram fabricadas no Brasil, mas é estimado que houve uma importação de 14 a 26 mil toneladas de fluidos PCBs, o que corresponde a 1 a 2% das PCBs produzidas globalmente (BRASIL, 2013, BREIVIK et al, 2002 e BREIVIK et al, 2007). Além disso, estima-se que entre 1991 e 2018 houve a destinação final ambientalmente adequada de cerca de 36 mil toneladas de resíduos de PCB ou material contaminado por PCB.

O gerenciamento e a regulamentação de Bifenilas Policloradas vêm sendo tratados no Brasil desde 1981, a partir da publicação da Portaria Interministerial MIC/MI/MME nº 19, de 29 de janeiro daquele ano, que proibiu a fabricação, a comercialização e o uso de PCB no Brasil. Além desta Portaria, foram publicados os seguintes regulamentos:

Instrução Normativa SEMA/STC/CRS nº 01, de 1983, que disciplinou o manuseio, o armazenamento e o transporte de PCB e seus resíduos;

- Norma ABNT NBR 8371, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), elaborada pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade em 1984, revisada em 1997 e 2005, cujo objetivo é descrever os ascaráveis (PCBs) para transformadores e capacitores, suas características e riscos, e estabelecer orientações para seu manuseio, acondicionamento, rotulagem, armazenamento, transporte, procedimentos para equipamentos em operação e destinação final;
- Decreto Presidencial nº 5472, de 20 de junho de 2005, que promulga a Convenção de Estocolmo (CE) sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) no Brasil, entre os quais estabelece a proibição de produção e uso de PCBs, conforme a Parte II do Anexo A, prevendo que as partes devem envidar esforços para retirada de uso e destinação final de equipamentos em operação com teores maiores que 50 mg/kg, conforme prazos específicos e critérios de prioridade apresentados anteriormente; e
- Lei nº 14.250, de 25 de novembro de 2021, que dispõe sobre a eliminação controlada de materiais, de fluidos, de transformadores, de capacitores e de demais equipamentos elétricos contaminados por bifenilas policloradas (PCBs) e por seus resíduos.

Com o objetivo de estabelecer diretrizes para a gestão adequada e eliminação de PCB, o Governo Brasileiro, com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e com recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (do inglês *Global Environmental Facility* - GEF), desenvolveu o Projeto PNUD BRA/08/G32 – “Estabelecimento da Gestão de Resíduos de PCB e Sistema de Disposição”, executado de 2009 a 2019.

O Projeto teve como objetivo desenvolver e fortalecer a capacidade do país para gerenciar a disposição e a eliminação adequada de óleos, equipamentos, materiais e resíduos contaminados por PCB, de maneira sustentável, de acordo com os prazos e as exigências da Convenção de Estocolmo. Portanto contribuindo para minimizar a exposição da população e do meio ambiente aos riscos oferecidos por esse grupo de substâncias, atuando principalmente junto ao Setor Elétrico Brasileiro.

Dividido em 20 capítulos, além da Apresentação e Introdução (Capítulos 1 e 2,

respectivamente), este Manual conta com um capítulo dedicado aos principais termos e definições utilizados (Capítulo 3). Na sequência, o Capítulo 4 apresenta uma visão geral das Bifenilas Policloradas, seguido de um breve histórico das PCBs no Brasil (Capítulo 5).

O Capítulo 6 traz as diretrizes a serem consideradas para elaboração do Inventário Nacional de PCB para os detentores de PCB e seus resíduos, subdivididos no Setor Elétrico e em Outros Detentores. Este capítulo consiste, resumidamente, no levantamento de massa de materiais contaminados com PCB destinados e identificação da massa de materiais contaminados com PCB remanescente, através de diferentes metodologias conforme o tipo de equipamento e detentor. Já o Capítulo 7 contém as diretrizes para a elaboração do Inventário de PCB dos Destinatários, com o levantamento da massa de PCB efetivamente destruídas no Brasil e no exterior.

Os Capítulos 8 e 9 versam sobre a metodologia de amostragem de óleo e os métodos de análise para determinação do teor de PCB em óleo. Já os Capítulos 10 a 18 contêm as diretrizes relacionadas aos principais aspectos de gestão e gerenciamento de PCB, aplicáveis aos equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB (classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB”): Manuseio e aspectos de segurança; Operação e Manutenção; Acondicionamento e Rotulagem; Armazenamento; Transporte; Destinação Final; Ficha de Emergência. O Capítulo 19 contempla os principais pontos de atenção dos órgãos estaduais de meio ambiente quanto às práticas descritas neste Manual. Por fim, o Capítulo 20 contém as referências utilizadas na elaboração deste Manual.

O Manual contém, ainda, seis apêndices:

- o Apêndice I apresenta uma visão geral das convenções internacionais relacionadas ao gerenciamento de PCB;
- o Apêndice II disponibiliza a fundamentação teórica sobre PCB, com uma breve contextualização do cenário internacional (através do histórico da produção e consumo mundial de PCB), as diferentes aplicações de PCB, e seus riscos e toxicidade. Ele visa complementar a visão geral apresentada no Capítulo 3;
- o Apêndice III contém o histórico de PCB no Brasil, com informações referentes à utilização, regulamentação e massa destruída, bem como considerações sobre a contaminação ambiental por PCB. Este apêndice contém ainda uma breve descrição das dimensões do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) e algumas de suas características e forma de regulação, seguida da avaliação sobre o histórico do gerenciamento de PCB pelo setor e considerações sobre como viabilizar o atendimento à CE quanto às PCBs. Ele representa um maior detalhamento do breve histórico apresentado no Capítulo 5;

- o Apêndice IV delinea a teoria do cálculo do tamanho de amostra e do teste z de proporção;
- o Apêndice V descreve os principais métodos de análise para determinação do teor de PCB em óleo; e
- o Apêndice VI consiste de um modelo de ficha de emergência para o transporte de equipamentos ou resíduos com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg.

Por fim, é apresentado um anexo com os resultados de medição de “*dioxin-like PCB*” e PCB indicadores em leite materno.

3 - TERMOS E DEFINIÇÕES

Acondicionamento: ato ou efeito de acondicionar resíduo de PCB dentro de continentes apropriados.

Armazenamento: ato ou efeito de guardar provisoriamente resíduo de PCB até sua posterior destinação.

Bifenilas policloradas (PCB ou PCBs): hidrocarbonetos clorados que consistem em dois anéis de benzeno unidos por uma ligação simples entre dois átomos de carbono, podendo apresentar diversas substituições com até dez átomos de cloro. Estas substâncias são bioacumulativas, não-biodegradáveis e persistentes no meio ambiente. No passado as PCBs foram utilizadas como produtos de limpeza e desinfecção hospitalar, diluente para pulverização de herbicidas e pesticidas, isolante elétrico, fluido de troca térmica e fluido hidráulico, dentre outros usos.

Classificação de fluidos e de seus respectivos equipamentos (incluindo partes permeáveis e impermeáveis), quando aplicável, conforme teor de PCB do fluido ou resultado do inventário estatístico:

- PCB: equipamento elétrico cujo líquido isolante contenha teor de PCB maior ou igual a 500 mg/kg;
- Contaminado por PCB: equipamento elétrico cujo líquido isolante contenha teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg e menor que 500 mg/kg;
- Não PCB: equipamento elétrico não selado cujo líquido isolante contenha teor de PCB menor que 50 mg/kg, ou quando o seu resultado seja “menor que 50 mg/kg” quando submetido à ensaio conforme a norma ABNT NBR 16432;
- Isento de PCB: equipamento cujo líquido isolante contenha teor de PCB menor ou igual a 2,0 mg/kg quando submetido à ensaio conforme a norma IEC 61619, ou documento técnico equivalente;
- Com suspeita de contaminação por PCB tipo I: Equipamento de Pequeno Porte (EPP) ainda não analisado que pertence à subpopulação de equipamentos cujo 1º teste z de proporção resultou na rejeição da hipótese nula, ou seja, na aceitação da hipótese alternativa - que a proporção de equipamentos PCB (teor maior ou igual a 500 mg/kg) é maior que 10%;

- Com suspeita de contaminação por PCB tipo II: Equipamento de Pequeno Porte (EPP) ainda não analisado que pertence à subpopulação de equipamentos cujo 2º teste z de proporção resultou na rejeição da hipótese nula, ou seja, na aceitação da hipótese alternativa - que a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg é maior que 20%;
- Razoável considerar não PCB: Equipamento de Pequeno Porte (EPP) ainda não analisado que pertence à subpopulação de equipamentos em que ambos os testes z de proporção resultaram na não rejeição das hipóteses nulas (que a proporção de equipamentos PCB é menor ou igual a 10% e a proporção de equipamentos com teor maior ou igual a 50 mg/kg é menor ou igual a 20%).

Continete: qualquer recipiente ou componente usado para conter e, ou, proteger resíduos de PCB.

Desalogenação de PCB: descontaminação química, por transformação irreversível das PCBs em substâncias que não são poluentes orgânicos persistentes, pela remoção dos átomos de cloro, sendo que o teor de PCB é reduzido até os limites estabelecidos. Se esse método for utilizado como destinação final de fluidos, deve ser atingido o limite de 2 mg/kg; quando se tratar de método de destinação de equipamentos, por descontaminação, deve ser atingido, no máximo, o teor de 50 mg/kg, conforme estabelecido no item 17.1.9.

Descontaminação de PCB: qualquer operação em que equipamentos, objetos, materiais ou fluidos contaminados por PCB ou PCB, que reduza o teor de PCB de tal forma que permita a reutilização, reciclagem ou destinação final em condições de segurança. Pode incluir o processo de substituição de fluidos contaminados por PCB ou PCB por fluidos isentos de PCB, outros processos de descontaminação física e também a descontaminação química (em que há destruição, com transformação irreversível das moléculas de PCB). A técnica de descontaminação pode ser realizada durante ou ao final da vida útil do equipamento elétrico, podendo ser considerada uma atividade de manutenção ou um tipo de destinação final.

Destinação final ambientalmente adequada de resíduo de PCB ou de material contaminado por PCB: processo devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente, que garanta a destruição (ou eliminação) através de tratamento térmico, com Eficiência de Destruição e Remoção - EDR mínima de 99,9999%; ou a descontaminação a nível de PCB inferior a 0,005% (cinco milésimos por cento) em peso ou 50 mg/kg (cinquenta miligramas por quilograma) e, para materiais impermeáveis, inferior ou igual a 100 µg (cem microgramas) de PCB total por dm² (decímetro quadrado) de superfície. Os processos de descontaminação podem ser realizados durante ou ao final da vida útil do equipamento elétrico, podendo ser considerada uma atividade de manutenção ou um tipo de destinação

final. Os resíduos gerados nesses processos de destinação final ou atividades de manutenção deverão ser adequadamente destinados por processos devidamente licenciados pelo órgão ambiental, conforme previsto nesse Manual.

Destinador de PCB ou seus resíduos: qualquer pessoa jurídica que tenha autorização para dar a destinação final ambientalmente adequada de PCB, por meio de processos devidamente licenciados pelo órgão ambiental competente e que garantam a destruição (ou eliminação) através de tratamento térmico com Eficiência de Destruição e Remoção - EDR mínima de 99,9999%; ou a descontaminação química a nível de PCB inferior a 0,005% (cinco milésimos por cento) em peso ou 50 mg/kg (cinquenta miligramas por quilograma) e, para materiais impermeáveis, inferior ou igual a 100 µg (cem microgramas) de PCB total por dm² (decímetros quadrados) de superfície.

Detentor de PCB ou seus resíduos: qualquer pessoa jurídica, de direito público ou privado, que utilize ou tenha sob a sua guarda, independentemente de sua origem, equipamento, fluido ou material contaminado por PCB, incluindo transformador, capacitor e demais equipamentos classificados como “contaminado por PCB” ou “PCB”, bem como material, óleo ou outra substância contaminada por PCB como: solo, brita, material absorvente, tambor, equipamento de proteção individual, etc.

Documento técnico internacional: documento publicado pela International Organization for Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC) ou International Telecommunication Union (ITU), podendo ser uma Norma Internacional (ISO, IEC ou ITU), e que pode ter sido adotado como um Documento Técnico Nacional pela ABNT.

Equipamento elétrico analisado: equipamento cujo líquido tenha sido analisado quanto ao teor de PCB, devendo ser classificado conforme o resultado analítico obtido.

Equipamento elétrico de grande porte, não selado (EGP): equipamento contendo volume maior ou igual a 2.500 litros de fluido isolante, que pode ser facilmente acessado, com pequeno risco para a amostragem, e que tenha dispositivo de amostragem que permitam a retirada de amostra de fluido com o equipamento em operação normal (sem necessidade de desligamento).

Equipamento elétrico de pequeno porte, não selado (EPP): equipamento da rede de distribuição aérea ou subterrânea ou outro tipo de equipamento, contendo volume menor que 2.500 litros de fluido isolante, que não tenha originalmente ponto de amostragem que permita a retirada de amostra de fluido com o equipamento em operação ou que não permita amostragem de forma segura, ou seja, quando a amostragem não for uma prática razoável, envolvendo risco de acidente com danos humanos ou materiais de qualquer natureza.

Equipamento elétrico selado: capacitor, reator de iluminação, alguns tipos de transformadores de potência e de instrumentos, e outros equipamentos elétricos que não contenham dispositivo que permita a drenagem do óleo isolante ou sua substituição por outro tipo de óleo ou mesmo a compensação do seu nível.

Equipamento elétrico inventariado: equipamento pertencente à subpopulação de equipamentos cuja análise do resultado das amostras já tenha sido realizada, permitindo sua classificação quanto ao teor de PCB, para fins de gerenciamento ou destinação final, mesmo que ainda não analisado individualmente.

Gerenciamento de resíduos de PCB ou material PCB ou contaminado por PCB: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de operação e manutenção, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada de equipamentos contaminados por PCB ou PCB e/ou resíduos PCB.

Laudos: documento emitido por profissional habilitado, registrado e com anotação de responsabilidade técnica no respectivo conselho de classe.

Manuseio: qualquer atividade por meio da qual os equipamentos em operação ou resíduos de PCB, ou ainda seus continentes, possam entrar em contato com os operadores ou com o meio ambiente.

Massa de resíduos PCB ou de material contaminado por PCB destinados: massa de equipamento, material ou fluido tratados por método de destinação final ambientalmente adequada, que foram destruídas ou cujas moléculas de PCB foram transformadas irreversivelmente, como, por exemplo, processos de tratamento térmico a alta temperatura (devendo abranger a massa de todos os materiais destruídos) e de descontaminação química ou desalogenação (devendo abarcar toda a massa do fluido tratado cujas moléculas de PCB foram irreversivelmente transformadas).

Resíduo de PCB ou material contaminado por PCB: todo material ou substância que, independentemente de seu estado físico, contenha teor de PCB igual ou superior a 0,005% (cinco milésimos por cento) em peso ou 50 mg/kg (cinquenta miligramas por quilograma) e, no caso de materiais impermeáveis, superior a 100 µg/dm² de PCB (cem microgramas por decímetro quadrado de PCB) de superfície. Assim, todo equipamento elétrico retirado de operação e contenedores que apresentem no óleo isolante teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg devem ser considerados como “Resíduo de PCB”. Ademais, materiais usados para contenção e, ou, absorção de líquidos com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg também devem ser considerados como “Resíduo de PCB”;

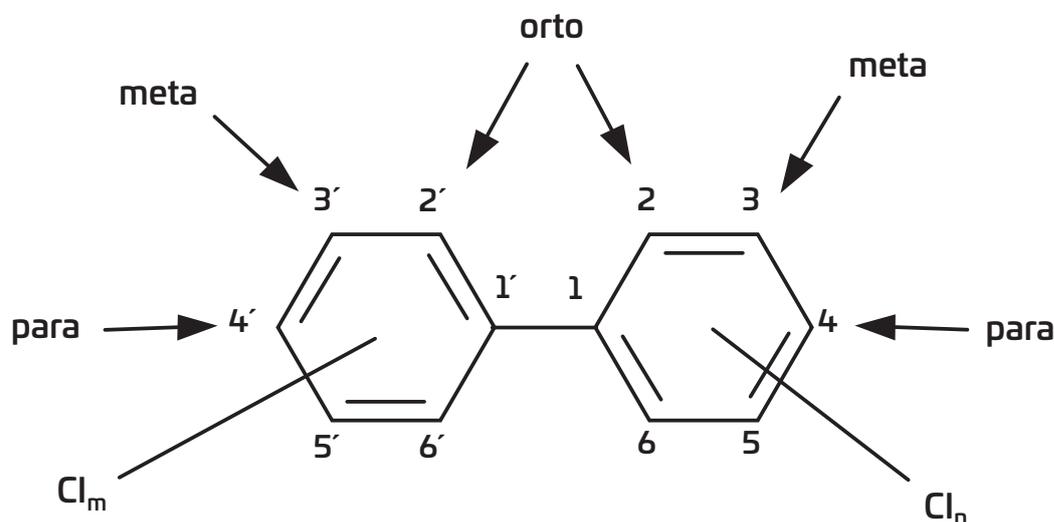
Resíduo sólido impermeável contaminado por PCB: material que não absorve o fluido (como materiais metálicos, porcelanas e outros elementos impermeabilizados presentes em equipamentos elétricos; elementos construtivos de edificações e equipamentos constituídos por material impermeável ou impermeabilizado, tais como pisos e paredes, peças metálicas, etc) e apresentam um teor de PCB maior que $100 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ (100 microgramas de PCB por decímetro quadrado de superfície).

Resíduo sólido permeável contaminado por PCB: constituído por material capaz de absorver PCB em sua massa, tal como: papel, cartão, madeira, solo e outros elementos construtivos de equipamentos elétricos e outros materiais e peças permeáveis presentes em equipamentos diversos; além de elementos construtivos de edificações (como piso e parede de alvenaria não revestida), desde que o fluido com o qual tiveram contato tivesse teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg. Pode ser realizado ensaio para a classificação como “contaminado por PCB”, se o teor detectado for maior ou igual a 50 mg/kg pelos métodos EPA 9078 e EPA 8270 ou por outro documento técnico internacional de normalização com a mesma finalidade. O resíduo sólido permeável que estava em contato com fluido contendo teor menor que 50 mg/kg de PCB pode ser considerado “não PCB”.

4 - BIFENILAS POLICLORADAS – VISÃO GERAL

As PCBs são compostos orgânicos aromáticos clorados, formados por dois radicais fenil, sendo cada radical constituído de 6 átomos de carbono e 5 átomos de hidrogênio, os quais podem ser substituídos por átomos de cloro. A fórmula química geral pode ser representada como $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, onde n , o número de átomos de cloro na molécula, pode variar de 1 a 10, sendo representado por $(m+n)$. Existem no total 209 possíveis compostos chamados de congêneres de PCBs, diferenciados pelo número e posicionamento de átomos de cloro na molécula. A estrutura geral da molécula de PCB é representada na Figura 1.

Figura 1: Representação genérica da estrutura molecular das bifenilas policloradas (PCBs) e o sistema de numeração da *International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC*.

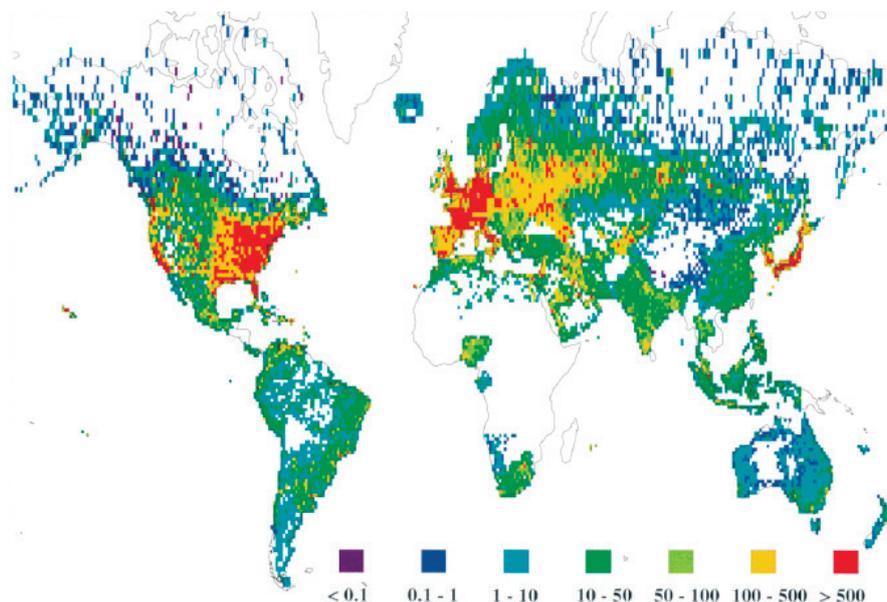


Fonte: Adaptado de WEBBER (2012).

As PCBs foram produzidas pela cloração de bifenilas na presença de um catalisador. As estimativas sobre a produção de PCB variam, mas a maior parte dos autores estima que tenha sido entre 1 a 1,5 milhões de toneladas (Breivik et al, 2002; Breivik et al, 2007; UNEP, 2015; Fiedler, 1997).

Breivik et al (2002) estimaram que 97% do total das PCBs produzidas foram utilizadas no hemisfério norte. A Figura 2 apresenta o uso global acumulado das PCBs.

Figura 2: Uso global acumulado de PCBs (legenda em toneladas)



Fonte: BREIVIK et al, 2002.

Conforme UNEP CHEMICALS, 2000 e HELSINKI COMMISSION, 2001, os usos das PCBs podem ser divididos em:

- Dispersivos (ou abertos): aqueles em que o produto é usado em contato direto com o ambiente – como por exemplo, produtos de limpeza e desinfecção hospitalar; diluente de herbicidas, pesticidas ou conservantes da madeira; formulações de plásticos e borrachas especiais, etc.
- Não dispersivos (ou fechados): aqueles em que o produto encontra-se em dispositivos ou equipamentos herméticos, sem contato direto com o meio ambiente – por exemplo, como fluido de isolamento elétrico, para minimizar riscos de incêndio e explosão.
- Parcialmente dispersivo (ou parcialmente fechado): quando o fluido movimenta-se, o que ocorre em fluidos de transferência de calor e fluidos hidráulicos.

O uso de PCB em equipamentos elétricos, ou seja, um uso não dispersivo, foi considerado historicamente como sendo de baixo risco ambiental (WEBBER, 2012), o que também pode ser entendido pela norma europeia de gerenciamento de PCB em vigor:

“Não há risco conhecido a saúde humana ou ao meio ambiente, desde que o equipamento permaneça intacto, mesmo se o líquido isolante for contaminado com PCBs” (CENELEC, 2003, tradução nossa).

Contudo, as PCBs podem ser liberadas para o ar, a água, o solo e os sedimentos durante o processo de fabricação, uso e destinação, por meio de derramamentos, vazamentos, queima, disposição inadequada (HELSINKI COMMISSION, 2001) ou acidentes e em aplicações abertas.

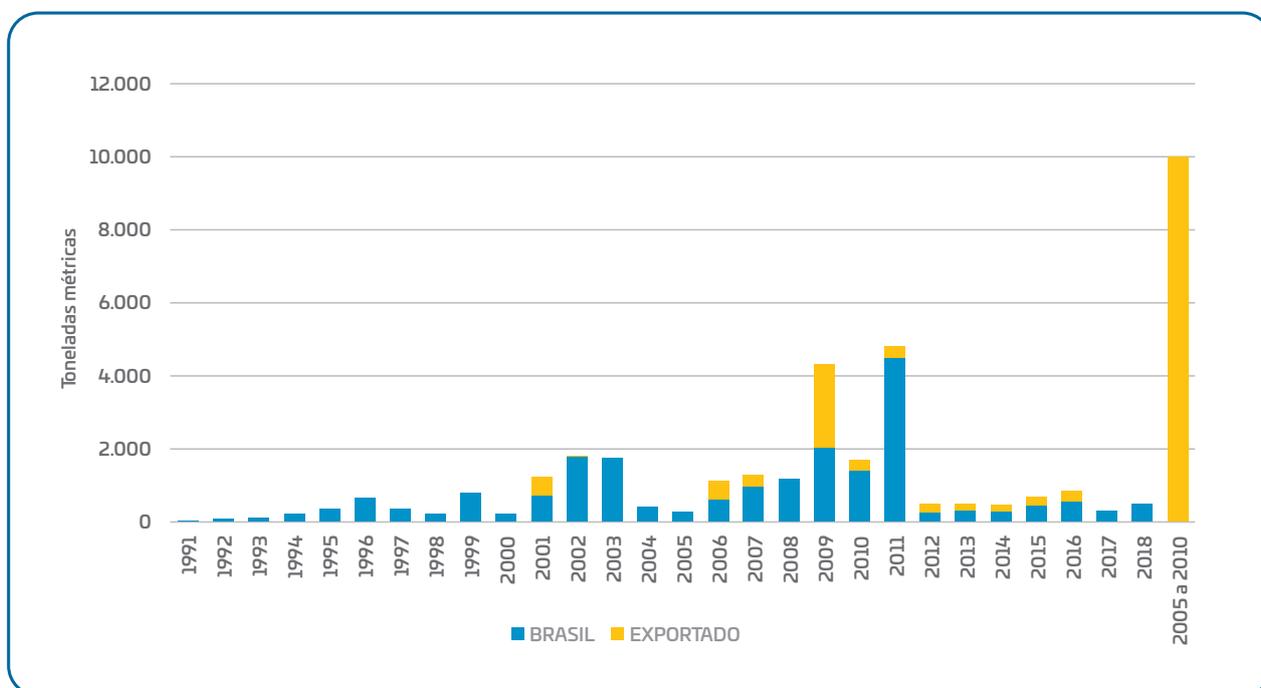
As PCBs são substâncias não-biodegradáveis, persistentes no meio ambiente, carcinogênicas, podendo se bioacumular em tecidos adiposos (UNEP, 2002). Elas são classificadas pela Convenção de Estocolmo como um Poluente Orgânico Persistente (POP). Por sua alta estabilidade, elas permanecem no meio ambiente por um grande período de tempo, podendo ser transportadas por longas distâncias pelo ar e serem depositadas em áreas distantes de onde houve sua liberação (ATSDR, 2000a). No Apêndice II podem ser encontradas mais informações sobre as PCBs, como dados de produção e consumo mundial das PCBs, histórico, aplicações, riscos e toxicidade, entre outros.

5 - AS PCBS NO BRASIL – BREVE HISTÓRICO

As PCBs nunca foram fabricadas no Brasil, mas estima-se que houve uma importação de 14 a 26 mil toneladas de fluido PCB, o que corresponde a 1 a 2% das PCBs produzidas globalmente (BRASIL, 2013, BREIVIK et al, 2002 e BREIVIK et al, 2007).

Também é estimado que houve destinação final ambientalmente adequada de cerca de 36 mil toneladas de resíduos PCB entre 1991 e 2018, conforme consulta a empresas licenciadas. A Figura 3 apresenta o histórico desta destinação a partir da declaração das empresas Cetrel, WPA, Haztec, Braskem, Tecori, Koren, Ecovital, Denver e Saniplan, que totalizou 36.324 toneladas, sendo que 21.518 toneladas destas foram destruídas no país e 15.159 toneladas foram exportadas. Essa massa destruída de PCB corresponde não apenas à massa de óleo, mas também à massa de equipamentos e outros resíduos contaminados com PCB. Percebe-se, portanto, que tem havido esforços significativos de eliminação de PCB no país ao longo do tempo, mesmo antes da Convenção de Estocolmo. Importante destacar também que este quantitativo pode estar subestimado, pois há empresas que não responderam a consulta, ou responderam parcialmente, além da destinação ocorrida nas décadas de 1980 e 1990 que não foram identificadas à época desse levantamento.

Figura 3: Destinação de PCBs totais, levantadas até o momento, provenientes do Brasil, por ano, de 1991 a 2018.



Fonte: Próprio autor.

O Apêndice III apresenta maiores informações sobre o histórico das PCBs no Brasil, entre as quais destacam-se informações quanto a contaminação ambiental no país, histórico da

legislação e normativas brasileiras em vigor relacionadas ao gerenciamento de PCB e também outras regulamentações aplicáveis a produtos ou resíduos perigosos em geral. O Apêndice contém também um item referente ao Setor Elétrico Brasileiro (SEB), um sistema com características singulares, de dimensões continentais, responsável por fornecer um serviço de utilidade pública. Então, é feita uma avaliação do histórico de gerenciamento de PCB pelo SEB, além de considerações de como viabilizar o atendimento à CE quanto à gestão de PCB no que compete a este setor.

Considerando os dados apresentados, é importante a elaboração de um Inventário Nacional, para que os atores envolvidos, detentores e destinadores, possam demonstrar oficialmente o quantitativo destinado de PCB, bem como quantificar os esforços empreendidos pelo Brasil visando o atendimento das metas estabelecidas pela CE em relação a essa substância.

6 - INVENTÁRIO DOS DETENTORES DE PCB OU SEUS RESÍDUOS

Os detentores de PCB ou seus resíduos deverão elaborar e enviar o inventário de PCB em até 3 (três) anos a partir da publicação da Lei nº 14.250/2021, ou seja, até novembro/2024, e atualizar o inventário a cada dois anos, segundo disposto na Lei nº 14.250/2021.

Para o preenchimento e envio do inventário, o Ministério do Meio Ambiente disponibiliza o acesso à página do Inventário Nacional de PCB, no sítio eletrônico pcb.sinir.gov.br, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) (<https://sinir.gov.br/>).

O inventário de PCB é composto por uma gama de informações a serem declaradas por detentores, conforme a característica do setor declarante, as quais incluem, entre outras:

- Identificação do detentor;
- Levantamento de massa de equipamentos, materiais, fluidos e resíduos contaminados com PCB ou PCB já destruídos;
- Informações relacionadas a equipamentos não selados de grande porte (conforme critérios apresentados a seguir);
- Informações relacionadas a equipamentos não selados de pequeno porte, da rede de distribuição aérea e outros de difícil acesso ou amostragem (conforme critérios apresentados a seguir), quando aplicável;
- Demais informações do inventário – subpopulações com suspeita contaminação; equipamentos selados PCB; fluidos e outros resíduos de PCB.

As instruções para o preenchimento das informações no Sistema “Inventário Nacional de PCB”, para cada setor específico, estão disponíveis no Manual de Preenchimento do Inventário Nacional de PCB, no sítio eletrônico do “Inventário Nacional de PCB”, no sítio eletrônico pcb.sinir.gov.br, disponível no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (<https://sinir.gov.br/>).

Ressalta-se que informações a serem preenchidas no inventário, assim como os critérios de gerenciamento estabelecidos neste Manual se referem a equipamentos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg e com volume superior a 0,05L (50mL), como estabelecido pela CE.

6.1 Classificação de equipamentos elétricos

A classificação dos equipamentos elétricos quanto à existência de contaminação por PCB deve ser feita conforme o tipo de equipamento e demais critérios estabelecidos abaixo:

6.1.1. Equipamentos elétricos selados (capacitores, reatores de iluminação, etc) deverão ser classificados conforme sua data de fabricação, informação de placa ou declaração de fabricante, sendo classificados como:

o **Não PCB**: aqueles fabricados a partir de 1989 (inclusive) ou aqueles fabricados anteriormente que apresentem rótulos de “*No PCB*” ou similar, desde que não tenham passado por manutenção com intervenção no líquido isolante;

o **PCB**: aqueles fabricados até 1988 (inclusive), exceto aqueles com rótulos de “*No PCB*” ou similar, desde que não tenham passado por manutenção com intervenção no líquido isolante; aqueles cujo rótulo estiver ilegível ou for inexistente.

6.1.2. Equipamentos não selados de grande porte (contendo acima de 2500 L de óleo isolante), que podem ser amostrados em operação normal (sem necessidade de desligamento), de fácil acesso, que corresponderão à sigla EGP, deverão ter o teor de PCB do fluido isolante de cada equipamento (ou seja, censitariamente) determinado conforme o item 9, sendo classificados da seguinte forma:

o **Não PCB**: se teor de PCB for menor que 50 mg/kg;

o **Contaminado com PCB**: se teor de PCB for maior ou igual a 50 mg/kg e menor que 500 mg/kg;

o **PCB**: se teor de PCB for maior ou igual a 500 mg/kg.

6.1.3. Equipamentos não selados de pequeno porte, da rede de distribuição aérea ou subterrânea e outros de difícil acesso ou difícil amostragem, que corresponderão à sigla EPP, serão classificados conforme metodologia estatística descrita a seguir, devendo ser segregados no mínimo nas subpopulações apresentadas no Quadro 1, quando houver equipamentos com essas características.

Quadro 1: Subpopulações mínimas do inventário de EPP, quando aplicável

Tipo de equipamento	Ano de fabricação e se houve reforma, quando aplicável
Transformadores de rede aérea	Até 1988 – não reformados
	A partir de 1989 – não reformados
	Sem informação de data
	Reformados
Transformadores de rede subterrânea	Até 1988 – não reformados
	A partir de 1989 – não reformados
	Sem informação de data
	Reformados
Disjuntores com extinção de arco em OMI (PVO e GVO)	Até 1988
	A partir de 1989
	Sem informação de data
Religadores	Até 1988
	A partir de 1989
	Sem informação de data
Reguladores de tensão de rede	Até 1988
	A partir de 1989
	Sem informação de data
Outros equipamentos de pequeno porte e/ou rede (transformador de serviço auxiliar, transformador de excitação, transformador de instrumento (TC, TP, TPI), chave a óleo, etc)	Até 1988
	A partir de 1989
	Sem informação de data

Fonte: Próprio autor.

Deve-se atentar que não é prática segura a amostragem de óleo de Transformadores de Corrente (TCs) e transformadores de rede energizados para quaisquer objetivos.

Caso a companhia elétrica do SEB não possua determinado tipo de equipamento ou equipamento pertencente a uma dada subpopulação, deverá informar que não há equipamento desta subpopulação a ser classificado. Para os tipos de equipamentos existentes, a utilização do teste z de hipóteses para a proporção é uma técnica estatística que permite, a partir dos resultados de uma amostra, inferir sobre a proporção da população a ser analisada.

No caso de outros setores detentores, não pertencentes ao Setor Elétrico Brasileiro, pela quantidade e tipos de equipamentos estimados e pelas peculiaridades desses setores, espera-se que a aplicação do critério estatístico não seja uma prática comum, assim, os equipamentos de pequeno porte deverão ser classificados censitariamente, ou seja analisando todos os equipamentos, tais como os EGP, utilizando o Quadro 1 para identificação dos

equipamentos existentes e analisados. A necessidade de aplicação do método estatístico poderá ser avaliada no futuro a depender do retorno do setor no primeiro inventário.

6.1.1 Considerações sobre o cálculo do tamanho da amostra e teste z para proporções

Antes de apresentar as considerações sobre o cálculo do tamanho da amostra e do teste z para proporções, ressalta-se que o Apêndice IV apresenta breve fundamentação teórica desses assuntos.

Conforme Levine et al (2008) e Montgomery et al (2004), o tamanho da amostra para proporção unilateral (unicaudal) para um erro (e) especificado é dado pela Equação 1. Quando o resultado da fórmula for um valor fracionado, deve-se arredondar o resultado para cima.

Equação 1

$$n = \frac{Z_{crítico}^2 \cdot \pi \cdot (1 - \pi)}{e^2}$$

Onde:

π = proporção da população;

e = erro de amostragem aceitável;

$Z_{crítico}$ = valor crítico da distribuição normal padronizada, calculado a partir do nível de confiança desejado ($1-\alpha$);

n = tamanho mínimo da amostra.

Para cálculo do tamanho da amostra, a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50mg/kg de PCB de cada subpopulação de EPP de cada companhia elétrica é desconhecida.

Apesar do histórico de gerenciamento de PCB no SEB indicar que é razoável supor que boa parte das companhias tenha proporções muito baixas de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50mg/kg, de forma conservadora (que irá resultar em um maior tamanho da amostra), deve-se adotar a proporção padrão de 30%. Considerando ainda um nível de confiança desejado de 95% ($1-\alpha = 95\%$ ou $\alpha=5\%$, que corresponde a um $Z_{crítico} = 1,64$), e erro de até 5%, tem-se o seguinte cálculo do tamanho de amostra e arredondamento para cima:

$$n = \frac{Z_{crítico}^2 \cdot \pi \cdot (1-\pi)}{e^2} = \frac{1,64^2 \cdot 0,3 \cdot (1-0,3)}{0,05^2} = 227,3 \cong 228$$

Importante considerar que o tamanho de amostra calculado, conforme parâmetros considerados, é o tamanho mínimo de amostra a ser adotado para cada subpopulação das companhias elétricas. Há também outros métodos iterativos para cálculo de tamanho de amostra utilizados em softwares estatísticos comerciais, que podem ser utilizados, desde que o tamanho de amostra de cada subpopulação seja maior ou igual a 228.

Ademais, percebe-se que o tamanho da amostra independe da quantidade de equipamentos de cada subpopulação. Assim, subpopulações com até 228 equipamentos, deverão ter todos seus equipamentos analisados e classificados de forma similar aos EGP. Esta amostragem aleatória sem reposição poderá ser realizada em equipamentos que estejam disponíveis para análise, ou seja, aqueles fora de operação, que estejam em almoxarifados, por exemplo.

Adicionalmente, caso algum valor atípico seja observado – como por exemplo alguma amostra em que foi detectado um teor de PCB extremamente superior a todos os demais desta subpopulação. Se o resultado analítico estiver correto (após repetição), deve-se classificar e realizar gerenciamento e destinação do equipamento em questão conforme seu resultado analítico e, opcionalmente, pode-se proceder um teste de outlier (como por exemplo Teste de Grubbs, com nível de significância de 5%), para avaliar a possibilidade de sua exclusão. Neste caso, a exclusão deste dado da análise estatística deverá ser justificada com os resultados do teste de outlier, que deverá ser apresentado junto ao inventário declarado.

Na sequência, com o objetivo de identificar os grupos com suspeita de contaminação, deverão ser realizados dois testes z de hipóteses para proporção unilateral. O primeiro teste de hipóteses avaliará a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg e o segundo avaliará a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg (que inclui os equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg).

A estatística do teste z para proporção é dada pela Equação 2:

Equação 2

$$Z_{obs} = \frac{p_{obs} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$$

Onde:

p_{obs} = proporção de equipamentos observados

p_0 = proporção de equipamentos previstos no teste estatístico

n = tamanho da amostra

Z_{obs} = cálculo estatístico do teste z

No primeiro teste de hipótese, supõe-se que a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB de cada subpopulação de EPP é menor ou igual a 10% (primeira hipótese nula).

A hipótese alternativa é complementar em relação a hipótese nula, ou seja, a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB de cada subpopulação de EPP é maior que 10%. Estas hipóteses podem ser representadas da seguinte forma:

$H_0: \pi_1 \leq 0,1$ (A proporção de equipamentos PCB é menor ou igual a 10%)

$H_1: \pi_1 > 0,1$ (A proporção de equipamentos PCB é maior que 10%)

Se o resultado do teste indicar rejeição da hipótese nula, há comprovação estatística de que a hipótese alternativa está correta. Se, por outro lado, o resultado indicar a não rejeição da hipótese nula, não foi possível comprovar a hipótese alternativa. No caso das hipóteses nula e alternativa especificadas anteriormente, o critério de rejeição da hipótese nula é:

$Z_{obs} > Z_{crítico}$

Considerando que o pior tipo de erro neste caso é o erro tipo II (H_0 é falsa, mas o teste de hipóteses resultou na não rejeição de H_0 – ou seja, a proporção de equipamentos PCB na população é maior que 10%, mas o teste de hipóteses não rejeitou a hipótese que a proporção de equipamentos PCB é menor ou igual a 10%), definiu-se pela adoção do nível de confiança de 90% ($1-\alpha$, que corresponde a um nível de significância $\alpha = 10\%$ e $Z_{crítico} = 1,28$).

Inicialmente, deve-se avaliar o número de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB observado na amostra (X_1), e se X_1 maior ou igual a 5 e $(n-X_1)$ maior ou igual a 5, pode-se usar a aproximação normal e realizar o teste de hipótese. Se X_1 for menor que 5, deve-se prosseguir para o próximo teste z.

Calcula-se, então, a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB observada na amostra pela relação de X e n ($p_{obs1} = X_1/n$). Então, calcula-se o Z_{obs1} , conforme a Eq.2. Compara-se Z_{obs1} com $Z_{crítico}$. Se $Z_{obs1} > Z_{crítico}$, rejeita-se H_0 , ou seja, há evidências suficientes que a subpopulação apresenta uma proporção de equipamentos PCB maior que 10%. Neste caso, classifica-se os equipamentos não analisados desta subpopulação como com suspeita de contaminação com PCB tipo I, sendo necessária a realização de análise censitária para classificação final até 2025 e destinação final até 2028.

O segundo teste deve ser realizado pela mesma sequência de cálculos do primeiro teste, mas supondo-se que a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB de cada subpopulação de EPP é menor ou igual a 20% (segunda hipótese nula).

A hipótese alternativa é complementar em relação a hipótese nula, ou seja, a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB de cada subpopulação de EPP é maior que 20%. Estas hipóteses podem ser representadas da seguinte forma:

$H_0: \pi_2 \leq 0,2$ (A proporção de equipamentos PCB ou contaminado com PCB é menor ou igual a 20%)

$H_1: \pi_2 > 0,2$ (A proporção de equipamentos PCB ou contaminado com PCB é maior que 20%)

Similarmente ao que foi realizado para o primeiro teste de hipóteses, como o pior tipo de erro neste caso é o erro tipo II, definiu-se pela adoção do nível de confiança de 90% ($1-\alpha$, que corresponde a um nível de significância $\alpha = 10\%$ e $Z_{crítico} = 1,28$).

Sequencialmente, a partir do número de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB observado na amostra (X_2), e se X_2 maior ou igual a 5 e $(n - X_2)$ maior ou igual a 5, pode-se usar a aproximação normal e realizar o teste de hipótese. Por outro lado, se X_2 for menor que 5, e considerando que a amostra é suficientemente substancial (dada pela Eq.1), poder-se-á classificar a subpopulação como “Não PCB”, sem realização do teste z.

Calcula-se, então, a proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB observada na amostra pela relação de X e n ($p_{obs2} = X_2/n$). Então, calcula-se o Z_{obs2} , conforme a Eq.2. Compara-se Z_{obs2} com $Z_{crítico}$. Se $Z_{obs2} > Z_{crítico}$, rejeita-se H_0 , ou seja, há evidências suficientes que a subpopulação apresenta uma proporção de equipamentos PCB ou contaminado com PCB (teor maior ou igual a 50 mg/kg) maior que 20%.

Neste caso, classifica-se os equipamentos desta subpopulação como com suspeita de contaminação com PCB tipo II, sendo necessária a realização de análise censitária para classificação final até 2025 e destinação final até 2028. Se $Z_{obs2} \leq Z_{crítico}$, não há evidências para se rejeitar H_0 . Neste caso classifica-se os equipamentos não analisados desta

subpopulação como sendo razoável considerar não PCB, não sendo necessária análise censitária para destinação final.

Os equipamentos analisados integrantes de qualquer subpopulação (inclusive os pertencentes às amostras para realização dos testes de hipóteses ou com suspeita de contaminação tipo I ou II) serão classificados de acordo com o resultado específico de sua análise, sendo segregados quanto aos teores da mesma forma que os EGPs foram. O Quadro 2 apresenta as hipóteses nulas e alternativas, seguido das variáveis, fórmulas necessárias para realização dos testes de hipóteses, a forma de classificação das subpopulações conforme os resultados encontrados, entre outras explicações.

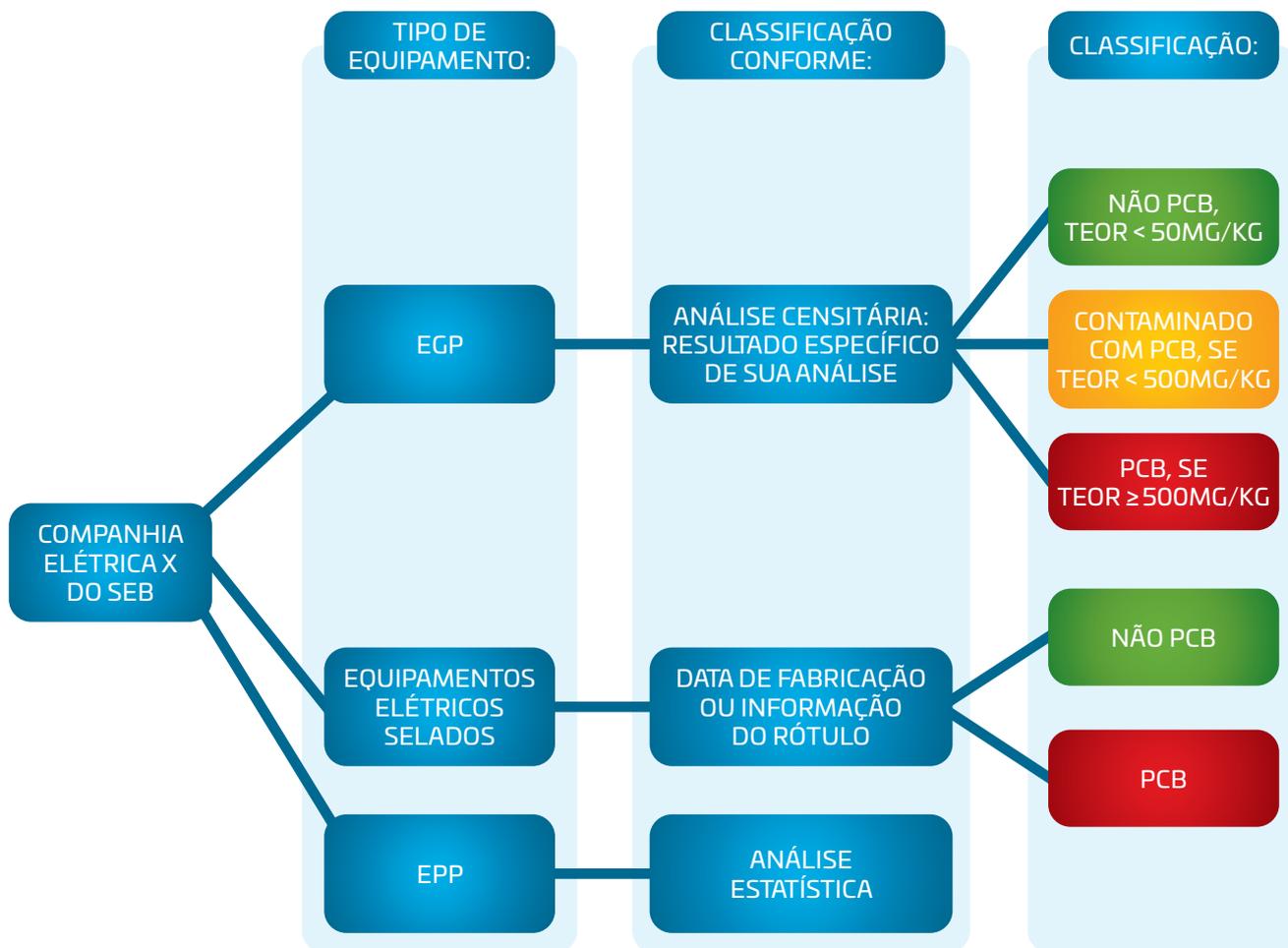
Quadro 2: Resumo esquemático dos testes de hipóteses

1º teste z de hipóteses para proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg	
$H_0: \pi_1 \leq 0,1$	A proporção de equipamentos PCB é menor ou igual a 10%; $p_0 = 0,1$
$H_1: \pi_1 > 0,1$	A proporção de equipamentos PCB é maior que 10%
X_1	Número de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB observado na amostra.
$X_1 \geq 5$ e $(n-X_1) > 5$	Pode-se usar a aproximação normal e realizar o teste de hipótese.
$X_1 < 5$	Não realizar 1º teste z. Proceder para o 2º teste z.
$p_{obs1} = X_1/n$	Proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg de PCB observado na amostra
$Z_{obs1} = \frac{p_{obs1} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$	Cálculo do Z_{obs1}
Se $Z_{obs1} > Z_{crítico}$	Rejeita-se H_0 , ou seja, há evidências suficientes que a subpopulação apresenta uma proporção de equipamentos PCB maior que 10% => Subpopulação com suspeita de contaminação com PCB tipo I
Se $Z_{obs1} \leq Z_{crítico}$	Não se rejeita H_0 . Deve-se proceder o próximo teste para classificação da subpopulação.
2º teste z de hipóteses para proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg	
$H_0: \pi_2 \leq 0,2$	A proporção de equipamentos PCB e contaminados com PCB é menor ou igual a 20%; $p_0 = 0,2$
$H_1: \pi_2 > 0,2$	A proporção de equipamentos PCB e contaminados com PCB é maior que 20%
X_2	Número de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB.
$X_2 \geq 5$ e $(n-X_2) > 5$	Pode-se usar a aproximação normal e realizar o teste de hipótese.
$X_2 < 5$	Não realizar 2º teste z. Classificar como razoável ser não PCB.
$p_{obs2} = X_2/n$	Proporção de equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg de PCB
$Z_{obs2} = \frac{p_{obs2} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$	Cálculo do Z_{obs2}
Se $Z_{obs2} > Z_{crítico}$	Rejeita-se H_0 , ou seja, há evidências suficientes que a subpopulação apresenta uma proporção de equipamentos PCB ou contaminados com PCB é maior que 20% => Subpopulação com suspeita de contaminação com PCB tipo II, sendo necessária a realização de análise censitária para classificação final até 2025 e destinação final até 2028.
Se $Z_{obs2} \leq Z_{crítico}$	Não há evidências para se rejeitar H_0 . Subpopulação em que é razoável considerar não PCB, não sendo necessária análise censitária para destinação final.
Subpopulações classificadas como com suspeita de contaminação tipo I ou tipo II	Necessária a realização de análise censitária para classificação final até 2025 e destinação final até 2028, ou, alternativamente, o detentor poderá optar por: 1. A classificação final de equipamentos como contaminado com PCB, sem realização de análise censitária; 2. Subdivisão em subpopulações menores (ex.: por fabricante ou outro ano de fabricação ou outro parâmetro), sendo necessário aplicar os mesmos critérios estatísticos e de classificação para as novas subpopulações

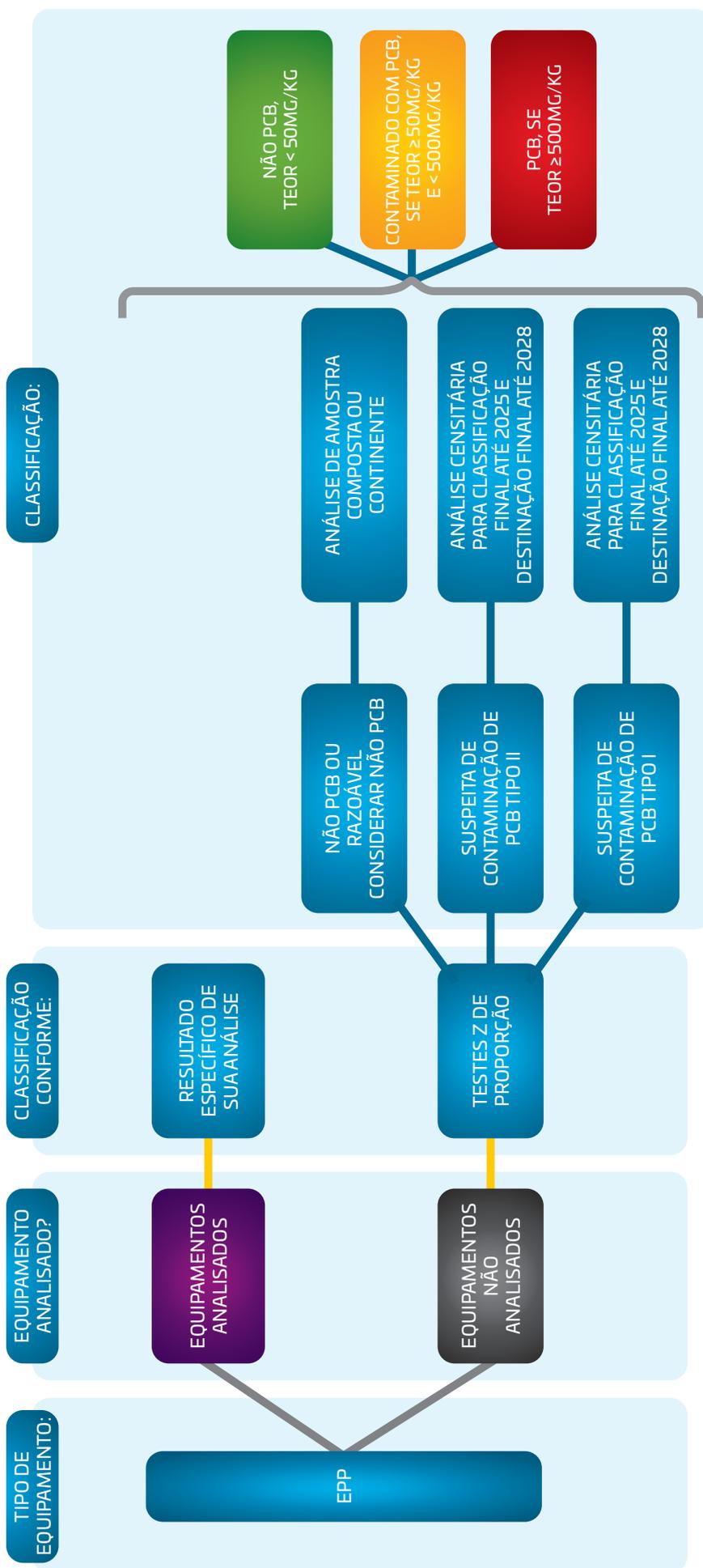
Fonte: Próprio autor.

A Figura 4 resume esquematicamente a classificação dos diferentes tipos de equipamentos de uma companhia elétrica.

Figura 4: Resumo esquemático para classificação dos diferentes tipos de equipamentos de uma companhia elétrica X – Esquema A; e para os equipamentos sujeito à análise estatística – Esquema B



Esquema A



Esquema B

O detentor de subpopulações com suspeita de contaminação com PCB tipos I e II poderá também optar por:

- classificação final de equipamentos como contaminado com PCB, sem realização de análise censitária;
- subdivisão em subpopulações menores (ex.: por fabricante ou outro ano de fabricação ou outro parâmetro), sendo necessário aplicar os mesmos critérios estatísticos e de classificação para as novas subpopulações.

Os itens referentes ao gerenciamento de PCB (manuseio, operação, manutenção, acondicionamento, armazenamento, identificação, transporte e destinação final) são aplicáveis aos equipamentos classificados como “Contaminados com PCB” ou “PCB”, não sendo aplicáveis aos equipamentos não analisados pertencentes às subpopulações com suspeita de contaminação com PCB tipo I e II.

Antes da realização de qualquer manutenção envolvendo seu fluido ou para destinação final, estes equipamentos não analisados deverão ser analisados para classificação final. Nos casos em que o teor de PCB for maior ou igual a 50 mg/kg, eles também deverão seguir as diretrizes de gerenciamento de PCB deste Manual.

6.1.2 Exemplo de aplicação do critério estatístico

Para exemplificar a aplicação do critério estatístico, suponha uma empresa de distribuição de energia elétrica hipotética que possui 121.100 transformadores aéreos de distribuição, entre outros.

Ao se levantar as informações de tipo de equipamento e data de fabricação de cada equipamento, esses são segregados em subpopulações conforme descrito no item anterior e apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Exemplo de quantidade de equipamentos por tipo e data de fabricação

Tipo de equipamento	Ano de fabricação	Quantidade	Tamanho mínimo da amostra
Transformadores de rede aérea	Até 1988 – não reformados	20 000	228
	A partir de 1989 – não reformados	100 000	228
	sem informação de data	100	100 (censitário)
	Reformados	1 000	228

Fonte: Próprio autor.

Após seleção aleatória de 228 equipamentos de cada subpopulação (“n” realizado correspondente ao tamanho mínimo da amostra calculado), amostragem de seus fluidos (conforme item 8) e realização de suas análises para determinação do teor de PCB (conforme item 9), deve-se quantificar os equipamentos com teores de PCB maiores ou iguais a 500 mg/kg (por exemplo 4 equipamentos, ou seja, $X_1 = 4$) e com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg e menor que 500 mg/kg por subpopulação (por exemplo 56 equipamentos, ou seja, $X_2 - X_1 = 56$).

Para a subpopulação de transformadores de rede aérea sem informação de data que possua apenas 100 equipamentos – ou seja, como a subpopulação é menor que 228, que é o tamanho mínimo da amostra, deve-se proceder sua análise censitária e classificação conforme EGP.

O número de equipamentos com teor maiores ou iguais a 50 mg/kg deve ser calculado ($X_2 = 56 + 4 = 60$), e as proporções entre X_1 e X_2 e a quantidade de equipamentos analisados ($p_{obs1} = X_1/n = 4/228 = 1,75\%$ e $p_{obs2} = X_2/n = 60/228 = 26,3\%$). Antes da realização do teste z, deve-se avaliar se X é maior ou igual a 5, para se poder usar a aproximação normal e realizar o teste de hipótese. No caso, do 1º teste z de hipóteses não poder ser realizado, deve-se proceder para o 2º teste z. Então, deve-se calcular de Z_{obs2} conforme a Eq.2.

$$Z_{obs2} = \frac{p_{obs} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}} = \frac{0,263 - 0,2}{\sqrt{\frac{0,2 \cdot (1 - 0,2)}{228}}} = 2,38$$

Por fim, compara-se Z_{obs2} com $Z_{crítico}$. Como foi definido um nível de confiança de 90% ($1 - \alpha$, que corresponde a um nível de significância $\alpha = 10\%$ e $Z_{crítico} = 1,28$), tem-se que $Z_{obs2} > Z_{crítico}$. Desta forma, há evidências estatísticas suficientes para se rejeitar H_0 , o que resulta na classificação desta subpopulação como com suspeita de contaminação tipo II.

Esclarece-se que o sistema de Inventário Nacional de PCB, deverá ser preenchido apenas com o número de amostras realizado e a quantidade de equipamentos com teores maiores ou iguais a 500 mg/kg e com teores entre 50 e 500 mg/kg por subpopulação. O referido Sistema irá calcular automaticamente os parâmetros necessários e tem implementado a lógica dos testes z, classificando automaticamente as subpopulações.

6.2 Inventários das Companhias do Setor Elétrico Brasileiro

Todas as companhias do Setor Elétrico Brasileiro deverão elaborar o inventário de PCB, conforme os critérios apresentados neste Manual, e submetê-lo ao Ministério do Meio

Ambiente a partir do preenchimento das informações requeridas no Inventário Nacional de PCB, no sítio eletrônico <pcb.sinir.gov.br>, disponível no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (<https://sinir.gov.br/>).

O primeiro inventário deverá ser preenchido conforme os prazos e condições estabelecidos pela Lei nº 14.250/2021, e suas atualizações permitirão acompanhar a destinação final ambientalmente adequada desta massa remanescente identificada e eventuais revisões.

Assim, o setor deverá realizar:

- o levantamento ou estimativa das massas dos equipamentos elétricos selados PCB;
- a análise censitária dos EGP e levantamento de informações dos EGP com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg;
- a análise estatística dos EPP das subpopulações mínimas estabelecidas no Quadro 1.

Conforme o remanescente de equipamentos e materiais com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg é identificado, cada empresa deverá elaborar, acompanhar e cumprir sua própria programação de retirada de operação e destinação final de equipamentos contaminados por PCB, seguindo o disposto na Lei nº 14.250/2021:

Art. 4º Os transformadores, os capacitores e os demais equipamentos elétricos contaminados por PCBs deverão ter sua destinação final ambientalmente adequada processada em até 3 (três) anos após a sua desativação, desde que a destinação não ocorra depois dos prazos previstos na Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, promulgada

§ 1º Os materiais ou equipamentos que estiverem fora de operação na data da publicação desta Lei deverão ter sua destinação final ambientalmente adequada processada em até 3 (três) anos, contados da data de publicação desta Lei, pelo Decreto nº 5.472, de 20 de junho de 2005.

Assim, as atualizações do inventário a cada dois anos, conforme a Lei nº 14.250/2021, têm como objetivo geral o acompanhamento da destinação final ambientalmente adequada da massa remanescente de PCB ou materiais contaminados com PCB. Caso a empresa opte pela subdivisão da(s) subpopulação(ões) com suspeita de contaminação de PCB tipo I e tipo II e nova aplicação de inventário estatístico, os resultados deverão ser reportados até o prazo do envio do inventário completo, ou seja, 25 de novembro de 2024.

A destinação ambientalmente adequada de todos os equipamentos contaminados com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg no fluido isolante ou equipamentos não analisados de subpopulações com suspeita de contaminação e resíduos PCB deverá ocorrer até 2028, conforme previsto pela CE. Adicionalmente, equipamentos novos (de materiais e fluidos novos) deverão ser isentos de PCB, sendo admissível declaração do fabricante, contendo o laudo de análise do fluido do tanque utilizado para enchimento dos equipamentos.

Equipamentos reformados ou recuperados deverão utilizar fluido isento de PCB para seu preenchimento, sendo requerida análise do óleo de cada equipamento (censitária).

6.3 Inventários dos outros detentores de PCB

Todos os demais setores que possuam equipamentos elétricos e resíduos que possam estar contaminados com PCB, tais como siderurgia, indústria cimenteira, ferrórias, hospitais, clínicas, grandes indústrias, shopping centers, escolas, entre outros, devem elaborar seu inventário com base nas orientações desse Manual e submetê-lo ao Ministério do Meio Ambiente a partir do preenchimento das informações requeridas no Inventário Nacional de PCB, disponível no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (<https://sinir.gov.br/>).

O primeiro inventário deverá ser preenchido conforme os prazos e condições estabelecidos na Lei nº 14.250/2021, e suas atualizações permitirão acompanhar a destinação final ambientalmente adequada desta massa remanescente identificada e eventuais revisões.

O inventário dos outros detentores de PCB, pela quantidade, tipos de equipamentos estimados e pelas peculiaridades desses setores, não terá a aplicação do critério estatístico. Assim sendo, os equipamentos de pequeno porte deverão ser classificados censitariamente. A necessidade de aplicação do método estatístico poderá ser avaliada no futuro, a depender do retorno das informações do setor no primeiro inventário.

O primeiro inventário tem como objetivo geral a identificação e estimativa da massa remanescente de equipamentos e resíduos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg (aqueles classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” e/ou “resíduos de PCB”). Assim, no primeiro inventário, dever-se-á ter realizado:

- levantamento das massas dos equipamentos elétricos selados PCB;
- análise censitária dos EGP; levantamento dos dados e das massas dos equipamentos com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg;

- análise censitária dos EPP.

Conforme o remanescente de equipamentos e materiais com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg é identificado, cada empresa deverá elaborar, acompanhar e cumprir sua própria programação de retirada de operação e destinação final de equipamentos contaminados por PCB, seguindo o disposto na Lei nº 14.250/2021:

Art. 4º Os transformadores, os capacitores e os demais equipamentos elétricos contaminados por PCBs deverão ter sua destinação final ambientalmente adequada processada em até 3 (três) anos após a sua desativação, desde que a destinação não ocorra depois dos prazos previstos na Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, promulgada

§ 1º Os materiais ou equipamentos que estiverem fora de operação na data da publicação desta Lei deverão ter sua destinação final ambientalmente adequada processada em até 3 (três) anos, contados da data de publicação desta Lei, pelo Decreto nº 5472, de 20 de junho de 2005.

Assim, as atualizações do inventário a cada dois anos, conforme a Lei nº 14.250/2021, têm como objetivo geral o acompanhamento da destinação final ambientalmente adequada da massa remanescente de PCB ou materiais contaminados com PCB.

A destinação ambientalmente adequada de todos os equipamentos contaminados com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg deverá ocorrer até 2028, conforme previsto pela CE. Adicionalmente, equipamentos novos (de materiais e fluidos novos) deverão ser isentos de PCB, sendo admissível declaração do fabricante, contendo o laudo de análise do fluido do tanque utilizado para enchimento dos equipamentos.

Equipamentos reformados ou recuperados deverão utilizar fluido isento de PCB para seu preenchimento, sendo requerida análise do óleo de cada equipamento (censitária).

7 - INVENTÁRIO DOS DESTINADORES DE PCB E SEUS RESÍDUOS

Todas as empresas destinadoras de PCB (que realizem “destruição”, “transformação irreversível das moléculas de PCB”, ou outro processo de destinação de PCBs) e empresas prestadoras de serviço que façam a descontaminação dos equipamentos e a respectiva destinação final dos resíduos gerados deverão elaborar um inventário, a partir do preenchimento das informações requeridas no Inventário Nacional de PCB, no sítio eletrônico pcb.sinir.gov.br, disponível no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (<https://sinir.gov.br/>). O prazo para envio dos inventários estão definidos na Portaria Interministerial a ser publicada no ato de lançamento deste Manual de Gestão.

O inventário de PCB é composto por uma gama de informações a serem declaradas pelos destinadores, as quais incluem:

- identificação;
- levantamento de massa de materiais ou equipamentos contaminados com PCB ou PCB provenientes e destruídos no Brasil;
- levantamento de massa de materiais ou equipamentos contaminados com PCB ou PCB provenientes do Brasil e destruídos no exterior, quando houver;
- levantamento de quantitativo de equipamentos contaminados com PCB ou PCB destinados no Brasil e no exterior.

As instruções para o preenchimento das informações no Sistema estão disponíveis no Manual de Preenchimento do Inventário Nacional de PCB, disponível na página do Inventário Nacional de PCB.

Assim, as atualizações do inventário a cada dois anos, conforme Portaria Interministerial a ser publicada no ato de lançamento deste Manual de Gestão, têm como objetivo geral o acompanhamento da destinação final da massa remanescente de PCB ou materiais contaminados com PCB.

8 - METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE ÓLEO

A coleta de amostra do líquido isolante deve ser executada conforme a ABNT NBR 8840, porém, utilizando-se sistemas de amostragem específicos e independentes para cada equipamento elétrico sob avaliação. Quando aplicáveis, as seguintes Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho deverão ser seguidas:

- NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- NR-33: Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados;
- NR-35: Trabalho em altura.

A amostra deve ser retirada de cada tanque e, no caso de um tambor único, ele deve ser amostrado. A amostra de um líquido isolante deve ser retirada do fundo do tanque, sempre que possível, onde a possível contaminação por PCB está mais concentrada.

O volume da amostra mínimo para fins apenas de análise do teor de PCB deve ser definido pelo tipo de ensaio a ser realizado: 20 mL para apenas análise tipo cromatográfica, 10 mL para análise tipo potenciométrica ou colorimétrica. Assim, para realização de análise potenciométrica ou colorimétrica, com possibilidade de análise confirmatória tipo cromatográfica a posteriori, recomenda-se a coleta de no mínimo 30 mL de óleo.

As retiradas de amostras devem ser sempre realizadas por profissionais capacitados com materiais e equipamentos específicos desta atividade, bem como os demais requisitos da ABNT NBR 8840.

NOTA 1: O transporte de amostras para análises de laboratório deve obedecer às prescrições da norma ABNT NBR 8840, Resolução 5.947 /21 da ANTT e ABNT 7500 e suas atualizações, como por exemplo, suplementar o nome apropriado para embarque com a palavra "AMOSTRA".

NOTA 2: Deve-se atentar que não é prática segura a amostragem de óleo de Transformadores de Corrente (TCs) e transformadores de rede energizados para quaisquer objetivos.

9 - ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PCB

As PCBs podem estar presentes em diversas matrizes ambientais (solo, ar, água, amostras de biota) e também misturados a compostos orgânicos diversos. O foco do presente Manual são os métodos de análise de PCB em óleo mineral isolante, uma vez que as estimativas indicam que o uso predominante das PCBs foi em equipamentos elétricos.

A determinação de PCB em óleos isolantes deverá ser realizada conforme:

- norma ABNT NBR 16432 – Determinação do teor de produtos clorados que contempla a análise por potenciometria, mas inclui a análise por colorimetria. Estes tipos de análises podem ser usados como método de triagem, classificando definitivamente o óleo, caso o seu resultado seja “menor que 50mg/kg”, como “não PCB”, conforme definido no item 3. Quando o teste indicar um resultado “maior ou igual a 50 mg/kg”, pode-se realizar nova análise por cromatografia conforme normas a seguir para classificação definitiva do óleo;
- norma IEC 61619 - *Insulating Liquids - Contamination by Polychlorinated Biphenyls (PCB) - Method of Determination by Capillary Column Gas Chromatography*;
- norma ASTM D4059 - *Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography*;
- norma ABNT NBR 13882 - Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB): trata-se do método de cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (GC-ECD).

Novos métodos (como a Cromatografia Gasosa acoplada a espectrometria de Massa - CG-MS), que venham a ser desenvolvidos com comprovada precisão, também serão aceitos.

Já resíduos sólidos permeáveis (como solo) podem ser ensaiados conforme método EPA 9078, EPA 8270, ou documento técnico internacional de normalização com a mesma finalidade. Resíduos sólidos permeáveis oriundos de equipamentos ou utilizados para contenção de derramamento ou vazamento de fluidos “não PCB” podem ser considerados “não PCB” para fins de destinação final.

Sólidos impermeáveis podem ser ensaiados conforme o Teste Padrão de Limpeza (Standard wipe test), descrito na regulamentação americana 40 CFR 761.123, que prevê a utilização de um modelo padrão de 10 cm por 10 cm (equivalente a 100 cm²) para delimitar a área de coleta e utilização de gaze ou lã de vidro de tamanho conhecido saturado em hexano para coleta da amostra. É importante que a limpeza seja executada muito rapidamente, após

o hexano ser exposto ao ar. A gaze (ou lâ de vidro) devem ser preparadas com hexano em laboratório e deve ser armazenada em frascos de vidro selados até que seja usado para o teste de limpeza. São também necessárias a coleta de amostras branco de campo e análise em replicata. (40 CFR 761.123 – ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, 2015)

Ademais, a subparte P da regulamentação americana 40 CFR 761 (itens 761.300 a 761.316) apresenta critérios de amostragem que devem ser seguidos para superfícies não porosas (ou seja, para sólidos impermeáveis).

Resíduos sólidos impermeáveis que estavam em contato com fluido contendo teores menores que 500 mg/kg de PCB podem ser considerados “não PCB”.

Análises já realizadas serão consideradas válidas, sendo que no caso de equipamentos classificados como “não PCB”, a companhia deverá adotar medidas de prevenção de contaminação, tal como análise do teor de PCB de máquinas de tratamento de óleo quando não houver controle de sua origem.

A acreditação pela ISO/IEC 17025 tem por objetivo reconhecer formalmente a competência de um laboratório desenvolver tarefas em conformidade com requisitos estabelecidos em uma dada norma. Assim, é desejável que as análises cromatográficas de PCB sejam realizadas por laboratórios acreditados.

As análises devem ser sempre realizadas por profissionais habilitados. No caso das análises pelo método colorimétrico, as análises podem ser realizadas por profissionais qualificados. Os laudos de análise devem conter o nome e o CNPJ do laboratório que determinou nesses óleos o teor de PCB, com a respectiva data da análise, nome, número do registro profissional e entidade de classe do responsável técnico.

Todo o material retirado dos equipamentos como amostra para ensaios, bem como todo o material de consumo utilizado para a realização das análises cujos teor de PCB determinado tiver sido maior ou igual a 50 mg/kg, devem ser destinados de forma ambientalmente adequada conforme o item 17.

No Apêndice V são apresentados aspectos técnicos, aplicação, vantagens e desvantagens dos principais métodos de análise para detecção de PCB em óleo visando subsidiar a escolha do método analítico por parte dos detentores de PCB – que deve ser sua prerrogativa.

10 - MANUSEIO E ASPECTOS DE SEGURANÇA, EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E ACIDENTES

Abaixo são descritos procedimentos a serem seguidos, contudo, deve-se também observar as normas vigentes e atualizadas e os procedimentos legais, caso haja, em complementação a esse documento.

10.1 Manuseio e aspectos de segurança

Em quaisquer atividades de gerenciamento de equipamentos, fluidos, materiais e resíduos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg devem ser adotadas todas medidas necessárias e razoáveis para: evitar riscos de contaminações do meio ambiente; a possibilidade de contatos prolongados com pessoas; e contaminação de equipamentos e fluidos “não PCB”.

Os locais em que equipamentos, fluidos, materiais e resíduos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg são manipulados devem:

- ser sinalizados;
- possuir ventilação adequada, a fim de evitar a exposição aos seus vapores;
- ser distantes de fontes de calor;
- haver, em local visível, a relação dos contatos a fazer em caso de acidente e a localização das facilidades médicas próximas;
- estar disponíveis os materiais de primeiros socorros mais usuais, tais como:

o produtos para limpeza de pele como sabonete neutro e fontes de água corrente;

o lava olhos, chuveiros de emergência, etc.

- ser limpas, livres de objetos, lixo e ferramentas desnecessárias;
- não se deve comer, beber, fumar ou usar artigos de higiene pessoal nestes locais.

As pessoas acometidas ou sujeitas à inflamação de garganta e dos brônquios, doenças crônicas de órgãos internos, doenças infecciosas, eczemas, dermatites e dermatites

alérgicas não devem exercer atividades ligadas a equipamentos, fluidos, materiais e resíduos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg, bem como pessoas que apresentem reações alérgicas específicas. As pessoas que exercem atividades envolvendo o manuseio contínuo de materiais com teores maiores ou iguais a 10% de PCB devem ser submetidas a acompanhamento médico sistemático.

Para manuseio de equipamentos, fluidos, materiais e resíduos “contaminados com PCB” ou “PCB”, deve-se:

- evitar atividades de manuseio a temperaturas acima de 60°C. Em caso de necessidade devem ser utilizados, além dos EPI recomendados, a máscara respiratória autônoma;
- após o manuseio, antes de qualquer refeição e uso de instalações sanitárias, o rosto, mãos e braços devem ser lavados com água morna e sabão neutro. É desaconselhável o uso de solventes, detergentes ou abrasivos (areia, sabões especiais, etc);
- manusear e movimentar com cuidado, a fim de evitar choques mecânicos que possam causar vazamentos. Os capacitores devem ser manuseados através das abas laterais e nunca pelas buchas. Os equipamentos devem ser manuseados de acordo com as recomendações do fabricante;
- seus continentes não devem ser tombados, para evitar derramamentos. Quando necessário sua movimentação, mantê-los sempre na posição vertical e amarrados. Eles devem ser movimentados preferencialmente através de empilhadeiras, guinchos, talhas ou caixas apropriadas e conduzidos por profissionais especializados em movimentação de carga;
- quando forem movimentados por guinchos ou talhas, devem ser utilizados estropos adequados, evitando-se o contato do cabo de aço ou corrente com as buchas;
- quando movimentados por empilhadeira, devem ser dispostos sobre estrados e amarrados.

Para evitar que eventuais derramamentos ou vazamentos atinjam o ambiente externo à área de trabalho, as seguintes medidas de adequação de área devem ser tomadas:

- verificar e catalogar todos os pontos de saída de águas pluviais, caixas de passagem de cabos, sistemas de drenagem, entre outros, e vedá-los com material impermeável como lonas de polietileno, antes de iniciar qualquer atividade;

- providenciar meios de contenção para todos os pontos onde haverá a passagem de líquido com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg, como bombas, válvulas, conexões, etc. Para isso podem ser usadas bandejas ou outros recipientes colocados sob os pontos onde há possibilidade de vazamento;
- providenciar materiais absorventes, pás, vassouras e tambores vazios para o recolhimento de eventuais derramamentos.

Todas as operações de transferência de resíduo em estado líquido, de seus continentes originais para outros recipientes, bombeamento, manipulação de bombas e mangueiras, movimentação do pessoal executante, etc., devem ser realizadas dentro de bacia de contenção, capaz de reter no mínimo 10% do volume total de líquido dos continentes, equipamentos e/ou tambores ou o volume do maior equipamento a ser transvazado, o que for maior.

Os detentores de PCB deverão incluir em seu plano de prevenção de acidentes os riscos relacionados às PCB, incluindo medidas preventivas e mitigadoras, sendo importante destacar: descrição dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), conforme tipo de contato; descrição dos riscos de vazamento, incêndio e contatos humanos acidentais; necessidade de afastamento em relação a materiais inflamáveis e/ou combustíveis; descrição dos dispositivos de combate a incêndio a serem utilizados; relação dos telefones de emergência; entre outros. Nas análises de risco das atividades que envolverem a manipulação de materiais “contaminado com PCB” ou “PCB” incluir os riscos relacionados às PCBs.

10.2 Equipamentos de Proteção individual

Os EPI (Equipamentos de Proteção Individual), devidamente registrados e homologados pelos órgãos responsáveis, devem ser selecionados em função do tipo de contato com as PCBs, que podem ser classificados em:

- sem contato – quando as PCBs estão embaladas ou contidas em equipamentos íntegros, sem vazamento ou merejamento;
- contato direto (quando o trabalhador está no mesmo ambiente das PCBs), abaixo de 60°C, sem fogo, em espaço ventilado que abrange desde o contato mínimo (como vazamento ou merejamentos pequenos; coleta de amostras para análise química), até contato significativo (como falha interna grande com ruptura sem fogo);
- contato direto com temperatura superior a 60°C e/ou incêndio e/ou espaço confinado.

Os EPI devem ser preservados para o manuseio exclusivo de PCB. As roupas contaminadas não podem ser usadas novamente, devendo ser destinadas de forma ambientalmente adequada.

Devido a baixa pressão de vapor de PCB a temperatura ambiente, não se faz necessário o uso de equipamentos de proteção respiratória para limpeza de pequenos vazamentos. Os equipamentos de proteção respiratória devem ser usados nas seguintes circunstâncias:

- possível inalação de gases produzidos por arco elétrico;
- possível contato com produtos de degradação de PCB em caso de incêndio;
- presença de PCB em espaços pequenos e confinados;
- presença de PCB disperso como resultado de vazamento;
- presença de solventes usados para limpeza e lavagem.

A Tabela 2 apresenta os EPI mínimos a serem utilizados conforme o tipo de contato com as PCBs.

Tabela 2: Equipamentos de proteção individual (EPI) aplicáveis para PCB conforme seu tipo de contato, além dos EPI necessários às outras atividades

Tipo de contato	Proteção das mãos	Proteção dos olhos	Proteção para pés	Proteção da pele ou do corpo	Equipamento de proteção respiratória
Manutenção sem contato ou com falha interna sem ruptura*					
Contato direto abaixo de 60°C, sem fogo, em espaço ventilado	Luvas de procedimento para agentes químicos em borracha nitrílica ou vinil, ou luvas impermeáveis de PVC	Óculos de segurança ou óculos “ampla visão”, no caso de utilização de máscara “meia face”	Botas de segurança, sapatos impermeáveis ou botas de segurança com cobertura impermeável, conforme apropriado	Avental impermeável ou macacão impermeável tipo “Tyvek” com capuz, sobre vestimenta profissional, conforme apropriado	
Contato direto com temperatura superior a 60°C e/ou incêndio e/ou espaço confinado ou pouco Qual			Sapatos impermeáveis ou botas de segurança com cobertura impermeável	Macacão impermeável tipo “Tyvek” com capuz, sobre vestimenta profissional.	“máscara de face inteira” contra gases tóxicos provida de equipamento de respiração autônoma.

Fonte: Adaptado de ABNT 8371 e CENELEC (2003).

As luvas e botas de segurança devem ser seladas por fita adesiva no ponto em que encontram o macacão impermeável para vedar os espaços.

10.3 Acidentes

O pessoal envolvido na contenção e remediação do acidente devem ser adequadamente treinados e devem utilizar os EPI prescritos no item 10.2.

Devem ser implementadas todas as medidas possíveis e razoáveis de serem adotadas capazes de prevenir que o derramamento, ou vazamento, atinja sistemas de esgoto e água e/ou de minimizar outros impactos negativos do acidente.

10.3.1 Derramamento ou vazamento

Em caso de vazamento ou derramamento, os resíduos de PCB devem ser envolvidos em sacos plásticos e devem ser acondicionados em continentes. Para limpeza da área devem ser usados absorventes comuns, absorventes sintéticos, ou à base de turfa, que também devem ser acondicionados em sacos plásticos e, em seguida, em continentes. Devem ser

adotadas todas as medidas previstas para acondicionamento, armazenamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada (itens 13 a 18) de todos os resíduos do acidente, inclusive materiais dos serviços de contenção e remediação.

Caso o vazamento atinja o solo ou piso de material poroso (madeira, cimento não revestido etc.), proceder como se segue:

- conter o vazamento utilizando material absorvente, para impedir que se alastre;
- retirar todo o excesso de líquido derramado, utilizando material absorvente;
- remover todo material absorvente utilizado e acondicioná-lo em continentes, conforme prescrito neste manual;
- remover a camada superficial do piso, até uma profundidade onde não seja visualmente perceptível a contaminação e acondicionar o material;
- coletar, segundo um critério normalizado de amostragem, uma amostra do solo, ou piso, remanescente para confirmar a eficiência da remoção da camada superficial para descontaminação da área afetada pelo vazamento. Analisar a(s) amostra(s) conforme metodologia apresentada no item 9.

Caso o vazamento atinja piso de material impermeável ou impermeabilizado, proceder como se segue:

- conter o vazamento utilizando material absorvente, para impedir que se alastre;
- retirar todo o excesso de líquido derramado, utilizando material absorvente;
- remover todo o material absorvente utilizado e acondicioná-lo em continentes, conforme prescrito neste manual;
- proceder à descontaminação do local, utilizando tecidos de algodão hidrófilo, estopa, ou outro tecido de fibra não sintética, embebido em solvente adequado (por exemplo: hexano, tetracloroetileno ou detergente específico), e acondicionar todo o material utilizado para posterior destinação;
- analisar a superfície para determinar a contaminação por PCB, segundo método apresentada no item 9. Se a amostra apresentar concentração de PCB menor ou igual a $100 \mu\text{g}/\text{dm}^2$, o piso amostrado pode ser classificado como “não PCB” e o processo de

limpeza da área contaminada pode ser considerado como terminado. Caso a amostra apresente teor de PCB maior que 100 µg/dm², deve ser repetida a operação descrita anteriormente, até que a amostra apresente teor de PCB menor ou igual a 100 µg/dm².

10.3.2 Incêndios

A queima ou incêndio de materiais PCB, ou contaminados com PCB, é uma situação de muito alto risco, pois nestas condições de oxidação parcial descontrolada pode haver a formação de dibenzo-p-dioxinas policloradas e/ou dibenzo-furanos policlorados (PCDD ou PCDF). Nesta situação, as seguintes medidas são recomendadas:

- evacuação imediata da área aonde haja fogo ou fumaça;
- notificação do evento aos responsáveis pelo empreendimento e corpo de bombeiros, notificando as autoridades da natureza do incêndio e das substâncias envolvidas;
- implementação de medidas para conter a contaminação a áreas adjacentes;
- isolamento da área de forma a proibir o acesso a pessoal não autorizado;
- descontaminação do local, acondicionamento, armazenamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada (itens 13 a 18) de todos os resíduos, inclusive materiais dos serviços de contenção e remediação.

10.3.3 Contatos humanos acidentais

Em caso de contato com líquidos com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg e/ou seus vapores, sugerem-se os procedimentos a seguir:

- contato com a pele – Retirar roupas contaminadas, se houver. Lavar com água em abundância. Nunca usar solventes, detergente ou abrasivos;
- contato com os olhos – Remover lentes de contato, se houver. Lavar com água corrente em abundância, com olhos bem abertos, por no mínimo 15 minutos;
- aspiração – Respirar ar fresco;
- ingestão – Procurar assistência médica. Induzir vômito apenas se recomendado pelo médico. Não dar nada para ingestão para um pessoa inconsciente, exceto se autorizado por um médico.

Avaliar necessidade de procurar assistência médica, após estas primeiras medidas, especialmente quando houver aspiração ou ingestão.

11 - OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS “CONTAMINADOS COM PCB” OU “PCB”

Conforme a Norma Europeia EN 50225:2003-04, sobre o Código para emprego seguro de equipamentos elétricos totalmente fechados que podem estar contaminados com PCB (CENELEC, 2003), “não há risco conhecido a saúde humana ou ao meio ambiente, desde equipamento permaneça intacto, mesmo se o líquido isolante for contaminado com PCBs”.

Durante atividades de operação e manutenção de equipamentos elétricos que podem estar contaminados com PCB devem ser adotadas todas medidas necessárias e razoáveis para evitar riscos de contaminações do meio ambiente; a possibilidade de contatos prolongados com pessoas; e contaminação de equipamentos e fluidos “não PCB”.

Todos os equipamentos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB” devem ser vistoriados semestralmente quanto a existência de vazamentos, condições dos materiais, entre outros. Assim, sua disposição deve ser tal que permita essa inspeção e também:

- permitir o acesso para a remoção de qualquer dos equipamentos ou objetos armazenados;
- permitir os trabalhos de limpeza e descontaminação, caso necessários.

Os equipamentos elétricos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB”, quando em operação, exceto os não analisados pertencentes às subpopulações de risco tipo I e II, deverão atender aos requisitos a seguir:

- estar rotulados individualmente com o rótulo específico conforme item 14 e Figura 7;
- possuir “Ficha de Inspeção Periódica” em meio físico ou eletrônico contendo, no mínimo, as seguintes informações:

o identificação do equipamento;

o resultados de inspeção para vazamentos nas válvulas, radiadores, vedações, piso da subestação e na bacia de contenção;

o condições do revestimento externo quanto à corrosão e danos;

o data e resultado da última análise de classificação do equipamento.

O local de instalação de equipamentos elétricos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB”, exceto os não analisados pertencentes às subpopulações de risco tipo I e II, deve ser:

- sinalizado de forma a restringir o acesso de pessoas;
- dotado de dispositivos que evitem choques e consequentes danos que possam causar vazamentos, caso seja próximo a áreas de circulação de veículos ou equipamentos móveis;
- dotado de ventilação que impeça o acúmulo de vapores;
- isolado de materiais inflamáveis ou combustíveis;
- dotado de sistema de contenção, conforme ABNT NBR 13231;
- provido com materiais para atendimento de emergência a derramamentos tais como material absorvente, vassouras e pás de material plástico, sacos de polietileno para recolhimento de resíduos e tambor(es) para embalagem de resíduos e equipamentos de proteção individual;
- ademais, não devem ser executados trabalhos que envolvam soldagem de qualquer tipo.

Quando da sua desativação, os equipamentos elétricos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB” devem ser considerados como resíduos perigosos e seu descarte deve obedecer ao especificado no item 17.

12 - MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS “CONTAMINADOS COM PCB” OU “PCB”

Os equipamentos cujo líquido isolante seja “não PCB” (menor que 50 mg/kg) ou classificados como razoável ser “não PCB” não possuem restrições de atividades de manutenção no que compete a este Manual. Porém a manutenção de equipamentos “contaminados com PCB” ou “PCB” deve seguir os requisitos descritos abaixo:

- deve-se adotar medidas de prevenção de contaminação, tal como análise do teor de PCB de máquinas de tratamento de óleo quando não houver controle de sua origem;
- deve-se analisar todo óleo a ser utilizado nas manutenções, sendo permitido apenas o uso de óleo “não PCB”;
- não devem ser misturados líquidos isolantes “contaminados com PCB” ou “PCB” com líquidos “não PCB”, para evitar a diluição e o aumento da quantidade de material contaminado.

Os equipamentos não analisados pertencentes às subpopulações com suspeita de contaminação com PCB tipo I e II, antes da realização de qualquer manutenção envolvendo seu fluido ou destinação final, deverão ser analisados para classificação final.

A manutenção de equipamentos “contaminados com PCB” deve ser realizada apenas para assegurar atendimento aos padrões técnicos e/ou especificações quanto a qualidade dielétrica e quando:

- não houver vazamento (a presença de merejamento não é considerada vazamento);
- quando o equipamento estiver em boas condições de operação.

As boas condições de operação podem ser aferidas por dois tipos de monitoramento, por pessoal qualificado:

- inspeção visual externa – frequência semestral (o que inclui todos os tipos de equipamentos – transformadores de potência, reatores, disjuntores, capacitores, transformadores de instrumento), exceto transformadores de rede;
- testes analíticos, exceto quando a amostragem não é uma prática razoável (como no caso de transformadores de rede, capacitores, transformadores de instrumento, entre outros).

Os testes analíticos devem seguir as prescrições (como frequência de análise), conforme tipo de equipamento, tipo do fluido dielétrico utilizado e boas práticas de técnicas de manutenção, das seguintes normas (considerar as versões atualizadas das normas):

- ABNT NBR 10576 - Óleo mineral isolante de equipamentos elétricos - Diretrizes para supervisão e manutenção;
- ABNT NBR 16518 - Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos - Diretrizes para supervisão e manutenção;
- ABNT NBR 16446 - Líquidos isolantes sintéticos à base de hidrocarbonetos aromáticos para equipamentos elétricos.
- ABNT NBR 17009 – Fluido de silicone para equipamentos elétricos – Diretrizes para supervisão e manutenção.

Se forem encontrados problemas funcionais, defeitos, derramamentos ou degradação das condições dielétricas dos fluidos isolantes, as medidas corretivas adequadas deverão ser implementadas. Recomenda-se a elaboração e arquivamento de relatório de manutenção (meio físico ou eletrônico) para cada equipamento ou conjunto de equipamentos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB”, quando for este o caso.

Resíduos dos processos de manutenção (como filtros usados, materiais absorventes, etc) devem ser minimizados e adequadamente destinados, conforme teor original de PCB do fluido.

Os locais em que os equipamentos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB” são manipulados devem ser sinalizados e possuir ventilação adequada, a fim de evitar a exposição aos seus vapores.

Os equipamentos classificados como “PCB” ou “contaminados com PCB” devem seguir as condições na manutenção descritas abaixo:

- o acesso de pessoas não envolvidas diretamente no serviço deve ser restrito;
- o local deve ser adequadamente ventilado;
- as pessoas diretamente envolvidas no serviço devem utilizar os EPI adequados, conforme item 10.2;

- o solo, drenos, estruturas e instalações próximas devem ser protegidos por material impermeável, de forma a evitar contaminação;
- devem ser elaborados planos de trabalho que incluam contenção de vazamentos, prevenção de acidentes e primeiros-socorros para o serviço, conforme item 10.1;
- não devem sofrer atividades de manutenção que envolva a soldagem de partes contaminadas com PCB nem rebobinagem, mesmo que parcial;
- não deverá ser efetuado qualquer acondicionamento ou regeneração.

Líquidos isolantes com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg somente podem ser acondicionados ou regenerados, se previamente descontaminados até o limite de quantificação do método de ensaio prescrito na IEC 61619, ou documento técnico de normalização com a mesma finalidade.

Os equipamentos com teores de PCB maiores ou iguais a 10% devem ser submetidos aos programas rotineiros de manutenção preventiva de equipamentos imersos em líquido isolante. A análise cromatográfica de gases dissolvidos não é aplicável a esses equipamentos. Os ensaios físico-químicos aplicáveis a esses equipamentos são apenas teor de água e rigidez dielétrica, de acordo com os seguintes procedimentos:

- deve-se utilizar os EPI mencionados no item 10.2;
- deve-se evitar a realização de ensaios com o óleo à temperatura acima da ambiente;
- caso venha a ser realizado o ensaio de rigidez dielétrica, todo o sistema deve estar dentro de ambiente fechado, com exaustão forçada e provida de filtros com capacidade de absorção de compostos ácidos e clorados;
- Não devem ser realizadas atividades de acondicionamento ou regeneração;
- Não deve ser realizada nenhuma atividade de manutenção corretiva que exija a remoção total ou parcial do líquido isolante;
- Não deve ser realizada nenhuma atividade de manutenção que envolva a execução de solda ou brasagem em qualquer ponto do equipamento.

13 - ACONDICIONAMENTO

O acondicionamento de resíduos de PCB e/ou dos equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” deve ser feito em continentes que apresentem boas condições de uso e que atendam aos requisitos deste Manual e demais normas aplicáveis.

O carregamento dos tambores ou tanques com resíduos de PCB em estado líquido deve ser feito conforme os procedimentos de manuseio já descritos, garantindo as seguintes providências:

- todas as operações de transferência do resíduo líquido de seus continentes originais como: bombeamento, manipulação de bombas e mangueiras, movimentação do pessoal executante, etc, devem ser realizadas dentro de bacia de contenção, capaz de reter no mínimo 10% do volume a ser transvazado ou o volume do maior equipamento, o que for maior;
- todas as saídas de água pluvial, esgotamento sanitário, ou outras existentes próximas à área de trabalho devem ser vedadas antes do início dos serviços.

Os continentes para acondicionamento devem ser facilmente identificados, através da rotulagem, conforme item 14. Pode-se utilizar continentes diferentes do previsto neste Manual, desde que construídos segundo as Normas Brasileiras correspondentes.

Para melhor compreensão das técnicas aqui descritas, foram criados 3 grupos:

- equipamentos “contaminados com PCB” ou “PCB”;
- resíduos de PCB em estado sólido;
- resíduos de PCB em estado líquido.

13.1 Equipamentos “contaminados com PCB” ou “PCB”

- Equipamentos de pequenas dimensões deverão ser acondicionados em tambores com tampa removível, homologados pelo INMETRO para transporte de produtos perigosos;
- Equipamentos cujas dimensões excedam as dos tambores homologados deverão ser acondicionados em sacos de polietileno e devidamente lacrados;

- Os equipamentos cujas dimensões excedam as dos tambores homologados poderão ser considerados dispensados de embalagem, se estiverem drenados e apresentarem integridade em seu tanque, para fins de armazenamento e transporte;
- Equipamentos que contenham até 300 litros de fluido “PCB” ou “contaminado com PCB” (aqueles com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg) poderão ser armazenados ou transportados sem a drenagem do óleo.

13.2 Resíduos de PCB em estado sólido

Os resíduos de PCB em estado sólido deverão ser acondicionados em tambores, “Big-Bags” ou outra embalagem homologada pelo INMETRO para transporte de produtos perigosos e conforme previsto pela Resolução ANTT 5947/2021 e suas atualizações.

13.3 Resíduos de PCB em estado líquido

Os resíduos de PCB em estado líquido poderão ser acondicionados em tambores de tampa fixa, homologados pelo INMETRO para transporte de resíduos perigosos, com até 90% de sua capacidade, para permitir a dilatação do fluido neles contido além de evitar sobrecarga da embalagem.

Todas as embalagens de resíduos PCB em estado líquido devem ser hermeticamente fechadas para fins de armazenamento ou transporte. Não se recomenda a embalagem destes resíduos de PCB em tambores ou bombonas cujo fechamento seguro não seja possível.

Os resíduos de PCB em estado líquido poderão ainda ser acondicionados em caminhões-tanque, desde que, ao final das operações, seja feita a descontaminação dos tanques por processo que garanta um teor residual de PCB de no máximo de 100 µg/dm² nas superfícies internas.

14 - IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, VOLUMES, ARTIGOS E EMBALAGENS - ROTULAGEM

Todos os recipientes e tambores contendo “resíduos de PCB” e/ou equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” devem apresentar Rótulo de Risco, marcação do número das Nações Unidas, precedida das letras ONU ou UN (nº ONU 2315 – Classe 9, se líquidas, ou nº ONU 3432 – Classe 9, se sólidas) e do nome apropriado para embarque afixados no volume, conforme a regulamentação vigente, exceto:

- equipamentos de pequenas dimensões que estiverem acondicionados em tambores com tampa removível, homologados pelo INMETRO para transporte de produtos perigosos, sendo esses tambores devidamente identificados;
- EPP não analisados, mesmo que pertençam às subpopulações classificadas como com suspeita de contaminação com PCB tipo I ou tipo II.

As identificações de rótulos dos equipamentos, volumes, artigos e embalagens devem sempre atender a regulamentação vigente.

A seguir são apresentados alguns exemplos de marcação do número das Nações Unidas e do nome apropriado para embarque no volume:

- UN 2315 BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (contaminados por PCB);
- UN 2315 RESÍDUO BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (contaminado por PCB);
- UN 2315 BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (PCB);
- UN 2315 RESÍDUO BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (PCB);
- UN 3432 RESÍDUO BIFENILAS POLICLORADAS, SÓLIDAS (Contaminados com PCB).

As identificações de rótulos dos equipamentos, volumes, artigos e embalagens devem sempre atender a regulamentação vigente e suas revisões. A seguir são apresentados os parâmetros de identificação previstos atualmente, mas que estão sujeitos a revisões e atualizações que deverão ser seguidos pelos detentores e destinadores.

O número ONU e as letras “UN” ou “ONU” devem medir pelo menos 12 mm de altura, exceto para embalagens com capacidade de 30 L ou menos, ou de 30 kg de massa líquida máxima quando devem medir pelo menos 6 mm de altura e para embalagens com capacidade de até

5 L ou 5 kg, nas quais devem ter tamanho apropriado.

Os Rótulos de Risco devem ter a forma de um quadrado, colocado em um ângulo de 45° (forma de losango). Para embalagens com capacidade superior a 25 kg ou 25 L, as dimensões mínimas são de 100 mm por 100 mm e a largura mínima da linha interna à borda, que forma o losango, deve ser de 2 mm – Tabela 3. A linha interna à borda do rótulo deve ser traçada a 5 mm dessa borda e ser paralela a seu perímetro. Na metade superior do rótulo, a linha interna à borda deve ser da mesma cor do símbolo, e, na metade inferior, da mesma cor do número que indica a classe ou subclasse no canto inferior. Quando as dimensões não estiverem especificadas, todas as características devem ser em proporção aproximada àquelas mostradas na Norma ABNT NBR 7500 e exemplificadas na Figura 5.

Figura 5: Figura ilustrativa do rótulo de risco de substâncias e artigos diversos – Classe 9



Fonte: ABNT, 2018a

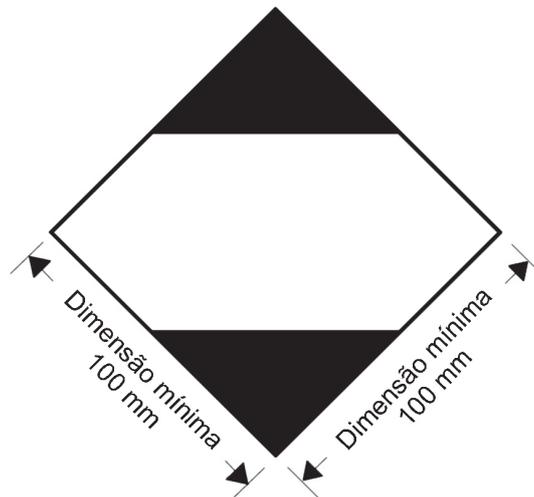
Tabela 3: Dimensões mínimas do rótulo de risco a ser afixado nos equipamentos, volumes, artigos e/ou embalagens

Capacidade da Embalagem em Kg ou L	Dimensões mínimas do rótulo de risco
≤ 0,5 kg / litros	15 mm x 15 mm
> 0,5 até ≤ 5 kg/ litros	20 mm x 20 mm
> 5 até ≤ 25 kg / litros	50 mm x 50 mm
> 25 kg / litros	100 mm x 100 mm

Fonte: ABNT, 2018a

Embalagens externas contendo produtos perigosos em quantidade limitada por embalagem interna (neste caso, 1 litro, para UN 2315 ou 1 quilograma para UN 3432) devem portar o símbolo indicado na Figura 6:

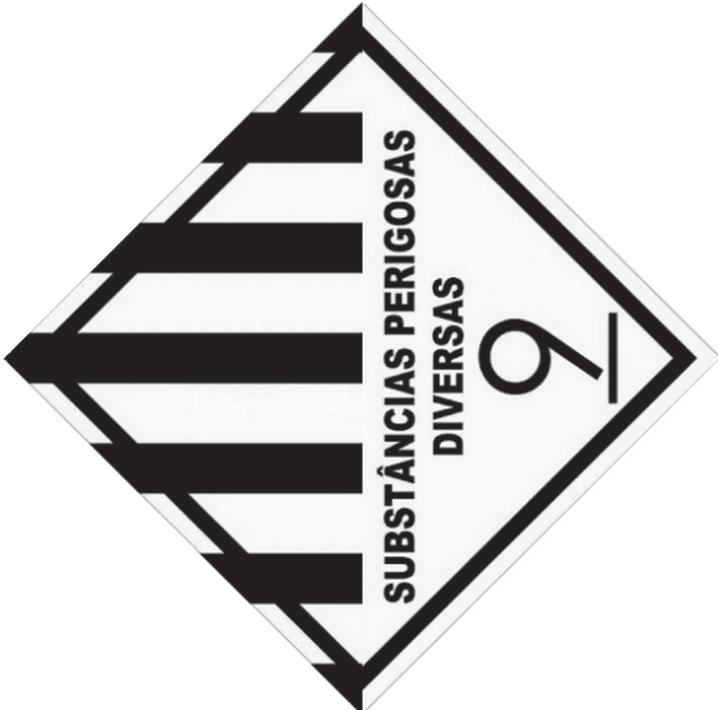
Figura 6: Símbolo para volumes contendo produtos perigosos em quantidades limitadas



Fonte: ABNT, 2018a

A Figura 7 apresenta modelos de rótulos de identificação de equipamentos, volumes e artigos classificados como "contaminados com PCB", "PCB" ou de "resíduos de PCB", recipientes e tambores contendo "resíduos de PCB", conforme sua capacidade de armazenamento, cujo uso tem caráter mandatório para "resíduos de PCB" e/ou equipamentos classificados como "contaminados com PCB" ou "PCB". Já a Figura 8 apresenta modelos de rótulos de identificação de equipamentos que tiverem sido descontaminados por processo de substituição do fluido ou por desalogenação.

Figura 7: Rótulo de identificação de equipamentos ou continentes classificados como “contaminado com PCB” ou “PCB”, embalagens com capacidade superior a 25 L ou 25 kg (A) ou embalagens com capacidade de 25 L ou 25 kg ou menos (B) – mandatório

<p style="text-align: center;">UN 2315*</p> <p style="text-align: center;">BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS** (Contaminados com PCB)</p> 	<p>Número de risco: 90 Classe ou subclasse de risco: 9 Descrição da classe ou subclasse de risco: Substâncias e artigos perigosos diversos Grupo de embalagem: II Composição química: Bifenilas policloradas (PCB), hidrocarbonetos de petróleo (HC), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs)</p> <p>Dados do detentor/gerador</p> <p>Denominação social da companhia: Endereço da sede: CNPJ: Telefone de emergência:0.</p> <p>Dados do destinatário</p> <p>Empresa: Endereço: CNPJ: Telefone:0.</p> <p style="text-align: center;">PERIGO</p> <p style="text-align: center;">CONTÉM 50 MG/KG DE PCB OU MAIS</p> <p>As PCBs são não biodegradáveis, persistentes no meio ambiente, carcinogênicos podendo se bioacumular em tecidos adiposos, sendo classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes.</p> <p style="text-align: center;">PRECAUÇÕES</p> <p>Não permita a liberação no meio ambiente. Evite contato direto com líquidos contaminados com PCBs e suas fumaças. Mantenha longe de alimentos e água. Resíduos perigosos: Este material e seu conteúdo devem ser destinados como resíduos perigosos, sendo necessária adoção de medidas adequadas conforme regulamentação vigente. Caso encontrado, avise imediatamente a Polícia, Defesa Civil ou Órgão de Controle Ambiental. Manuseio somente por pessoal autorizado. Uso de EPI apropriado. Operação, inspeção, manutenção, transporte e destinação final devem seguir as regulamentações vigentes.</p> <p style="text-align: center;">EM CASO DE ACIDENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em caso de derramamento, utilize barreiras para contenção, limpe o local com areia, serragem ou panos; acondicione e destine os resíduos conforme regulamentação vigente; não use solvente. • Em caso de envolvimento de fogo, ou em locais com temperatura acima de 60°C, devem-se usar máscaras de proteção respiratória autônoma. • Em caso de contato acidental — Avaliar necessidade de assistência médica. Primeiras medidas: Contato com pele — Retirar roupas contaminadas, se houver. Lavar com água corrente em abundância, com olhos bem abertos, por no mínimo 15 minutos. Inalação — Respirar ar fresco. Ingestão — Procurar assistência médica. Induzir vômito apenas se recomendado pelo médico. Não dar nada para ingestão para uma pessoa inconsciente, exceto se autorizado pelo médico.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Próprio autor. * ALTERNATIVAS: UN 2315 ou UN3432

UN 2315*

BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS
(Contaminados com PCB)**



Número de risco: 90
Classe ou subclasse de risco: 9
Descrição da classe ou subclasse de risco: Substâncias e artigos perigosos diversos
Grupo de embalagem: II

Dados do detentor/gerador

Denominação social da companhia:
Endereço da sede:

CNPJ:
Telefone de emergência:

Dados do destinatário

Empresa:
Endereço:

CNPJ:
Telefone:

**PERIGO
CONTÉM 50 MG/KG DE PCB OU MAIS**

As PCBs são não biodegradáveis, persistentes no meio ambiente, carcinogênicos podendo se bioacumular em tecidos adiposos, sendo classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes.

Manuseio, operação, inspeção, manutenção, transporte e destinação final devem seguir as regulamentações vigentes.

* ALTERNATIVAS: UN 2315 ou UN3432

** ALGUMAS ALTERNATIVAS: BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (Contaminados com PCB), BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (PCB), RESÍDUO BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS (PCB), RESÍDUO BIFENILAS POLICLORADAS, SÓLIDAS

Fonte: Próprio autor.

Figura 8: Rótulo de identificação de equipamentos que foram descontaminados por substituição do fluido ou por desalogenação

EQUIPAMENTO DESCONTAMINADO PCB

Líquido contaminado com PCB foi substituído ou desalogenado:

() desalogenação () substituição

Por (nome do fluido substituto, se por substituição):

Em (data):

Por (empresa):

Concentração de PCB:

Líquido original (anterior - mg/kg):

Líquido atual (mg/kg): mg/kg

(medido após substituição e, no mínimo, 90 dias de operação normal ou 48h, conforme tipo de equipamento):

Fonte: Próprio autor.

15 - ARMAZENAMENTO

O armazenamento de “resíduos de PCB” e/ou de equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” deve observar providências que minimizem os riscos de contaminação ambiental. Assim, devem ser tomadas medidas que previnam e contenham vazamentos e derramamentos, bem como eventos de vandalismo, furtos e roubos.

Para tanto, as medidas aqui sugeridas são essenciais. Os armazéns destinados a resíduos de PCB são, antes de tudo, locais de armazenamento de resíduos perigosos e devem obedecer às normas e legislação pertinentes. Dentre as medidas necessárias para áreas de armazenamento, destacam-se (não se tratando de levantamento exaustivo):

- deve atender à Portaria Ministerial nº 124 de 1980 e à ABNT NBR 12235, e deve ser feito em local aprovado pelo órgão estadual do meio ambiente, ou seja, os projetos de áreas de armazenamento de resíduos de PCB devem ser analisados e aprovados pelo órgão estadual de controle do meio ambiente, antes da sua implantação;
- impermeabilização inferior da área, ou bandeja de contenção;
- rótulos de risco deve ser de, no mínimo, 250 mm x 250 mm;
- colocação de cobertura para proteção contra chuva e construção de paredes laterais, de forma que se tenha controle de acesso e que se garanta uma adequada ventilação;
- todo local de armazenamento de PCB em teores maiores ou iguais a 50 mg/kg deve ser provido de meios de contenção de vazamentos capazes de conter, no mínimo, 10% do volume total dos containers e/ou tambores de resíduos PCB ou o volume do maior recipiente armazenado de PCB – o maior volume estimado entre os dois volumes estimados. Isto pode ser conseguido através da construção de fechamento da área de armazenagem em todo o seu perímetro por muretas de altura suficiente para fornecer o volume de contenção requerido. É possível também a utilização de outros meios como canaletas e caixas de recolhimento de vazamentos, ou bandeja de contenção, desde que não se comuniquem com qualquer sistema que leve ao ambiente externo e permitam o recolhimento de qualquer material eventualmente derramado;
- instalação de sistema de proteção contra incêndios baseado em extintores classe B e C conforme norma ABNT NBR 12693.

Quanto às condições de segurança, a área deve possuir:

- sistema de isolamento de acesso e de sinalização, para alerta quanto aos perigos do local;
- iluminação e força, para as ações em situações de emergência;
- sistema de comunicação com possibilidade de uso em situações de emergência;
- acessos internos e externos mantidos em boas condições;
- rótulo de segurança do item 14, afixado em local visível;
- depósitos de alimentos, água potável, remédios, combustíveis e óleo mineral isolante, distantes da área de armazenamento de PCB;
- pisos, paredes e demais componentes da estrutura, que possam ser atingidos por vazamentos, construídos em material ou revestimento impermeável, como revestimento epóxi, para permitir a descontaminação em caso de vazamento;
- sinalização com placa de "Entrada Proibida a Pessoas não Autorizadas";
- haver disponível equipamentos de segurança necessários aos tipos de emergências possíveis (combate a incêndio, derramamento e vazamento de PCB);
- dispor de áreas definidas, isoladas, sinalizadas e segregadas para armazenamento de outros resíduos perigosos e / ou não perigosos, se houver.

Os equipamentos classificados como "contaminados com PCB", "PCB" ou tambores contendo "resíduos de PCB" devem:

- devem apresentar o rótulo de identificação conforme item 14;
- ser armazenados verticalmente;
- que apresentem corrosão ou vazamentos ao serem armazenados, devem ter seu líquido drenado e acondicionado em continentes, conforme item 13.3;
- ser vistoriados semestralmente quanto a existência de vazamentos, condições dos materiais, etc. Assim sua disposição deve ser tal que permita essa inspeção e também:

o permitir o acesso para a remoção de qualquer dos equipamentos ou

objetos armazenados;

o permitir os trabalhos de limpeza e descontaminação, caso necessários;

o deve-se evitar o armazenamento de resíduos empilhados, apoiados uns contra os outros e sem espaço entre os diversos itens armazenados.

Em caso de incêndio deve-se evitar entrar no ambiente. Caso isto seja inevitável, fazê-lo usando os EPI, conforme item 10.2, que inclui a máscara de proteção respiratória autônoma.

É proibido comercializar tambores, materiais e impermeáveis ou outros continentes com líquidos em concentrações superiores a 50 mg/kg, e/ou com teores superiores a 100 µg/dm², bem como utilizá-los para acondicionar outros produtos, a menos que tenham sido descontaminados conforme estabelecido no item 17.2.

O responsável pelo local de armazenamento deve manter um registro dos equipamentos e continentes armazenados no local. As seguintes informações devem constar no registro:

- data de entrada do equipamento ou continente;
- se for equipamento:
 - o tipo (transformador, capacitor, etc);
 - o quantidade de líquido;
- se for continente:
 - o conteúdo (óleo, material contaminado, equipamentos danificados);
 - o quantidade de líquido ou massa;
- ocorrência de acidentes, vazamentos, irregularidades, danificação de recipientes e outros;
- registro das inspeções semestrais e laudos de análise existentes.

16 - TRANSPORTE

O transporte de “resíduos de PCB” e/ou equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB”, quando em vias públicas, deve atender às seguintes regulamentações e normas (e suas atualizações), pois, substâncias com teores maiores ou iguais a 50 mg/kg são classificadas como produtos perigosos para transporte (nº ONU 2315 – Classe 9, se líquidas, ou nº ONU 3432 – Classe 9, se sólidas):

- Decreto Federal nº 96.044, que aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências;
- Resolução ANTT nº 5947/2021 - Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e aprova as suas Instruções complementares, e dá outras providências).
- ABNT NBR 7500: Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos;
- ABNT NBR 7503: Transporte Terrestre de Produtos Perigosos -- Ficha de Emergência – Requisitos mínimos;
- ABNT NBR 9735: Conjunto de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos;
- ABNT NBR 14619: Transporte terrestre de produtos perigosos – Incompatibilidade química.

A circulação de “resíduos de PCB”, materiais, fluidos, transformadores, capacitores e demais equipamentos elétricos “contaminados com PCB” ou “PCB” é permitida em todo território nacional apenas para fins de elaboração do inventário, armazenamento em outras unidades do detentor e suas contratadas ou destinação final.

Todos os carregamentos de “resíduos de PCB” e/ou equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” devem conter os seguintes documentos e atender a regulamentação vigente e suas revisões. A seguir são apresentados os documentos necessários e as exigências previstas na regulamentação atual, que podem sofrer modificações:

- rótulos de risco, marcação do número das Nações Unidas, precedida das letras ONU ou UN e do nome apropriado para embarque afixados no volume (continentes ou

equipamentos), em locais visíveis, conforme estabelecido no item 14 e modelo da Figura 7;

- segregação entre produtos perigosos num veículo ou continente;
- rótulos de risco (similar à Figura 5) e painéis de segurança afixados no veículo ou equipamento de transporte;
- limitações quanto a itinerário, estacionamento e locais de carga e descarga;
- identificação da conformidade nas embalagens (selo do Inmetro);
- proibição de conduzir passageiro no veículo;
- porte de equipamentos de proteção individual e de equipamentos para atendimento a situações de emergência, inclusive extintores de incêndio, para o veículo e para a carga, caso esta exija;
- documento fiscal cobrindo a remessa dos resíduos, contendo as anotações legais, tais como:

o número ONU; nome apropriado para embarque; número da classe de risco principal ou, quando aplicável, da subclasse de risco do produto; Grupo de Embalagem correspondente à substância ou artigo, podendo ser precedido das letras "GE"; a quantidade total por produto perigoso. Exemplo: ONU 2315 BIFENILAS POLICLORADAS LÍQUIDAS (9) II 1000 kg; (ou) ONU 2315, BIFENILAS POLICLORADAS, LÍQUIDAS, Classe 9, GE II, 1000 kg;

o quando for transportados para fins de descarte/disposição final ou de procedimentos para descarte/disposição final, a palavra "RESÍDUO" deve preceder o nome apropriado para embarque;

o deve também conter, ou ser acompanhado da seguinte declaração: "Declaro que os produtos perigosos estão adequadamente classificados, embalados, identificados, e estivados para suportar os riscos das operações de transporte e que atendem às exigências da regulamentação". deve ser assinada e datada pelo expedidor, e deve conter informação que possibilite a identificação do responsável pela sua emissão (por exemplo, número do RG, do CPF ou do CNPJ), exceto quando apresentada impressa no Documento Fiscal;

o nome e o CNPJ do laboratório que determinou o teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg, com a respectiva data da análise, nome, número do registro profissional e entidade de classe do responsável conforme estabelecido no item 17.

- certificado de inspeção original dos veículos e dos equipamentos rodoviários destinados ao transporte de produtos perigosos a granel (Certificado de Inspeção para o Transporte de Produtos Perigosos – CIPP) e/ou Certificado de Inspeção Veicular – CIV);
- treinamento específico para o condutor do veículo e documento comprobatório de sua qualificação;
- ficha de emergência (ver item 18), conforme norma ABNT NBR-7503;
- autorizações eventualmente requeridas pelos órgãos ambientais autorizando o transporte e destinação, como Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR);
- diretrizes para supervisão e manutenção, conforme norma ABNT NBR 17009 - Fluido de silicone para equipamentos.

Observação: É dever do transportador verificar se atende a todos os requisitos legais necessários, pois novas orientações podem surgir ou serem alteradas após a publicação deste documento.

Os veículos utilizados para o transporte rodoviário de resíduos de PCB devem ser sinalizados com o “Painel de Segurança” contendo os códigos “90” e “2315” ou “3432” (como exemplos da Figura 9) e o “Rótulo de Risco” para classe “9” (como exemplo da Figura 5), ambos de acordo com a Resolução ANTT 5.947/2021, ABNT 7500 e suas atualizações.

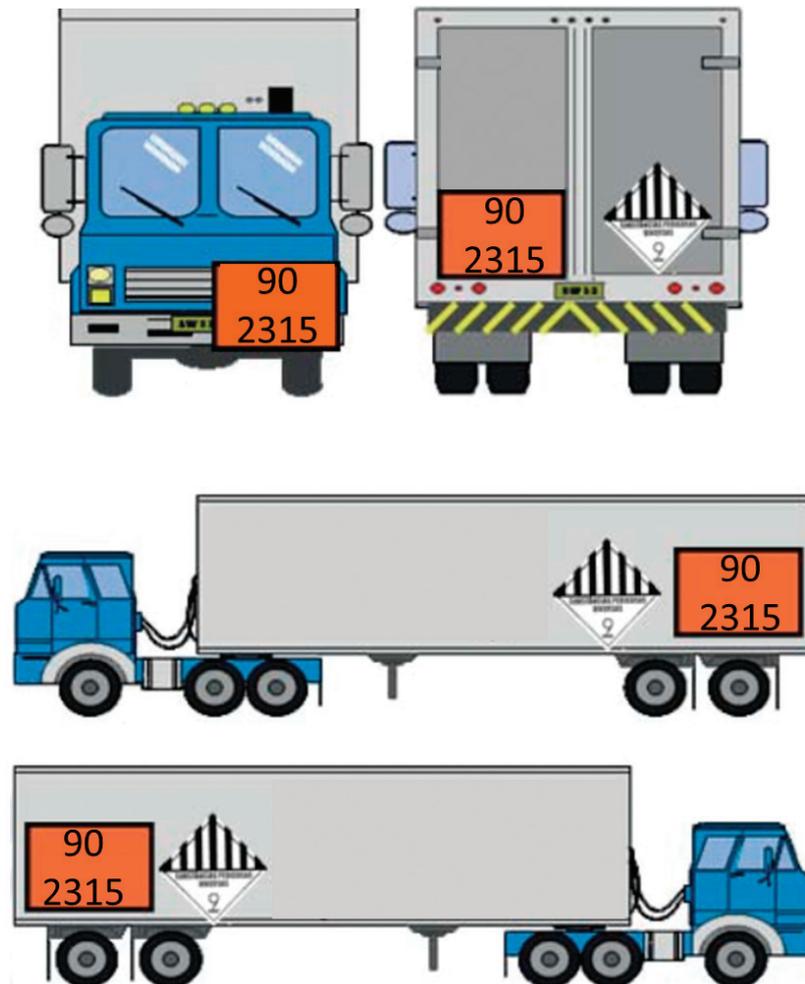
Figura 9: Imagem ilustrativa de painel de segurança (formatação em desacordo com regulamentação) -- deverá seguir Resolução ANTT 5.947/2021, ABNT 7500 e suas atualizações.



Fonte: Adaptado de ABNT, 2018a.

A Figura 10 contém um exemplo sinalização de veículo de transporte rodoviário de carga fracionada contendo “resíduos de PCB” líquido (ONU 2315 - um único produto perigoso sem risco subsidiário).

Figura 10: Exemplo ilustrativo de transporte rodoviário de carga fracionada com “resíduos de PCB” líquido (um único produto perigoso sem risco subsidiário)



Fonte: Adaptado de ABNT, 2018a.

Adicionalmente, eles devem atender, ao menos, às seguintes exigências, além do definido na ANTT 5.947/2021 e suas atualizações:

- estar em boas condições de manutenção e conservação;
- ser providos de proteção lateral e meios de cobertura contra chuva;
- ser provido de meios de comunicação 24 horas com a empresa transportadora e o remetente da carga;
- ser provido de meios de controle e registro de velocidade;
- ser provido de materiais e ferramentas para atendimento a emergências (kit de emergência) adequados ao manuseio de PCB.

O transporte de “resíduos de PCB” e/ou de equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” deve ser feito preferencialmente em veículos providos de sistema de contenção em lona impermeável.

Os continentes e equipamentos devem ser transportados em posição vertical e adequadamente fixados e amarrados na carroceria do veículo. Além disto, devem ser cobertos adequadamente para proteção contra chuvas.

O transporte de equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB”, que contenham mais do que 300 litros de líquido isolante, só deve ocorrer depois que o líquido livre estiver completamente drenado, a fim de se evitar derramamentos em casos de acidente de trânsito, ou de ruptura da carcaça. Equipamentos com até 300L podem ser transportados sem a drenagem de seu fluido, caso estejam estanques.

Caso seja caracterizada a contaminação do veículo, ou do compartimento, ele não deve ser usado antes de sua descontaminação. Os materiais resultantes do processo de descontaminação devem ser tratados como “contaminados com PCB” e descartados conforme item 17. Deve-se evitar danos às embalagens e rótulos.

Nos casos de içamento usar estropos adequados para evitar danos às partes sensíveis dos equipamentos como buchas e válvulas. No caso de transporte por empilhadeiras: nunca apoiar os garfos em bordas de tambores, radiadores e válvulas de transformadores ou outros equipamentos elétricos.

Não mover equipamentos, tambores ou outros objetos se estiverem danificados,

corroídos ou apresentando vazamentos. Nestes casos, deve-se reembalar o produto, acondicionando os resíduos líquidos ou sólidos contaminados em recipientes adequados para o deslocamento.

O transporte de resíduos de PCB líquido poderá também ser efetuado através de caminhões-tanque, desde que, ao final das operações, seja feita a descontaminação dos tanques por processo que garanta um teor residual de PCB de no máximo de 100 µg/dm² nas superfícies internas. Os materiais permeáveis, tais como mangueiras, juntas, etc., deverão ser destinados conforme item 17 ao final das operações com resíduos de PCB.

NOTA: O transporte de amostras para análises de laboratório deve obedecer às prescrições da norma ABNT NBR 8840, Resolução ANTT 5.947/2021, ABNT 7500 e suas atualizações.

Destaca-se que para esse tipo de produto, o transporte por quantidade limitada só pode ser realizado para Embalagens internas de 1 litro para UN 2315 ou 1 quilograma para UN 3432, estando dispensados das exigências previstas no item 34.2.6 da Resolução ANTT 5.947/2021 e suas atualizações.. Neste caso, deve ser incluída na descrição dos produtos no Documento Fiscal, junto ao nome apropriado para embarque, uma das seguintes expressões “quantidade limitada” ou “QUANT. LTDA”. Por outro lado, não se aplicam as isenções para o transporte do produto perigoso por veículo (item 34.34 da Resolução ANTT 5.947/2021, e suas atualizações).

Para transporte de continentes, ou equipamentos, classificados como “resíduos de PCB”, “contaminados com PCB” ou “PCB”, as companhias elétricas deverão verificar sua conformidade com os requisitos legais vigentes.

A norma ABNT NBR 15481 – Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos – Requisitos mínimos de segurança – apresenta os requisitos mínimos que devem ser verificados para o transporte rodoviário de produtos perigosos e pode ser utilizada como referência.

O item 18 apresenta um modelo de preenchimento da ficha de emergência.

17 - DESTINAÇÃO FINAL E PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO

Os “resíduos de PCB” são resíduos sólidos perigosos e, portanto, sua destinação final deve obedecer a toda a legislação pertinente a essa classe de resíduos.

Os “resíduos de PCB” podem se apresentar sob diversas formas que irão permitir tratamentos e tecnologias diferentes para sua destinação final. A concentração de PCB dos resíduos também é um importante parâmetro a ser considerado, sendo que, usualmente, resíduos com maiores concentrações são destruídos, enquanto os demais são passíveis de descontaminação. Equipamentos elétricos são compostos por: fluido isolante); partes impermeáveis e permeáveis. A completa descontaminação de equipamentos elétricos é limitada devido a estrutura desses equipamentos e a dificuldade em descontaminar, principalmente, os materiais permeáveis. Assim, a definição de critérios de tratamento ou destinação final de equipamentos elétricos (ou de suas partes) é parte fundamental do gerenciamento de PCB.

A destinação final ambientalmente adequada de resíduos de PCB compreende processos devidamente licenciados pelos órgãos ambientais competentes, que garanta a eliminação através de tratamento térmico com Eficiência de Destruição e Remoção – EDR mínima de 99,9999%; ou a descontaminação química a níveis de PCB menores que 0,005% (cinco milésimos por cento) em peso ou 50 mg/kg (cinquenta miligramas por quilograma) e, para materiais impermeáveis, menores ou iguais a 100 µg (cem microgramas) de PCB totais por dm² (decímetros quadrados) de superfície. Todos os métodos que atendam a esses requisitos podem vir a ser aceitos.

EGP ou equipamentos selados que tenham sido violados só poderão ser comercializados com laudo comprobatório de que o óleo isolante nesse equipamento apresenta teor de PCB inferior a 50 mg/kg, sendo necessário incluir no Documento Fiscal da operação comercial o nome e o CNPJ do laboratório, com a respectiva data da análise, nome, número do registro profissional e entidade de classe do responsável técnico. Essa exigência também é aplicável aos equipamentos do tipo EPP pertencentes às subpopulações com risco de contaminação tipo I ou II, cujo resultado das análises resultarem na classificação final como “não PCB”.

Conforme o critério estatístico estabelecido no item 6.1, os líquidos dielétricos dos equipamentos não analisados, classificados como razoável ser “não PCB” (apenas esses equipamentos), podem ser coletados em continente como até 2500 L, sendo a concentração de PCB do fluido destes continente deve ser determinada considerando os critérios estabelecidos no item 8. Alternativamente, poder-se-á compor uma amostra composta de equipamentos cujo volume total seja de até 2500 L.

A classificação final dos equipamentos cujos fluidos compuseram o continente comum, ou a amostra composta, poderá ser baseada no resultado desta análise do fluido do continente comum, ou amostra combinada. Equipamentos classificados como sendo razoável considerar “não PCB”, que não requerem análise censitária para destinação final, deverão ter em seu Documento Fiscal o nome e o CNPJ do laboratório, com a respectiva data da análise, nome, número do registro profissional e entidade de classe do responsável técnico da análise do fluido, ou da amostra composta.

A diluição deliberada de líquidos contaminados com PCB para reduzir a concentração abaixo do limite de 50 mg/kg é proibida, ou seja, é vedada a mistura de óleos de equipamentos conhecidamente com concentrações maiores ou iguais a 50 mg/kg com óleos de concentração abaixo deste limite. Quando isto ocorrer por questões operacionais extremas, toda a mistura deverá ser tratada como “contaminada por PCB” ou “PCB”, de acordo com a classificação do fluido com maior teor de PCB misturado, mesmo que a concentração final da mistura esteja menor que 50 mg/kg.

Na sequência, são apresentadas as principais formas de destinação final conforme:

- classificação e condição de operação dos resíduos ou equipamentos (item 17.1);
- principais processos e tecnologias disponíveis no país (levantamento não exaustivo, sendo possível a utilização de métodos diferentes ou novos de comprovada eficiência – item 17.2).

17.1 Destinação final e processos de descontaminação conforme classificação dos resíduos ou equipamentos e condição de operação

17.1.1 Resíduos em estado líquido “não PCB” (com teores de PCB menores que 50 mg/kg)

Deverão ser regenerados pelas próprias companhias elétricas ou encaminhados para empresas licenciadas de re-refino, reciclagem, coprocessamento, incineração, aterro classe I, ou outro processo, aprovado pelo órgão ambiental competente por alienação ou contratação.

17.1.2 Resíduos sólidos permeáveis “não PCB” (que tenham estado em contato com fluidos com contaminação por PCB menor que 50 mg/kg)

Poderão ser encaminhados para incineração, coprocessamento, ou outro processo, aprovado pelo órgão ambiental competente, por alienação ou contratação.

17.1.3 Resíduos ou materiais sólidos impermeáveis “não PCB” (cujo teor de PCB seja menor ou igual a 100µg/dm²)

Poderão ser encaminhados para reciclagem ou outro processo, aprovado pelo órgão ambiental competente, quando necessário, por alienação ou contratação.

17.1.4 Resíduos em estado líquido “contaminado com PCB” ou “PCB” (que apresente contaminação por PCB maior ou igual a 50 mg/kg)

Deverão ser tratados por processos térmicos com EDR mínima de 99,9999%, ou processos químicos, de transformação irreversível, ambos devidamente licenciados, que garantam a destruição e/ou remoção do das PCB até o limite de quantificação do método de ensaio prescrito na IEC 61619 ou documento técnico equivalente, conforme previsto no item 9.

17.1.5 Resíduos sólidos permeáveis “contaminado com PCB” (que tenham estado em contato com fluidos com contaminação por PCB maior ou igual a 50 mg/kg)

Deverão ser tratados por incineração, pirólise a plasma, redução por hidrogênio ou outro processo de destruição devidamente licenciado, com EDR mínima de 99,9999%.

17.1.6 Resíduos sólidos impermeáveis “contaminado com PCB” (cujo teor de PCB seja maior que 100 µg/dm²)

Deverão ser descontaminados até que ele apresente concentração de PCB menor ou igual a 100 µg/dm², ou por processos de destruição executados e devidamente licenciados para este fim.

17.1.7 Equipamentos classificados como “não PCB” ou “razoável considerar não PCB” com ou sem o fluido isolante

Poderão ser encaminhados para empresas licenciadas de reciclagem ou outro processo, aprovado pelo órgão ambiental competente, quando aplicável, por alienação ou contratação. Os materiais ou resíduos gerados deverão ser destinados conforme itens 17.1.1, 17.1.2 e 17.1.3.

17.1.8 Equipamentos classificados como “contaminados com PCB” ou “PCB” sem condições de operação

A destinação deste tipo de resíduo poderá ser realizada pela separação entre fluido, os materiais permeáveis e impermeáveis que serão por sua vez serão destinados conforme itens 17.1.4, 17.1.5 e 17.1.6.

17.1.9 Equipamentos classificados como “contaminados com PCB” e/ou “PCB” com condições de operação

Estes equipamentos poderão ser destinados conforme o item 17.1.8 ou sofrer processos físicos ou químicos de descontaminação, sendo que para:

- EGP - deverão ter o teor de PCB remanescente determinado após 90 dias em operação normal;
- EPP - deverão ter o teor das PCB remanescentes no fluido determinado após 48h.

Os laudos de análise que comprovem o teor de PCB do fluido menor que 50 mg/kg devem conter o nome e o CNPJ do laboratório, com a respectiva data da análise, nome, número do registro profissional e entidade de classe do responsável técnico e poderão ser usados para fins de destinação final.

Se os resultados dessas análises resultar em teores de PCB inferiores a 50 mg/kg, considera-se o equipamento como “não PCB”. Se a concentração final de PCB for maior que 50 mg/kg, pode-se repetir o processo, o que inclui a análise comprobatória final, ou pode-se manter a classificação de PCB conforme o resultado analítico.

17.1.10 Equipamentos com teores maiores ou iguais a 10% de PCB com condições de operação

Esses equipamentos deverão sofrer o tratamento descrito em 17.1.8.

17.2 Destinação final e processos de descontaminação conforme processos e tecnologias

Há diversos processos e tecnologias (e suas variações) que foram classificadas, nomeadas e apresentadas de diferentes formas na literatura científica e técnica existente sobre o tema. Esse item do Manual irá abordar os métodos e tecnologias de destinação final e processos de descontaminação que são mais relevantes, ou seja, os relacionados aos fluidos e equipamentos, pretendendo abordar os métodos mais utilizados e disponíveis no Brasil.

Assim, essa apresentação não é exaustiva, devendo-se considerar ainda que outros métodos (diferentes ou novos) de comprovada eficiência também podem ser aceitos, desde que atendam aos requisitos prescritos.

Há, ainda, diversas tecnologias de limpeza de solo contaminado, destacando-se os processos

de biorremediação (com uso de bactérias específicas), incineração (que pode ser processo oneroso, mas eficiente), ou extração por solvente ou dessorção. Também pode haver transferência de PCB do solo para outros meios que, então, deverão ser adequadamente destinados (UNEP Chemicals, 2000).

As técnicas de destinação final ambientalmente adequadas ou de descontaminação devem ser realizadas em instalações devidamente licenciadas, que garantam a destruição ou transformação irreversível de PCB.

17.2.1 Substituição do fluido (Retrofill/ Refilling)

Consiste na remoção do fluido contaminado do equipamento e sua substituição por um fluido isento de PCB, devendo ser adotadas as medidas necessárias para que a concentração final de PCB fique menor que 50 mg/kg conforme tempo determinado pelo item 17.1.9. Trata-se de um operação realizada com equipamento fora de operação, como um processo de manutenção. O fluido contaminado e demais resíduos gerados no processo devem ser destinados por processos devidamente licenciados, considerando o teor de PCB original e conforme o estabelecido no item 17.1.

17.2.2 Descontaminação com solvente (com ou sem autoclave)

Quando o equipamento é retirado de operação suas superfícies metálicas podem ser facilmente descontaminadas com uso de solvente, havendo inúmeras variações de condições de processo.

Materiais permeáveis (como verniz utilizado como revestimento das bobinas de cobre, papel e madeira) não são rapidamente descontaminados pelo uso de solventes, ou não são passíveis de limpeza por solventes, devendo ser destinados por outros métodos.

Pode-se optar pela separação dos componentes, de modo a permitir o ajuste do tempo de descontaminação ao tipo de material por solvente, ou destinação final adequada (UNEP Chemicals, 2000), devendo ser adotadas as medidas necessárias para que a concentração de PCB fique menor que 50 mg/kg, conforme tempo determinado no item 17.1.9.

O solvente utilizado pode ou não ser regenerado, sendo que os resíduos gerados no processo devem ser destinados considerando o teor de PCB original e conforme o estabelecido no item 17.1.

Processo comumente conhecido como Autoclaving é um método de descontaminação por solvente em que as partes metálicas são descontaminadas em uma câmara de autoclave (sob

vácuo com aquecimento e uso de solvente) e podem ser reciclados.

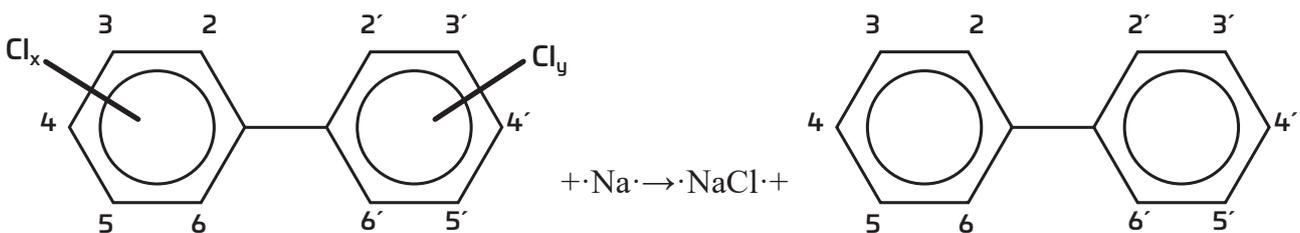
17.2.3 Desalogenação

Consiste na destruição das PCBs do fluido contaminado. Este processo pode ocorrer com o equipamento em operação, ou com esse fora de operação, ou apenas com o fluido. Quando o equipamento está em operação é criado um circuito fechado para destruição das moléculas de PCB do fluido. Dentre os métodos de desalogenação, destacam-se:

- Redução com metais alcalinos (principalmente sódio metálico)

Reação com metal alcalino formando sal inorgânico e resíduo (bifenila) não halogenado. Eficiência de Destruição (ED) maior que 99,999% e EDR maior que 99,9999%.

Apesar de existir variações com potássio e ligas de sódio-potássio, sódio metálico é o reagente mais comumente utilizado, cuja reação pode ser representada por:

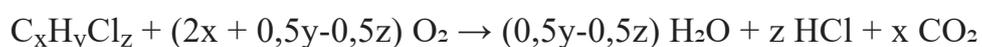


- Decomposição com base alcalina e catalisador

Reação com hidróxido metálico alcalino e catalisador proprietário (como o glicol polialcalino), formando sal inorgânico e bifenila não halogenada. Trata-se de reação similar à da redução com metais alcalinos, pois o metal alcalino presente na base reagirá com o cloro das PCBs, gerando o cloreto alcalino correspondente. ED maior que 99,99% e EDR > 99,9999%.

17.2.4 Incineração a alta temperatura

Técnica de combustão completa, com temperatura maior que 1 200°C, tempo de retenção maior que 2 segundos e com excesso de 3% de oxigênio. Eficiência de Destruição e Remoção (EDR) maior que 99,9999%. A reação de oxidação completa pode ser representada por:



Incineradores são capazes de tratar resíduos contendo PCB e outros POPs em qualquer concentração e forma física. A incineração também pode ser usada como técnica complementar a outros processos.

Equipamentos elétricos podem ser limpos com solvente para viabilizar a reciclagem das partes metálicas e, somente depois, as partes difíceis de serem descontaminadas são enviadas a incineração. Outros processos fazem a remoção das PCBs do óleo por destilação, o que resulta em produto altamente concentrado em PCBs, que pode ser incinerado ou descontaminado por outros processos.

Incineradores de alta temperatura modernos possuem equipamentos de prevenção de formação de dioxinas e furanos. Destacam-se as seguintes tecnologias de pós tratamento de efluentes: ciclones e multi-ciclones, filtros eletrostáticos, filtros de leito fixo, lavadores, redução catalítica seletiva, sistemas de resfriamento rápido e adsorção por carbono.

O uso de melhores soluções técnicas e práticas ambientais é essencial para minimizar ou prevenir a formação destes compostos, entre os quais destacam-se: boas práticas de gerenciamento global de resíduos, inspeção, manejo adequado, operação do incinerador, seleção do local de implementação do empreendimento, técnicas adequadas de combustão, tratamento das cinzas e dos efluentes líquidos e gasosos.

17.2.5 Coprocessamento em fornos de clínquer

Técnica de combustão completa em fornos de clínquer, com temperatura maior que 1.200°C, tempo de retenção maior que 3 segundos, e Eficiência de Destruição e Remoção (EDR) maior que 99,9999%.

A destruição de PCB em fornos de cimento é bastante similar à tecnologia de incineração a alta temperatura e apresenta como vantagem a substituição de combustíveis fósseis convencionais, pelo alto poder calorífico de óleos contaminados com PCB. No entanto, o teor de cloro na carga da unidade é limitado e deve ser controlado. Podem tratar fluidos e sólidos contaminados (BASEL CONVENTION, 2007 e KARSTENSEN et al, 2008), mas são utilizados principalmente para resíduos líquidos de PCB (QI et al, 2014).

Este método foi utilizado nos Estados Unidos, em diversos países europeus e há evidências da viabilidade técnica desta tecnologia em países em desenvolvimento (KARSTENSEN et al, 2008). No Brasil, o coprocessamento só é permitido para teores até 50 mg/kg de PCB, conforme resolução Conama 499/2020.

Assim, essa tecnologia poderá ser adotada desde que os processos atendam as

especificações das melhores práticas ambientais (Best Environmental Practices – BEP) e melhores técnicas disponíveis (Best Available Techniques – BAT) e demais requisitos já definidos nesse Manual.

17.2.6 Considerações adicionais

As técnicas de substituição do fluido (retrofill / refilling), descontaminação com solvente e/ou desalogenação de equipamentos ou fluidos devem ter todos os resíduos gerados (como fluidos, solventes, filtros, entre outros) destinados de forma ambientalmente correta, como estabelecido no item 17.1 (sendo que para as duas primeiras técnicas, deverá ser considerada a concentração original de PCB).

Os equipamentos que forem descontaminados por essas técnicas deverão ter o teor das PCBs remanescentes no fluido determinado, dependendo do tipo de equipamentos, conforme apresentado no item 17.1.9.

Os processos de substituição do fluido (retrofill/ refilling) e de descontaminação com solvente (com ou sem autoclave) podem vir a ser executados pelas próprias companhias elétricas por serem processos de manutenção.

Além de ser signatário da CE, o Brasil é também signatário da Convenção da Basileia e da Convenção de Roterdã (BASEL CONVENTION, 2016; ROTTERDAM CONVENTION, 2016), as quais incluem as PCBs dentre suas substâncias. Estas Convenções visam restringir movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos exceto se estiver conforme os princípios de gerenciamento ambientalmente adequado; regulamentar os movimentos transfronteiriços autorizados e estabelecer os procedimentos de consentimento prévio informado. Por outro lado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos proíbe a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos no Brasil:

“Art. 49. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reúso, reutilização ou recuperação” (Lei n. 12.305/2010).

Assim, é desejável que os resíduos PCB sejam destinados em empresas estabelecidas no país e que não haja restrição de destinação final entre estados, considerando-se a baixa quantidade e dispersão geográfica das empresas de destinação final de PCB no país e o possível impacto negativo para o atendimento da Convenção de Estocolmo no caso de haver alguma restrição.

18 - FICHA DE EMERGÊNCIA

A ficha de emergência deve seguir exigências da ABNT/NBR 7503 e suas atualizações. O Apêndice VII apresenta um exemplo (modelo opcional) de ficha de emergência para equipamentos e materiais classificados como contaminados com PCB e/ou PCB.

19 - PRINCIPAIS PONTOS DE ATENÇÃO DOS ÓRGÃOS ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE

A seguir são apresentados os principais pontos de atenção dos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente para fiscalização preventiva, visando o atendimento a Convenção de Estocolmo, quanto às práticas prescritas neste Manual, quando aplicável:

- divulgação do Manual para todos detentores, como empresas do SEB, prestadores de serviço de manutenção de equipamentos das companhias do SEB, destinadoras e transportadores do seu estado e outros detentores de PCB;
- verificação junto ao MMA do preenchimento do Inventário Nacional de PCB dos detentores e destinadores do seu estado conforme prazos estabelecidos na regulamentação vigente;
- avaliação da programação de retirada de operação e destinação final de equipamentos contaminados por PCB e se a mesma está sendo cumprida a contento, visando atender a CE;
- verificação das condições de armazenamento dos resíduos PCB;
- verificação das condições de acondicionamento dos resíduos PCB;
- verificação da rotulagem dos resíduos e equipamentos PCB ou contaminados com PCB;
- verificação das condições de transporte dos resíduos e equipamentos PCB e contaminados com PCB;
- verificação dos destinadores dos resíduos PCB e suas licenças;
- verificação de laudos de análises de PCB – incluindo responsabilidade técnica;
- se aplicável, atuação para favorecer a permissão da destinação de PCB em seu estado de resíduos proveniente de outros estados da federação.

20 - REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADDEE. Sistemas de Informação para a Gestão da Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica. 2013.

ABRADEE. Apresenta informações sobre o setor elétrico, a distribuição de energia elétrica e de suas associadas. 2015. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NORMA BRASILEIRA - NBR 7.500: Identificação para o Transporte Terrestre, Manuseio, Movimentação e Armazenamento de Produtos. 8 de maio de 2018. 2018a.

ABNT. NBR 7.501: Transporte Terrestre de Produtos Perigosos – Terminologia. 12 de setembro de 2011.

ABNT. NBR 7.503: Transporte Terrestre de Produtos Perigosos -- Ficha de Emergência – Requisitos mínimos. 15 de junho de 2020.

ABNT. NBR 8.371: Ascarel para transformadores e capacitores – Características e riscos. 29 de abril de 2005.

ABNT. NBR 9.735: Conjunto de Equipamentos para Emergências no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. 10 de agosto de 2017.

ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. 31 de maio de 2004.

ABNT. NBR 10.576: Óleo mineral isolante de equipamentos elétricos - Diretrizes para supervisão e manutenção. 11 de outubro de 2017.

ABNT. NBR 11.175: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de desempenho. 30 de julho de 1990.

ABNT. NBR 12.235: Armazenamento de Resíduos Perigosos – Procedimento. 30 de abril de 1992.

ABNT. NBR 13.221: Transporte Terrestre de Resíduos. 8 de novembro de 2017.

ABNT. NBR 13.882: Líquidos isolantes elétricos –Determinação do teor de bifenilas

policloradas (PCB). 20 de outubro de 2008.

ABNT. NBR 14.619: Transporte Terrestre de Produtos Perigosos - Incompatibilidade Química. 9 de outubro de 2018. 2018b.

ABNT. NBR 16432: Óleo Mineral Isolante – Determinação do teor de produtos clorados. 18 de março de 2016.

ABNT. NBR 16446: Líquidos isolantes sintéticos à base de hidrocarbonetos aromáticos para equipamentos elétricos. 13 de outubro de 2015.

ABNT. NBR 16.518: Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos - Diretrizes para supervisão e manutenção. 29 de junho de 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. 1. Public Health Statement. In: ATSDR. Toxicological profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2000a.

ATSDR. 4. Chemical and Physical information. In: ATSDR. Toxicological profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2000b.

BASEL CONVENTION, Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs). 2007.

BASEL CONVENTION. Convention overview. Apresenta informações gerais sobre a Convenção da Basiléia. Disponível em: <<http://www.basel.int/TheConvention/Overview/tabid/1271/Default.aspx>> . Acesso em jun. 2016.

BASEL CONVENTION. Basel Convention National Reports. Disponível em: <<http://www.basel.int/Countries/NationalReporting/NationalReports/tabid/4250/Default.aspx>>. Acesso em dezembro de 2018.

BEBER, D. P.; MARRIOTT, F. H. C.; GASTON, K. J.; HARRIS, S. A.; SCOTLAND, R. W. Predicting unknown species numbers using discovery curves. Proceedings of the Royal Society B. p. 1651-1658. v. 274. 2007.

BRAGA, A. M.C.B. Dioxinas, furanos e PCBs em leite humano no Brasil. Tese de Doutorado. Campinas. 2003.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Resolução ANP nº36, de 5 de dezembro de 2008. Dispõe sobre as especificações dos óleos minerais isolantes tipo A e tipo B.

BRASIL. ANP. Resolução ANP nº16, de 18 de junho de 2009. Dispõe sobre a comercialização de óleo lubrificante básico e os requisitos necessários ao cadastramento de produtor e de importador desse produto.

BRASIL. ANP. Resolução ANP nº19, de 18 de junho de 2009. Dispõe sobre os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado, e a sua regulação.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Resolução ANTT nº 420 de 12 de fevereiro de 2004. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos.

BRASIL. ANTT. Resolução ANTT nº 5.947 de 01 de junho de 2021. Atualiza o Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos, aprova as suas Instruções Complementares e dá outras providências.

BRASIL, Lei nº 14250, de 25 de novembro de 2021. Dispõe sobre a eliminação controlada de materiais, de fluidos, de transformadores, de capacitores e de demais equipamentos elétricos contaminados por bifenilas policloradas.

BRASIL. Conama. Resolução Conama nº 316 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

BRASIL. Conama. Resolução Conama nº 452 de 2 de julho de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito – Contran. Resolução Contran nº 91 de 4 de maio de 1999. Dispõe sobre os Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos.

BRASIL. Decreto nº 96.044 de 18 de maio de 1988. Dispõe sobre a aprovação do regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

BRASIL. Decreto nº 875 de 19 de julho de 1993. Dispõe sobre a promulgação do texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito.

BRASIL. Decreto Legislativo nº 204 de 8 de maio de 2004. Aprova o texto da CE sobre POP, adotada em 22 de maio de 2001.

BRASIL. Decreto nº 5472, de 20 de junho de 2005. Dispõe sobre a promulgação do texto da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, adotada, naquela cidade, em 22 de maio de 2001.

BRASIL. Decreto nº 10936, de 12 de janeiro de 2022, que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.

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.

BRASIL. Empresa Pesquisa Energética – EPE. Contém o Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro - Webmap. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. 2018. Acesso em set. 2018.

BRASIL. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Contém o Mapa dinâmico do Sistema Interligado Nacional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. 2018. Acesso em set. 2018.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente – MMA; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD (coord). Manual de gerenciamento de resíduos e equipamentos com Bifenilas Policloradas (PCB). Abril de 2015.

BRASIL. Ministério do Interior; Ministério da Indústria e Comércio; Ministério das Minas e Energias. Portaria interministerial nº 19, de 29/01/1981.

BRASIL. Secretário Especial do Meio Ambiente. Instrução Normativa SEMA/STC/CRS nº 01 de 10 de junho de 1983. Dispõe sobre Manuseio, Armazenamento e Transporte de PCB's e/ou resíduos contaminados com PCB's.

BREIVIK, K; SWEETMAN, A; PACYNA, J, M; JONES, K C. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners – a mass balance approach 1. Global production and consumption. The Science of the Total Environment 290. p. 181–198. 2002.

BREIVIK, K; SWEETMAN, A; PACYNA, J, M; JONES, K C. Databases on the global production, consumption and emissions of PCBs from 1930 to 2000. [2002?]. Disponível em: <http://www.nilu.no/projects/globalpcb/>. Acesso em 21 out. 2015.

BREIVIK, K.; SWEETMAN, A.; PACYNA, J, M; JONES, K. C. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners – a mass balance approach 3. An update. The Science of the Total Environment. vol. 377. p. 296-307. 2007.

BRITISH STANDARD. 12766-2. Methods of test for petroleum and its products. Petroleum products and used oils. Determination of PCB and related products. Calculation of polychlorinated biphenyl (PCBs) content. English. 2001.

COGLIANO, V.J., Lack of data drives uncertainty in PCB health risk assessments. Environmental Science and Pollution Research. V. 23. P. 2212-2219. 2016.

COSTA, M. G. Marcos técnicos e legais de gerenciamento de PCB no setor elétrico: uma revisão crítica e propostas para o Brasil. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION - CENELEC. Guidelines for the inventory control, management, decontamination and/or disposal of electrical equipment and insulating liquids containing PCBs. Technical Report. CLC/TR 50503. 2010. English version.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION - CENELEC. Code of practice for the safe use of fully enclosed oil-filled electrical equipment which may be contaminated with PCBs. European Standard. EN 50225: 2003-04. 2003.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Council Directive 96/59/EC. On the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT). Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0059&from=EN>. Acesso em: outubro de 2014.

DEXSIL. Instructions for Clor-n-oil 20 – PCB screening kit. Revision 1. 2006. Disponível em: <https://www.dexsil.com/writable/documents/product-manuals/ClorN.Oil.20.PDF>. Acesso em: novembro/2015.

DEXSIL. Instructions for Clor-n-oil 50 – PCB screening kit. Revision 5. 2014. Disponível em: <https://www.dexsil.com/writable/documents/product-manuals/instructionsclo50.pdf>. Acesso em: novembro/2015.

DEXSIL. L2000DX PCB/Chloride ANALYZER System (LP-200). 2015. Disponível em: http://www.dexsil.com/products/detail.php?product_id=13. Acesso em: novembro/2015.

DI SESSA, C.; MARTINS, A. C. P.; DINIZ, C.B.; VASSALO, D. J.; ROCHA, H. C. B.; CHAVES, L. M. M.; PEREIRA, L. T.; ALMEIDA, M. I. D.; RIBEIRO, M. G. D. L.; LOIS, R. C.; PASSOS, W. E. Avaliação de metodologias analíticas para triagem de óleo mineral isolante de equipamentos elétricos com relação à possibilidade de contaminação por PCB. XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Electronic Code of Federal Regulations, Title 40, Chapter I, Subchapter R, Part 761 (current as of May, 27, 2015). Polychlorinated biphenyls (PCBs) manufacturing, processing, distribution in commerce, and use prohibitions). USA, 2015. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-R/part-761>. Acesso em Maio de 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Environmental Protection Agency – EPA. Environmental Technology Verification Program. Verification Statement – Ion Specific Electrode -L2000DX Analyzer EPA-VS-SCM-46. 2001.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. EPA. Method 8270D. Semivolatile organic compounds by Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS). Revision 4. 1998. Disponível em: <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/8270d.pdf>. Acesso em: outubro/2018.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. EPA. Method 9078. Screening test method for Polychlorinated Biphenyls in Soil. Revision 0. 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9078.pdf>. Acesso em: outubro/2018.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. EPA. Method 9079. Screening test method for Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil. Revision 0. 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9079.pdf>. Acesso em: outubro/2014.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. EPA. Revisions to the PCB Q and A Manual. June 2014 Version. 2014. Acesso em Agosto de 2015.

FRANÇA. Ministério de l'Écologie et du Développement Durable. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie. Plan Nacional de Decontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB et PCT. 2003.

FRANÇA. Ministério de l'Écologie et du Développement Durable et de l'Énergie. Vos appareils peuvent contenir des PCBs- Pensez à les vérifier! 2014.

FIEDLER, H. Polychlorinated biphenyls (PCBs): uses and environmental releases. 1997. IN: Proceedings of the Subregional Awareness Raising Workshop on Persistent Organic Pollutants (POPs), Bangkok, Thailand. 1997.

FIOCRUZ. Estudo de Poluentes Orgânicos Persistentes em Leite Humano no Brasil. In: Quinta rodada de estudos de exposição coordenada pela Organização Mundial da Saúde em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – Relatório Final. 2014.

FINCH, S. R; LAVIGNE, D. A. One example where chromatography may not necessarily be the best analytical method. Journal of Chromatographic Science. p. 351-356, v. 28, 1990.

HELSINKI COMMISSION - BALTIC MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMISSION. Polychlorinated Biphenyls (PCB). A compilation of information, derived from HELCOM recommendations, EU-Directives, UN-ECE-LRTAP, UNEP and OSPAR, and analysis of appropriate measures aiming at safe handling and reduction of releases of PCB from PCBs-containing equipment in use. 2001.

HULEK, R., BORUVKOVA, J., GREGOR, J., KALINA, J., BEDNÁROVÁ, Z., ŠEBKOVÁ, K., MELKES, O., ŠALKO, M., NOVÁK, R., JARKOVSKY, J., DUŠEK L., KLÁNOVÁ, J. Global Monitoring Plan of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: visualisation and on-line analysis of global levels of chemicals in air, water, breast milk and blood [online]. Masaryk University, 2014. Disponível em: <http://www.pops-gmp.org/visualization-2014>. Acesso em setembro de 2018.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to humans. World Health Organization - WHO. 2016. V. 107. p. 41-130 e p. 423 - 439.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC. 61619. International Standard. Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography. 1997.

KARSTENSEN, K, MUBARAK, A, GUNADASA, H, WIJAGUNASEKARA, B, RATNAYAKE, N, ALWIS, A, FERNANDO, J. Test burn with PCB-oil in a local cement kiln in Sri Lanka. Chemosphere. v. 78. p. 717-723. 2010.

LAUBY-SECRETAN, B. LOOMIS, D. BAAN, R, GHISSASSI, F.E., BOUVARD, V., BENBRAHIM-TALLA, L., GUHA, N., GROSSE, Y, STRAIF, K., Use of mechanistic data in the IARC evaluations of the carcinogenicity of polychlorinated biphenyls and related compounds. Environmental

Science and Pollution Research. V. 23. P. 2220-2229. 2016.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F, KREHBIEL, T.C.;BERENSON, M. L. Estatística: teoria e aplicações; tradução Teresa Cristina Padilha de Souza. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

MONTGOMERY, D., C. RUNGER, G., C.; HUBELE, N. F Inferência sobre a proporção de uma população. IN: MONTGOMERY, D., C. RUNGER, G., C.; HUBELE, N. F Estatística aplicada à Engenharia. Ed. 2. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.2004.p. 118-122.

PUBCHEM. Apresenta informações sobre substâncias químicas, incluindo conformação em três dimensões. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Acesso em dez. 2016.

QI, Z.; BUEKENS, A.; LIU, J.; CHEN, T.; LU, S.; LI, X.; CEN, K. Some technical issues in managing PCBs. Environmental Science and Pollution Research. vol. 21. p. 6448-6462. 2014.

ROTTERDAM CONVENTION. The convention. Apresenta informações gerais sobre a Convenção de Roterdã. Disponível em: <http://www.pic.int/TheConvention/Overview/tabid/1044/language/en-US/Default.aspx>. Acesso em jun.2016.

SÁ, A. L. C. R; MARTINS, A. R. Avaliação das metodologias para análise de bifenilas policloradas em óleo. I CMDT – Colóquio Sobre Materiais Dielétricos e Técnicas Emergentes de Ensaio e Diagnósticos (D1). 2013.

SEA MARCONI TECHNOLOGIES SAS. Sea Marconi – Total Chlorine and PCBs screening. Potentiometric Test Kit. Technical Data Sheet. 2013.

SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION. Preparation of a National Environmentally Sound Management Plan for PCBs and PCB-Contaminated Equipment - Training Manual. 2003.

SECRETARIAT OF THE STOCKHOLM CONVENTION. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) as amended in 2009. Texts and Annexes. 2010.

STOCKHOLM CONVENTION. The POPs. 2016. Apresenta informações gerais sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Disponível em: <http://chm.pops.int/TheConvention/Thepops/tabid/673/Default.aspx>. Acesso em jun. 2016.

STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS. Second Global Monitoring Report. 2017. Disponível em: <http://chm.pops.int/Implementation/GlobalMonitoringPlan/MonitoringReports/tabid/525/Default.aspx>. Acesso em maio 2019.

ULTRA SCIENTIFIC, INC. Safety Data Sheet. Aroclor 1242 (PCB 1242). Revision 4. 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME CHEMICALS - UNEP CHEMICALS. Survey of currently available non-incineration PCB destruction technologies. First issue. 2000.

UNEP CHEMICALS. Guidelines for the Identification of PCBs and materials containing PCB. First issue. 1999.

UNEP CHEMICALS. PCB Transformers and Capacitors: from management to reclassification and disposal. First issue. 2002.

UNEP. Revised draft guidelines on Best Available Techniques and provisional guidance on Best Environmental Practices relevant to article 5 and annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. 2006.

UNEP. Preliminary assessment of efforts made toward the elimination of polychlorinated biphenyls. Disponível em: <http://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PCB/Decisions/tabid/692/Default.aspx>. 2015. Acesso em: jun/2016.

WEBBER, I. PCBs and Associated Aromatics. In: ZIEGLER, E. N. Encyclopedia of Environmental Science and Engineering. p. 873 -970. v. II. 6th. ed. 2012.

APÊNDICE I – CONVENÇÕES INTERNACIONAIS RELACIONADOS AO GERENCIAMENTO DE PCB

As principais regulamentações internacionais relacionadas ao gerenciamento de PCB são:

- Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 2016) é a principal convenção internacional para prevenir a poluição do meio ambiente marinho por navios por causas operacionais ou acidentais. Foi adotada em 1973 e entrou em vigor em 1983. O Anexo VI que trata da Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios, entre outros, proíbe a incineração de PCB em navios.
- Convenção da Basileia (BASEL CONVENTION, 2016) sobre controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito, cujo objetivo é proteger saúde humana e o meio ambiente dos efeitos adversos dos resíduos perigosos. As PCBs estão incluídas nos Anexos I (Categorias de resíduos a serem controlados) e anexo VIII listas A1 e A3 (resíduos metálicos, eletro eletrônicos, cabos metálicos, resíduos orgânicos contendo teores superiores a 50 mg/kg de PCB). Essa Convenção foi adotada em 1989 e entrou em vigor em 1992, visando: redução da geração de resíduos e a promoção de seu gerenciamento ambientalmente adequado; restrição de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos, exceto se estiverem conforme os princípios de gerenciamento ambientalmente adequado; regulamentação dos movimentos transfronteiriços autorizados.
- Convenção de Roterdã (ROTTERDAM CONVENTION, 2016) sobre procedimento de consentimento prévio, informado para o comércio internacional de certas substâncias químicas e agrotóxicos perigosos, cujo objetivo é promover a responsabilidade compartilhada e esforços cooperativos entre as partes no comércio internacional de certas substâncias químicas perigosas. Este acordo foi adotado em 1998, tendo entrado em vigor em 2004. As PCB fazem parte do Anexo III que contém Substâncias Químicas sujeitas ao procedimento de consentimento prévio informado.
- Convenção de Estocolmo (CE) que estabelece medidas para reduzir, ou eliminar, as liberações decorrentes de produção e uso intencionais e não intencionais dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POP). Este acordo possui 30 artigos e 7 anexos (de A a G). Essa foi assinada por 179 partes (entre as quais o Brasil), não tendo sido ratificada por 7 partes: Estados Unidos, Itália, Israel, Brunei, Haiti, Malta e Malásia (United Nations Environmental Programme - UNEP, 2015).

Convenção de Estocolmo (CE) e seus anexos

A CE foi adotada em 2001, entrou em vigor em 2004, contendo 12 substâncias tendo sido revisada para inclusão de novos POP em 2009, 2011, 2013 e 2015 (9, 1, 1 e 3 substâncias, respectivamente, totalizando 26 POP) (STOCKHOLM CONVENTION, 2016).

O anexo A da CE traz a lista de substâncias para eliminação e as exceções específicas. O anexo B apresenta substâncias que devem ter seu uso restrito. E o anexo C apresenta os POP que são formados e liberados não intencionalmente por fontes antropogênicas, a partir de processos térmicos que envolvem matéria orgânica e cloro como resultado de combustão incompleta. (SECRETARIAT OF THE STOCKHOLM CONVENTION, 2010).

O Quadro 3 apresenta a lista atualizada de POP. Destaca-se assim que o gerenciamento de PCB em equipamentos elétricos se refere há apenas um uso não dispersivo de uma das 26 substâncias da CE. O atendimento à CE engloba adoção de estratégias e políticas relacionadas a todas estas substâncias.

As PCBs estão listadas no Anexo A e C da CE. No Anexo A, a produção das PCBs é proibida, sendo os artigos em uso considerados uma exceção quanto à eliminação, devendo seguir as disposições da Parte II deste Anexo, que, por sua vez, se dedica exclusivamente às PCBs.

Quadro 3: Poluentes orgânicos persistentes (POP) listados na Convenção de Estocolmo, conforme Anexos A a C e ano de sua inclusão (em parêntesis), classificados pelo uso principal ou tipo de formação (•Agrotóxicos / ΔProdutos químicos industriais/ □Subprodutos).

ANEXO A – ELIMINAÇÃO		
Aldrin•(2001) Endrin•(2001) Mirex•(2001) Clordano•(2001) Heptacloro•(2001) Toxafeno•(2001) Dieldrin•(2001) Hexaclorobenzeno•/Δ(2001) PCB Δ(2001) Alfa Hexaclorociclohexano •/□ (2009)	Beta hexaclorociclohexano•/□(2009) Clordecona•(2009) HexabromobifenilΔ(2009) Éter hexabromodifenil e éter heptabromodifenilΔ(2009) Lidano•(2009) Pentaclorobenzeno•/Δ/□(2009) Éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico Δ(2009)	Endosulfan e isômeros correlatos•(2011) Hexabromociclododecano Δ (2013) Hexaclorobutadieno Δ (2015) Pentaclorofenol, seus sais e ésteres• (2015) Naftalenos policlorados Δ/□ (2015)
ANEXO A – ELIMINAÇÃO		
DDT •(2001) Ácido perfluoroctano sulfônico, seus sais e fluoreto de perfluoroctano sulfonila Δ(2009)	Dibenzeno-p-dioxinas e dibenzofuranos (dioxinas e furanos)□(2001) Hexaclorobenzeno□(2001) PCB□(2001) Pentaclorobenzeno□(2009) Naftalenos policlorados□(2015)	

Fonte: Adaptado de STOCKHOLM CONVENTION, 2016.

No Anexo A - Parte II é estabelecido que as partes deverão, até 2025, agir de acordo com as seguintes prioridades:

- evitar esforços para identificar, rotular e tirar de uso equipamentos que contenham mais de 10% de PCB e volumes superiores a 5 litros;
- evitar esforços para identificar, rotular e tirar de uso equipamentos que contenham mais 0,05% de PCB (500 mg/kg) e volumes superiores a 5 litros;
- empenhar-se para identificar e tirar de uso equipamentos que contenham mais de 0,005% de PCB (50 mg/kg) e volumes superiores a 0,05 litros.

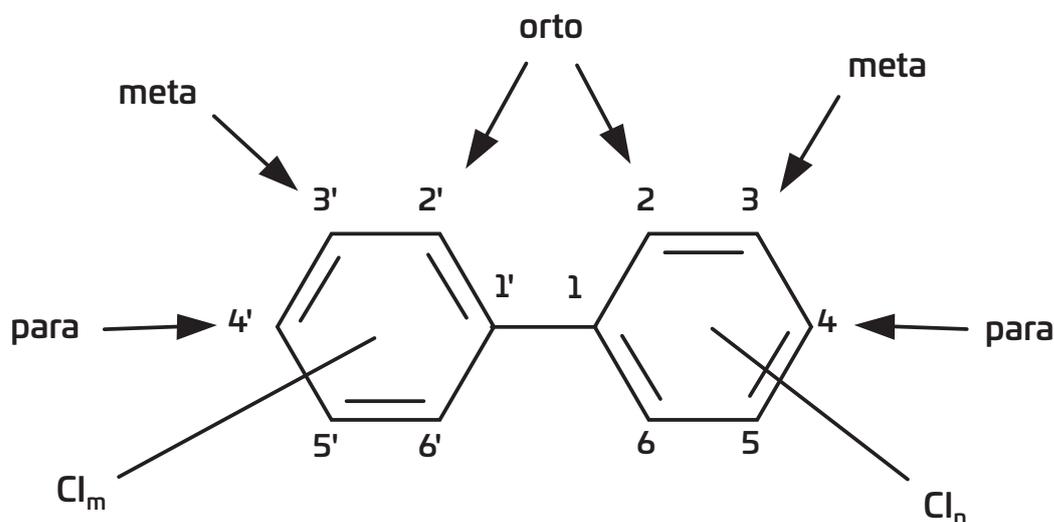
Então, deve-se realizar seu manejo ambientalmente saudável até 2028 (SECRETARIAT OF THE STOCKHOLM CONVENTION, 2010).

Assim, é possível perceber a priorização dada aos equipamentos com teores de PCB superiores a 10%, seguidos pelas concentrações maiores que 500 mg/kg e, então, aquele com teores entre 50 e 500 mg/kg, tendo em vista o uso das expressões “agir de acordo com as seguintes prioridades” (“*following priorities*”), “evitar esforços” (“*make determined efforts*”) e “empenhar-se” (“*endeavour*”).

APÊNDICE II – BIFENILAS POLICLORADAS - FUNDAMENTOS

As PCBs são compostos orgânicos aromáticos clorados, formados por dois radicais fenil, sendo cada radical constituído de 6 átomos de carbono e 5 átomos de hidrogênio, os quais podem ser substituídos por átomos de cloro. A fórmula química geral pode ser representada como $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, onde n , o número de átomos de cloro na molécula, pode variar de 1 a 10. A estrutura geral da molécula de PCB é representada na Figura 11.

Figura 11: Representação genérica da estrutura molecular das bifenilas policloradas (PCBs) e o sistema de numeração da *International Union of Pure and Applied Chemistry* – IUPAC. O número de átomos de cloro pode variar de 1 a 10, sendo representado por $(m+n)$



Fonte: Adaptado de WEBBER, 2012.

Existem no total 209 possíveis compostos chamados de congêneres de PCB, diferenciados pelo número e posicionamento de átomos de cloro na molécula. As PCBs podem ser classificadas por seu grau de cloração. O termo homólogo se refere a todas as PCBs com o mesmo número de cloros. Homólogos com diferentes padrões de distribuição são chamados de isômeros (ATSDR, 2000b).

A Tabela 4 apresenta as fórmulas estruturais relacionadas aos diferentes homólogos das PCBs (com diferentes graus de cloração), número de congêneres, número da IUPAC dos congêneres, massa molecular e % cloro. A Figura 12 contém alguns exemplos de congêneres de PCBs e suas séries homólogas.

Tabela 4: Fórmula, número de congêneres, massa molecular dos diferentes isômeros de PCB.

FÓRMULA ESTRUTURAL	GRAU DE CLORAÇÃO	NÚMERO DE CONGÊNERES	Nº IUPAC DOS CONGÊNERES	MASSA MOLECULAR (uma)	% CLORO
C ₁₂ H ₉ Cl	1	3	1 a 3	188,65	18,79
C ₁₂ H ₈ Cl ₂	2	12	4 a 15	233,1	31,77
C ₁₂ H ₇ Cl ₃	3	24	16 a 39	257,54	41,30
C ₁₂ H ₆ Cl ₄	4	42	40 a 81	291,99	48,56
C ₁₂ H ₅ Cl ₅	5	46	82 a 127	326,43	54,30
C ₁₂ H ₄ Cl ₆	6	42	128 a 169	360,88	58,93
C ₁₂ H ₃ Cl ₇	7	24	170 a 193	395,32	62,77
C ₁₂ H ₂ Cl ₈	8	12	194 a 205	429,77	65,98
C ₁₂ H ₁ Cl ₉	9	3	206 a 208	464,21	68,73
C ₁₂ Cl ₁₀	10	1	209	498,66	71,10

Fonte: IARC, 2016.

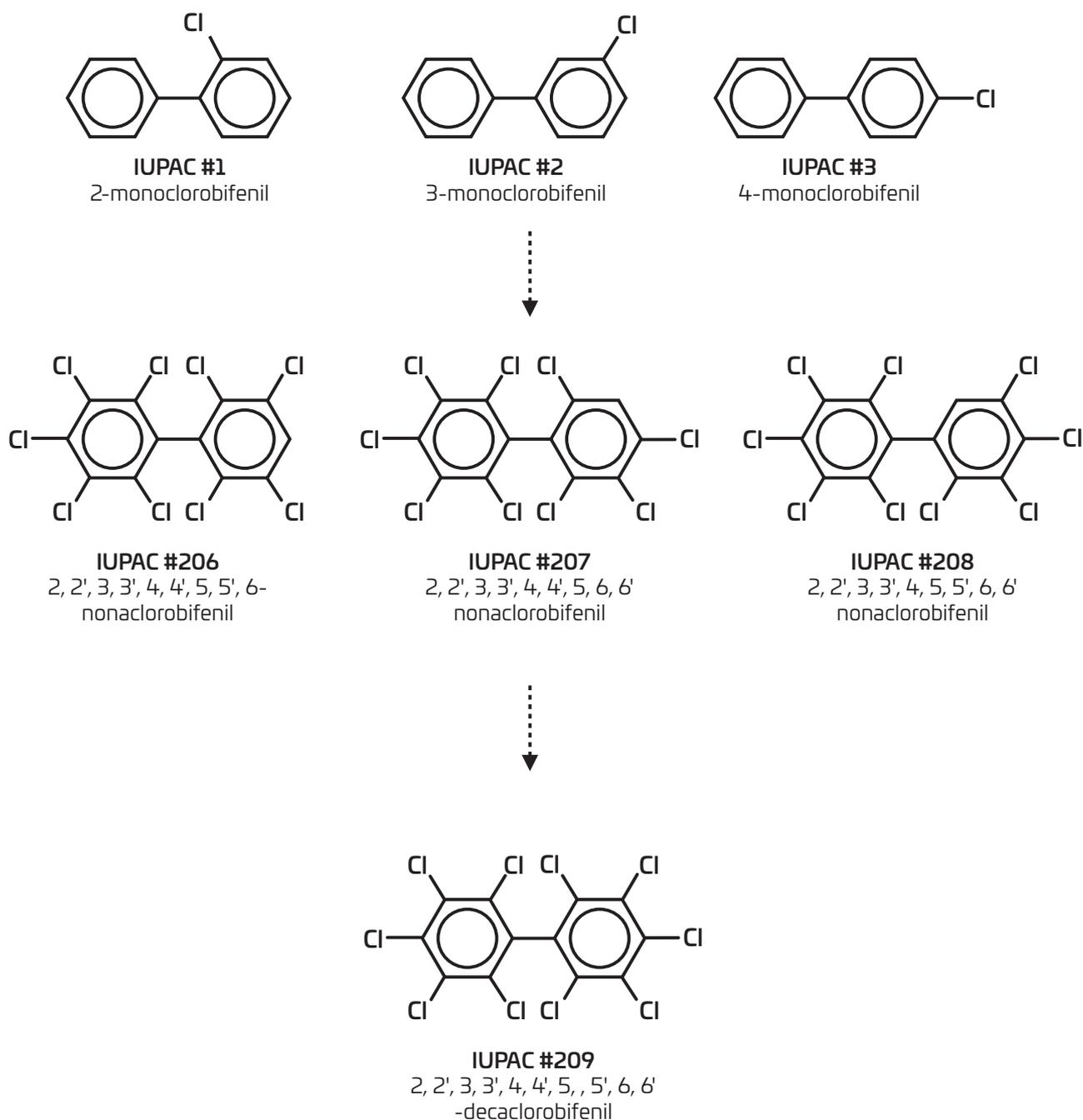
Dentre as principais propriedades físico-químicas das PCBs, que variam de acordo com o grau de cloração da molécula (FRANÇA, 2003 e UNEP, 2002), destacam-se:

- grande estabilidade química; quimicamente inerte; não hidrolisável, resistentes a ácidos, bases e oxidantes;
- não inflamável;
- alta constante dielétrica, ou seja, são isolantes elétricos muito bons;
- hidrofóbico e lipossolúvel.

Apesar de sua grande estabilidade química e térmica, em condições enérgicas de temperatura, pressão e concentração de reagentes, podem:

- reagir com sódio com produção de cloreto de sódio;
- sofrer oxidação completa em temperaturas acima de 1200°C, com excesso de oxigênio superior a 0,5%;
- sofrer oxidação parcial levando à formação das dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) e dibenzo-furanos policlorados (PCDF);
- reagir cataliticamente com hidrogênio resultando em bifenila e ácido clorídrico ou ciclo-hexano dependendo das condições de hidrogenação (BRASIL, 2015).

Figura 12: Exemplos de congêneres de PCB e suas séries homólogas



Fonte: Adaptado de WEBBER, 2012.

Produção e consumo mundial das PCBs

As PCBs foram produzidas pela cloração de bifenilas na presença de um catalisador. As estimativas sobre a produção de PCB variam, mas a maior parte dos autores estima que tenha sido entre 1 a 1,5 milhões de toneladas (Breivik et al, 2002; Breivik et al, 2007; UNEP, 2015; Fiedler, 1997).

De acordo com Breivik et al (2007), a produção histórica de PCB por empresa é apresentada na Tabela 5. Nota-se que as PCBs foram produzidas entre 1930 e 1993, sendo os principais países produtores Estados Unidos (48,4%), URSS (Rússia) (13,1%), Alemanha Ocidental (12,0%) e França (10,2%). Todos os países cessaram a produção até 1984, com exceção da URSS (Rússia) que só parou de produzir em 1993.

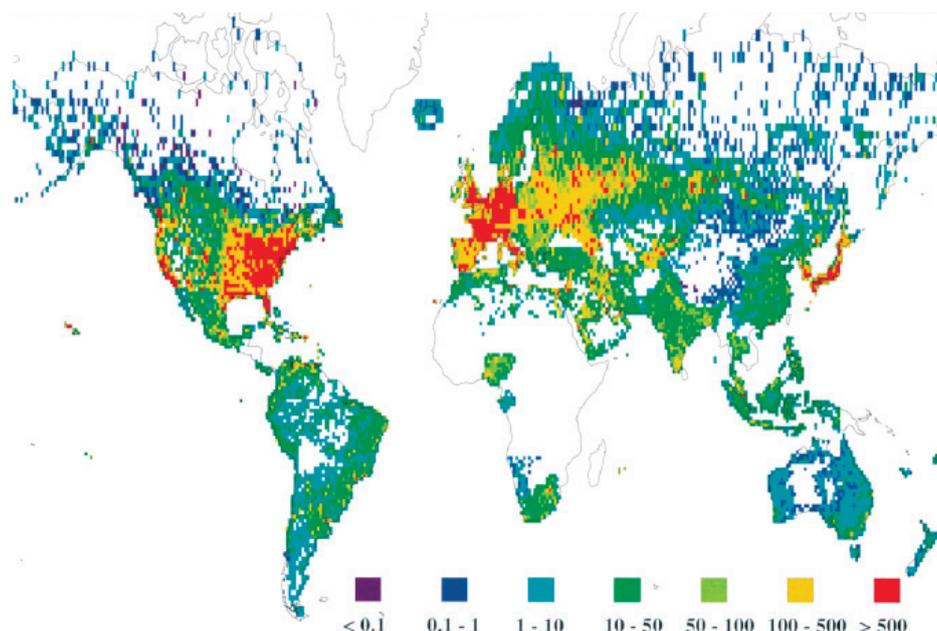
Tabela 5: Produção total de PCB como reportado na literatura (em toneladas)

FABRICANTE	PAÍS	INÍCIO	FIM	QUANTIDADE (T)	%
Monsanto	Estados Unidos	1930	1977	641246	48,4%
Bayer AG	Alemanha Ocidental	1930	1983	159062	12,0%
Orgsteklo	URSS (Rússia)	1939	1990	141800	10,7%
Prodelec	França	1930	1984	134654	10,2%
Monsanto	Reino Unido	1954	1977	66542	5,0%
Kanegafuchi	Japão	1954	1972	56326	4,2%
Orgsintez	URSS (Rússia)	1972	1993	32000	2,4%
Caffaro	Itália	1958	1983	31092	2,3%
S.A. Cros	Espanha	1955	1984	29012	2,2%
Chemko	Checoslováquia	1959	1984	21482	1,6%
Xi'na	China	1960	1979	8000	0,6%
Mitsubishi	Japão	1969	1972	2461	0,2%
Electrochemical Company	Polônia	1966	1970	1000	0,1%
Zaklady Azotowe	Polônia	1974	1977	679	0,1%
Geneva Industries	Estados Unidos	1971	1973	454	0,0%
TOTAL	MUNDIAL	1930	1993	1325810	100,0%

Fonte: Adaptado de BREIVIK et al, 2007.

Breivik et al (2002) estimaram que 97% do total de PCBs produzidas foram utilizadas no hemisfério norte. A Figura 13 apresenta o uso global acumulado de PCBs.

Figura 13: Uso global acumulado de PCBs (legenda em toneladas)



Fonte: BREIVIK et al, 2002.

Aplicação das PCBs

Conforme UNEP Chemicals, 2000 e HELSINKI COMMISSION, 2001, os usos das PCBs podem ser divididos em:

- dispersivos (ou abertos) - aqueles em que o produto é usado em contato direto com o ambiente;
- não dispersivos (ou fechados) - aqueles em que o produto encontra-se em dispositivos ou equipamentos herméticos, sem contato direto com o meio ambiente (BRASIL, 2015b);
- parcialmente dispersivo (ou parcialmente fechado) - quando o fluido movimenta-se, o que ocorre em fluidos de transferência de calor e fluidos hidráulicos.

Os principais usos dispersivos das PCBs estavam baseados nas suas propriedades bacteriostáticas. Foram empregadas com intensidade em produtos de limpeza e desinfecção hospitalar como sabonetes cirúrgicos, produtos de limpeza de salas de cirurgia e outras instalações hospitalares.

Na área agrícola, apesar de não terem propriedades herbicidas ou pesticidas, as PCBs foram utilizadas como diluente para pulverização desses produtos. Elas foram também largamente utilizadas na preservação de madeiras como proteção contra cupins e como diluente para os

principais conservantes da madeira. Na área industrial, foram utilizadas como estabilizante de diversas formulações de plásticos e borrachas especiais, principalmente produtos à base de PVC e borracha clorada (BRASIL, 2015).

Os principais usos não dispersivos das formulações à base das PCBs foram para isolamento elétrico, como fluidos de troca térmica em trocadores de calor (BRASIL, 2015) e fluidos hidráulicos (FRANÇA, 2003). UNEP (2015) estima que 48% das PCBs produzidas foram usadas como óleo de transformadores, 21% em capacitores pequenos, 10% em sistemas nominalmente fechados e 21% em usos dispersivos.

Aplicação das PCBs em equipamentos elétricos

As PCBs foram desenvolvidas nos EUA, com o objetivo original de serem utilizadas em transformadores e capacitores instalados em áreas onde os riscos de incêndio e explosão devem ser minimizados, isto é, subestações elétricas localizadas no interior de prédios, veículos como trens e navios, ou em locais com trânsito frequente de pessoas (BRASIL, 2015).

O uso de PCB em equipamentos elétricos foi considerado historicamente como sendo de baixo risco ambiental (WEBBER, 2012), o que também pode ser entendido pela norma europeia de gerenciamento de PCB em vigor:

“não há risco conhecido a saúde humana ou ao meio ambiente, desde que equipamento permaneça intacto, mesmo se o líquido isolante for contaminado com PCBs” (CENELEC, 2003, tradução nossa)

Ademais, o termo Ascarel foi usado genericamente para denotar líquidos dielétricos sintéticos, não inflamáveis, usados principalmente em transformadores que continham PCB e outros organoclorados (tri e tetra clorobenzeno, principalmente), sendo também comercializados e distribuídos numa grande variedade de nomes, destacando-se: Aroclor (Monsanto, EUA); Clophen (Bayer, Alemanha); Kanechlor (Kanegafuchi, Japão), Phenoclor e Pyralene (Prodolec, França); Santotherm (Mitsubishi, Japão); Aceclor (ACEC, Bélgica); Apirolio (Caffaro, Itália); Pyranol (G.E., Estados Unidos); Pyroclor (Monsanto, Reino Unido) (QI et al, 2014; WEBBER, 2012).

É importante distinguir também os fluidos que contem PCB como constituinte principal (comumente chamados de Ascarel – que tipicamente contem cerca de 70% de PCB) e fluidos que contem PCB, mas não como constituintes principais, como nos Estados Unidos, onde as misturas com teores superiores a 500 mg/kg de PCB são chamadas de “PCB”, e com teores entre 50 e 500 mg/kg são chamadas de “contaminados de PCB” (WEBBER, 2012).

A Monsanto Corporation, maior produtora mundial das PCBs (48,4% do global - Breivik et al, 2007), produziu misturas de PCBs que são identificadas através de 4 dígitos: os 2 primeiros referem-se ao tipo de mistura, ou número de átomos de carbono na molécula (12); e os 2 últimos ao teor em peso de cloro. O Aroclor 1242, por exemplo, apresenta um teor de 42% de cloro. A única exceção é o 1016, que tem 41% de cloro e é obtido pela destilação do Aroclor 1242. Uma mistura comercial de PCB mesmo que do mesmo lote e fabricante não é idêntica por causa de pequenas alterações nas condições de cloração (ATSDR, 2000b, COGLIANO, 2016, QI et al, 2014, WEBBER, 2012), sendo o caso mais notável o do Aroclor 1254 (COGLIANO, 2016) que foi produzido por dois diferentes processos. A Tabela 6 apresenta a distribuição de isômeros conforme o tipo de Aroclor, demonstrando que o número de átomos de cloro aumenta com maiores teores de cloro da mistura comercial (tipo de Aroclor).

Tabela 6: Teor (% em massa) de isômeros conforme tipo de Aroclor

AROCLOR/FÓRMULA ESTRUTURAL	1242	1248	1254	1260
$C_{12}H_9Cl$	3	-	-	-
$C_{12}H_8Cl_2$	13	2	-	-
$C_{12}H_7Cl_3$	28	18	-	-
$C_{12}H_6Cl_4$	30	40	11	-
$C_{12}H_5Cl_5$	22	36	49	12
$C_{12}H_4Cl_6$	4	4	34	38
$C_{12}H_3Cl_7$	-	-	6	41
$C_{12}H_2Cl_8$	-	-	-	8
$C_{12}H_1Cl_9$	-	-	-	1

Fonte: WEBBER, 2012.

Riscos e toxicidade

As PCBs são não biodegradáveis, persistentes no meio ambiente, carcinogênicos podendo se bioacumular em tecidos adiposos (UNEP, 2002). Elas são classificadas pela Convenção de Estocolmo como Poluentes Orgânicos Persistentes (POP).

As PCBs podem ser liberadas no ar, água, solo e sedimentos durante o processo de fabricação, uso e destinação, comumente por derramamentos, vazamentos, queima, disposição inadequada (HELSINKI COMMISSION, 2001) e aplicações abertas.

Por sua alta estabilidade, elas permanecem no meio ambiente por um grande período de tempo, podendo ser transportadas por longas distâncias pelo ar e serem depositadas em

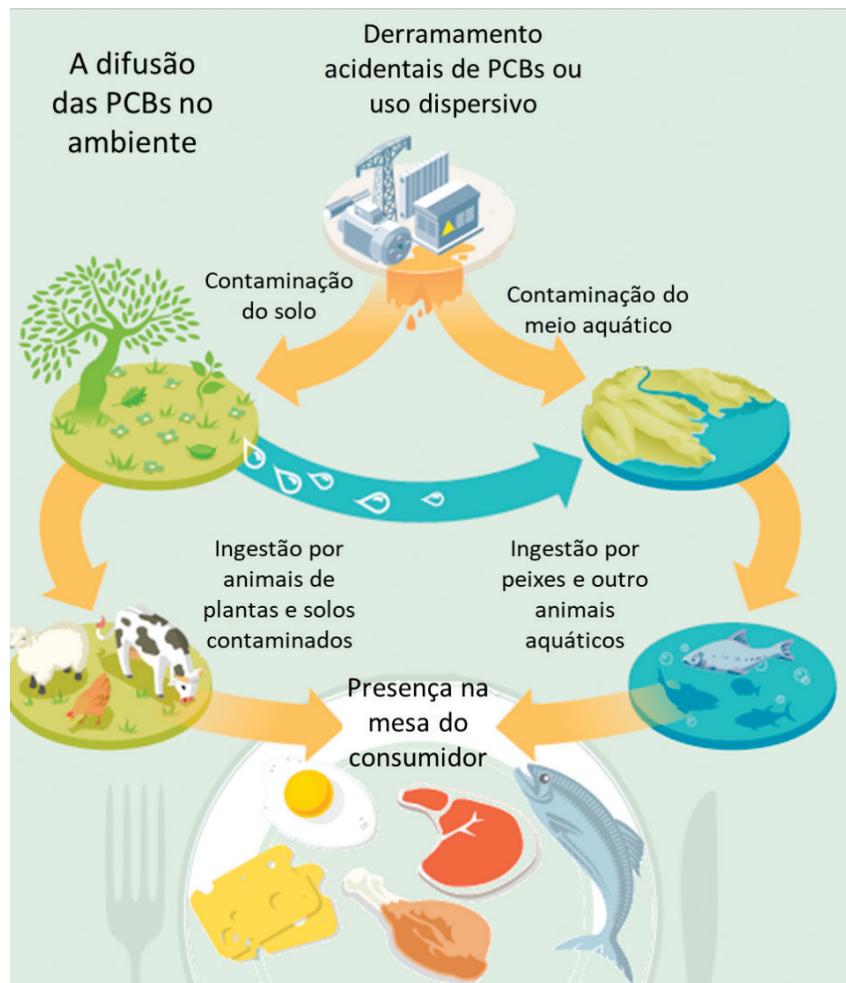
áreas distantes de onde houve sua liberação (ATSDR, 2000a).

As PCBs tendem a se ligar fortemente com o solo e podem se acumular em pequenos organismos e peixes. Por serem altamente resistentes ao metabolismo e à eliminação sendo, preferencialmente, retidas, as PCBs podem se bioacumular (maiores concentrações) em animais que estão em níveis mais altos na cadeia alimentar (COGLIANO, 2016 e ATSDR, 2000a).

As PCBs no meio ambiente podem sofrer diferentes processos: distribuição diferenciada (partitioning) no solo, ar, água e sedimentos; transformação química pelos processos de biodegradação, fotólise e hidrólise; bioacumulação diferenciada na cadeia alimentar. Estes processos fazem com que a exposição ambiental se dê por congêneres significativamente diferentes dos produtos comerciais originais. Seis congêneres (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180) são encontrados em maiores concentrações no ambiente, alimentos e tecidos humanos, sendo chamados de PCB indicadores (IARC, 2016), sendo que alguns estudos adicionam a essa lista o congêneres de PCB-118.

A Figura 14 apresenta formas de difusão das PCBs no meio ambiente, ressaltando a exposição humana pela ingestão de alimentos contaminados. IARC (2016) também relata que a maior rota de exposição humana a PCBs é através alimentos contaminados. As formas mais comuns de exposição de crianças, cujas mães foram altamente expostas a PCBs, é através de leite materno (por sua alta dissolução em gordura) e durante a gravidez (ATSDR, 2000a).

Figura 14: Possíveis rotas de difusão das PCBs no ambiente a partir de liberações acidentais atingindo alimentos.



Fonte: Adaptado de FRANÇA, 2014.

Pessoas podem ser expostas ao comer alimentos contaminados (principalmente peixe, carne e outros produtos lácteos), beber água contaminada (menor exposição por apresentar menor concentração), pela pele ou por aspiração (ATSDR, 2000a).

As PCBs são rapidamente absorvidas e distribuídas no corpo, acumulando-se em tecidos adiposos (Lauby-Secretan, 2016). A quantidade, duração e a forma de contato determinam se haverá dano à pessoa exposta. As PCBs podem permanecer no organismo por muitos anos na gordura e fígado.

Pessoas expostas a altas doses de PCB podem apresentar problemas de pele (acne e coceira) e desconforto no nariz, pulmão, sistema gastrointestinal, alterações no sangue e fígado, depressão e cansaço (ATSDR, 2000a). As PCBs podem ser cancerígenas por vários mecanismos, induzir à formação de espécies reativas de oxigênio, com mutagenicidade (ou toxicidade genética do inglês genotoxicity), supressão imunológica, efeitos inflamatórios e ao sistema endócrino (Lauby-Secretan, 2016).

Avaliações de risco de saúde apresentam inúmeras incertezas que são inerentes a esse tipo de estudo. Avaliações de risco de saúde de PCB são acrescidas de novas incertezas devido à natureza dinâmica e complexa das PCB (COGLIANO, 2016). Alguns estudos consideravam que todas as PCBs se comportam de forma similar enquanto outros consideravam as PCBs com graus de cloração similares. A publicação de diversos estudos relacionados aos efeitos das PCBs no homem e em animais permitiu um aprimoramento do conhecimento do assunto. Apenas em 1990, os estudos passaram a apresentar consistência sobre seu efeito cancerígeno. No entanto, lacunas ainda existem, especialmente relacionadas ao efeito em crianças (via exposição pelo leite materno) e exposição por inalação (COGLIANO, 2016).

Webber (2012) apresenta um histórico bastante extenso que demonstra a crescente percepção de risco associada ao uso das PCBs, que ocorreu especialmente nas décadas de 60 e 70. A poluição ambiental por PCBs foi primeiramente reconhecida na Europa, seguida dos Estados Unidos e do Japão.

Houve dois grandes acidentes na Ásia envolvendo contaminação humana por alimentação, conhecidos por acidentes de Yusho e Yucheng (IARC, 2016; WEBBER, 2012). Em ambos, houve ingestão de óleo de arroz contaminado por Kanechlor 400 ou 500 e seus produtos pirolíticos (principalmente PCDFs), sendo a concentração de PCB maior no primeiro (centenas a 3000 partes por milhão - ppm - e 53 a 100 ppm, respectivamente). No entanto, no último a ingestão ocorreu por um período maior de tempo. O acidente de Yusho ocorreu em 1968 no oeste do Japão e envolveu 1800 pessoas. Já o acidente de Yucheng envolveu 2000 pessoas em 1978 e 1979 em Taiwan.

Boa parte do que é conhecido como sendo os efeitos da exposição humana a PCB é decorrente destes dois acidentes, no entanto, a existência das PCDFs significativamente mais tóxicas, mesmo que em quantidades muito inferiores às PCBs, pode ter sido a causa primária dos sintomas (WEBBER, 2012). Na Europa, houve a “crise de dioxinas da Bélgica” em que 50kg de mistura comercial de PCB e 1g de dioxinas foram misturadas a 500 t de ração animal, levando a contaminação de 2500 aves e suínos, em 1999. Na Irlanda, em 2008, houve contaminação de um tanque de gordura de porco (IARC, 2016).

Em 1970, a Monsanto emitiu uma carta aberta relatando a necessidade de controle dos resíduos e de derramamentos. Em 1971 e 1972, a Força Tarefa Interdepartamental de PCB dos Estados Unidos recomendou a descontinuação de todos os usos de PCB, exceto em transformadores e capacitores, pois estes usos foram considerados fechados (não dispersivos, ou seja, com menor possibilidade de contaminação do ambiente) e essenciais para a indústria, o que foi feito pela Monsanto. Foi relatada também a importância da utilização das PCBs em equipamentos elétricos pela diminuição do risco de incêndios e explosões – sendo reportado que a proibição desta aplicação das PCBs representaria a troca de um perigo por outro.

Em 1971, a Monsanto publicou um boletim intitulado “Manuseio, controle de resíduos e destinação de PCB” (do inglês Handling, Waste Control and Disposal of PCB), contendo 9 diretrizes para evitar a disseminação das PCBs no ambiente. Houve publicação também do “Uso e disposição de líquidos isolantes elétricos” (do inglês The use and disposal of electrical insulating liquids), pela National Industrial Pollution Control Council, que continha recomendações para minimizar a entrada das PCBs utilizadas em capacitores e transformadores no ambiente. Nesta época, os estudos revelavam a presença dos congêneres mais clorados nos organismos e ausência de PCB com menos de 3 cloros.

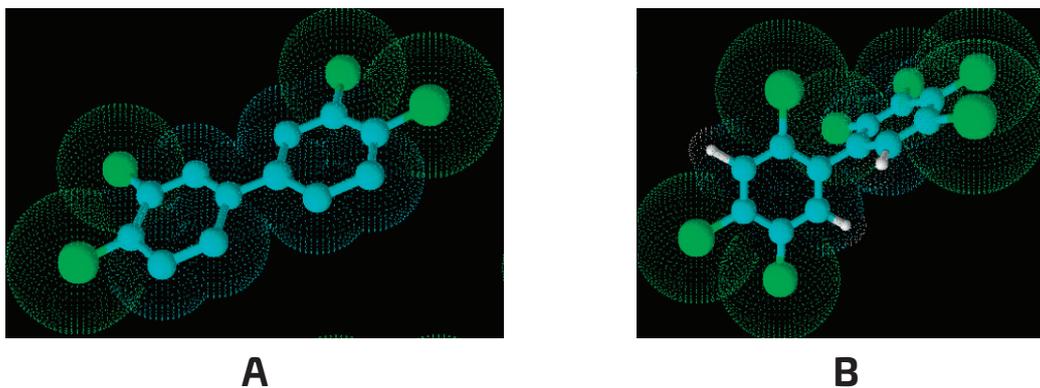
Assim, em 1970, teve início a interrupção de fabricação dos Aroclors mais clorados: 1232, 1248, 1260, 1262 e 1268. Houve introdução do Aroclor 1016, produto ambientalmente mais aceitável (grau de cloração similar ao 1242), sendo que ao final de 1975, apenas os Aroclors 1221, 1016, 1242 e 1254 ainda eram produzidos.

Em 1973, a OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) anunciou a decisão de controlar a manufatura e comercialização de PCB, mas permitir a produção de PCB para uso em sistemas fechados (não dispersivos), por considerar que apenas quantidades limitadas de PCB de transformadores e capacitores podiam ser liberadas no ambiente (WEBBER, 2012). Em 1982, a EPA reafirmou que o uso de transformadores contaminados por PCB não representa um risco razoável para a saúde pública ou o ambiente.

O efeito tóxico das PCBs deve ser atribuído a estruturas mais rígidas, coplanares similares a estrutura dos PCDDs e PCDFs, ou seja, há relação com a configuração das moléculas. Os anéis de benzeno podem rotacionar em relação à ligação que os conecta, podendo apresentar configuração plana ou não plana (ângulo de 90°) (ATSDR, 2000b; WEBBER, 2012).

A substituição de hidrogênio na posição orto (2, 2', 6, 6') por átomos de cloro que são maiores em comparação aos de hidrogênio promove a rotação do anel, fazendo a configuração deixar de ser plana. Os anéis de benzeno cuja substituição de cloro ocorre em posição não orto, e também quando há apenas uma substituição na posição orto, apresentam configuração planar ou co-planar, sendo os demais congêneres conhecidos por não planares (ATSDR, 2000b). A Figura 15 apresenta exemplos de moléculas de PCB com configuração plana e não plana.

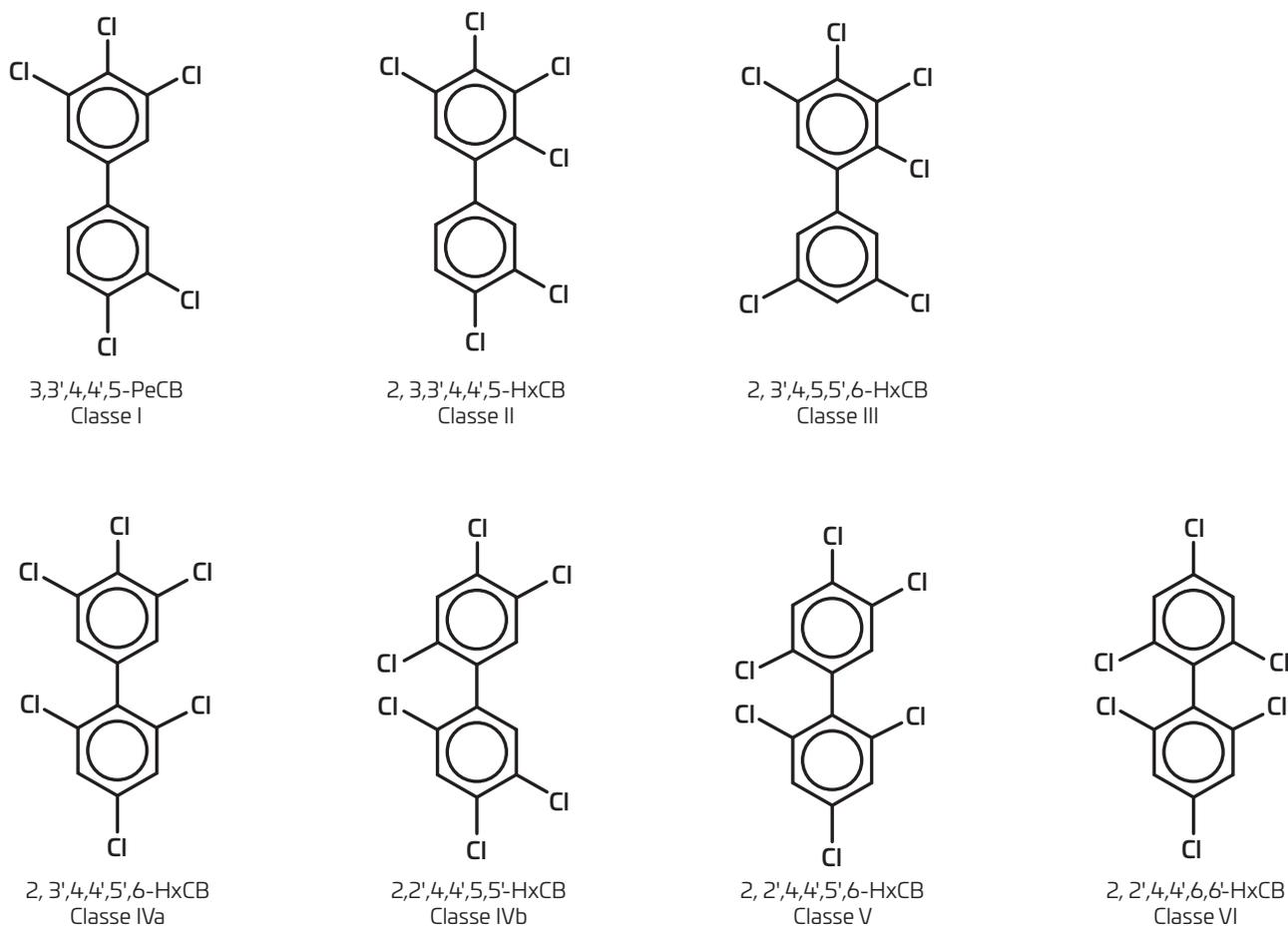
Figura 15: Representação esquemática em três dimensões de exemplos de moléculas de PCB com configuração plana (PCB-77 – 3,3',4,4' - tetraclorobifenil - A) e não plana (PCB-180 – 2,2',3,4,4',5,5' - heptaclorobifenil - B)



Fonte: IARC, 2016.

Webber (2012) relata que as PCBs podem ser divididas em 6 diferentes classes estruturais: Classes I e II que são os compostos coplanares e mono-orto-coplanar, respectivamente; Classe III que são de mono-orto-coplanar, mas com ausência de cloro na posição para; Classe IV, que são a di-orto-coplanar; Classes V e VI que são o tri e tetra-orto PCB que são não planares. A Figura 16 apresenta exemplos representativos das seis classes de PCBs, sendo considerado que a similaridade com as PCDDs e PCDFs é decrescente conforme o número da classe.

Figura 16: Classes estruturais das PCBS



Fonte: Adaptado de WEBBER, 2012.

Há 12 congêneres que têm alta afinidade pelo receptor de hidrocarboneto Aryl: PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189. Eles são classificados como dioxin-like PCB, por apresentar estrutura coplanar, rígida, similar a dos PCDDs e PCDFs (QI et al, 2014). A afinidade pelo receptor de hidrocarboneto Aryl promove o transporte das PCBs para um sítio ligante do núcleo que pode alterar a expressão genética iniciando, assim, efeitos tóxicos (WEBBER, 2012).

Cada congêneres do grupo das dl-PCB, apresenta um nível diferente de toxicidade. Para possibilitar a soma das toxicidades destes diferentes congêneres, foi criado o fator de equivalência de toxicidade (TEF – do inglês Toxic equivalency fator) que expressa a toxicidade de compostos quando comparado a toxicidade do 2,3,7,8-TCDD - dioxina mais tóxica, utilizada como referência com um TEF de 1.

A Tabela 7 apresenta o TEF desses compostos e a Figura 17 suas estruturas moleculares. Há duas colunas de TEF na Tabela 7, sendo a primeira referente aos dados de TEF da World

Health Organization (WHO) de 1998 e a segunda, dados de 2005, que foram atualizados. Para comparação de resultados com dados históricos, pode ser utilizado os dados da WHO de 1998 ao invés de utilizar os dados atualizados em 2005.

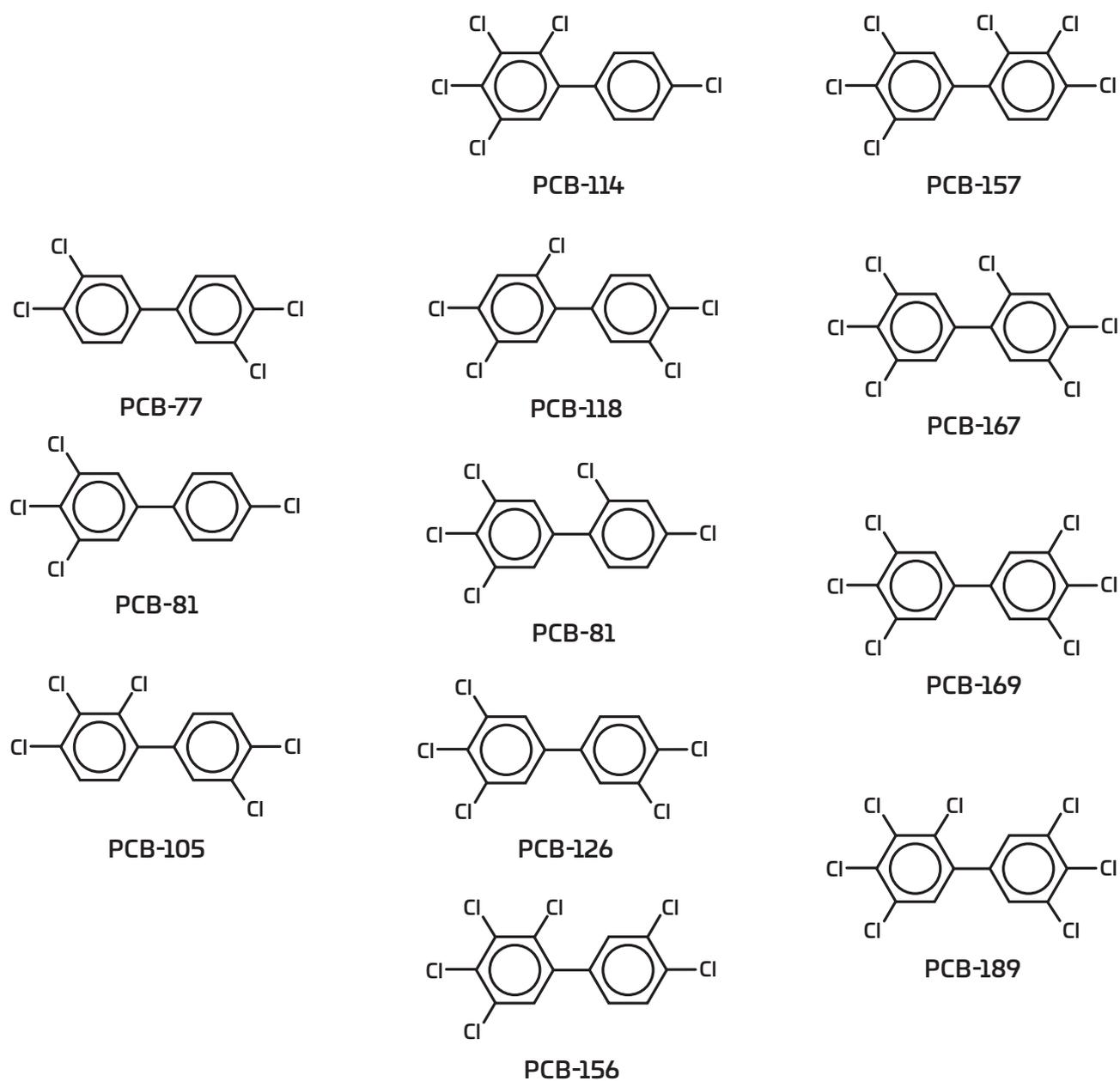
Tabela 7: Fator de equivalência de toxicidade (do inglês *Toxic equivalency factor* – TEF) das *dioxin-like* PCB.

COMPOSTO	WHO 1998 TEF	WHO 2005 TEF
PCB substituídos não orto		
PCB 77 (3,3',4,4'-TeCB)	0,0001	0,0001
PCB 81 (3,4,4',5'-TeCB)	0,0001	0,0003
PCB 126 (3,3',4,4',5'-PeCB)	0,1	0,1
PCB 169 (3,3',4,4',5,5'-HxCB)	0,01	0,03
PCB mono-orto substituídos		
PCB 105 (2,3,3',4,4',5'-PeCB)	0,0001	0,00003
PCB 114 (2,3,4,4',5'-PeCB)	0,0005	0,00003
PCB 118 (2,3',4,4',5'-PeCB)	0,0001	0,00003
PCB 123 (2',3,4,4',5'- PeCB)	0,0001	0,00003
PCB 156 (2,3,3',4,4',5'-HxCB)	0,0005	0,00003
PCB 157 (2,3,3',4,4',5'-HxCB)	0,0005	0,00003
PCB 167 (2,3,4,4',5,5'-HxCB)	0,00001	0,00003
PCB 189 (2,3,3',4,4',5,5'-HpCB)	0,0001	0,00003

Fonte: Adaptado de IARC, 2016

A PCB de maior toxicidade (PCB 126) apresenta 10% da toxicidade do 2,3,7,8-TCDD. No entanto, a contribuição para carcinogenicidade dos demais congêneres e misturas são desconhecidas. Não se pode atribuir a carcinogenicidade somente aos dioxin-like PCB nem estender a carcinogenicidade a todos os demais congêneres (Lauby-Secretan et al, 2016 e Qi et al, 2014).

Figura 17: Estrutura molecular das *dioxin-like* PCBs



Fonte: Adaptado de WEBBER, 2012.

APÊNDICE III – AS PCBs NO BRASIL E O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Para complementar o exposto no Capítulo 5, de maneira mais geral, esse Apêndice pretende apresentar de forma mais abrangente o histórico das PCBs no Brasil e também no Setor Elétrico Brasileiro.

Estimativa de importação e uso

As PCBs nunca foram fabricadas no Brasil, mas estima-se uma importação de 14 a 26 mil toneladas de fluido PCB, o que corresponde a 1 a 2% das PCBs produzidas globalmente (BRASIL, 2013, BREIVIK et al, 2002 e BREIVIK et al, 2007), sendo que em 1981 houve publicação da Portaria Interministerial MIC/MI/MME nº19, de 29/01/1981, que proibiu a fabricação e comercialização de PCBs.

Histórico da legislação e normativas brasileiras relacionadas às PCBs

As principais legislações e normas nacionais relacionadas diretamente às PCBs no Brasil em ordem cronológica são:

- Portaria Interministerial MIC/MI/MME nº19, de 29/01/1981 - Proibiu a fabricação e comercialização de PCB;
- Portaria MINTER 157/1982, que proibiu o lançamento de efluentes contendo substâncias não-degradáveis de alto grau de toxicidade, entre as quais as PCBs, nas águas do Rio Paraíba do Sul;
- Instrução Normativa SEMA/STC/CRS nº 01/83 - Manuseio, Armazenamento e Transporte de PCB's e/ou resíduos contaminados com PCB's;
- ABNT NBR-8371/ 1984, 1997 e 2005 - Ascarel para transformadores e capacitores: Características e Riscos;
- ABNT/NBR 8840/1985, 1992 e 2013: Diretrizes para amostragem de líquidos isolantes;
- ABNT NBR 11.175/1990 que trata de incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho e estabelece EDR de 99,999% para PCB e dioxinas;
- ABNT NBR – 13882/1997, 2005, 2008, 2013 - Líquidos isolantes elétricos: Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB): Define a utilização da cromatografia gasosa nas

revisões de 2008 e 2013;

- Resolução Conama 316/2002: Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, aqueles cuja temperatura mínima seja de 800°C e tempo de residência maior que 1 segundo, estabelecendo para PCB a taxa de eficiência de destruição e remoção de 99,99%; Ela define como limite máximo de emissão de Dioxinas e Furanos: TEQ (total de toxicidade equivalente) da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina):
- 0,50 ng/Nm³;
- Decreto Legislativo nº 204/2004 – Aprova o texto da CE sobre POP, adotada em 22 de maio de 2001;
- Decreto Federal nº 5472/2005 – Promulga o texto da CE sobre POP, adotada em 22 de maio de 2001;
- Resolução ANP 36/2008 – que estabelece as especificações dos óleos minerais isolantes tipo A e tipo B, de origem nacional ou importada, comercializados em todo o território nacional, dentre as quais, estabelece que o teor de PCB deve ser não detectável, conforme ABNT NBR 13882. Esta resolução revogou a Resolução ANP 25/2005 que por sua vez revogou a Portaria DNC nº 46/94 – ambas também estabeleciam que o teor de PCB deveria ser não detectável;
- Resolução ANP 16/2009 - designa a NBR 8371/2005 como a norma a ser seguida para a alienação de óleos isolantes elétricos;
- Resolução ANP 19/2009 – estabelece os requisitos necessários à autorização para exercício da atividade de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado, e a sua regulação. Exigência de laboratório próprio para controle de PCB, entre outros;
- ABNT/NBR 16432/2016: Óleo mineral isolante – Determinação do teor de produtos clorados que contempla a análise por potenciometria, mas inclui a análise por colorimetria;
- Lei nº 14.250, de 25 de novembro de 2021, que dispõe sobre a eliminação controlada de materiais, de fluidos, de transformadores, de capacitores e de demais equipamentos elétricos contaminados por bifenilas policloradas (PCBs) e por seus resíduos.

Observa-se que o Brasil publicou parte significativa de sua regulamentação e normativas relacionadas às PCBs ainda na década de 80, se antecipando em relação à boa parte dos

países desenvolvidos.

Estimativa de destinação final ambientalmente adequada

Com objetivo de atualizar a estimativa de destinação final ambientalmente adequada de PCB realizada até o momento pelo Brasil, foi enviado um ofício para 8 empresas destinadoras localizadas no país (incineradoras a alta temperatura e descontaminadoras) e também para 2 empresas exportadoras. Até o dia 4/dez/2018, foram recebidas respostas de 6 empresas – WPA, Haztec, Ecovital, Denver, Saniplan e Koren. Das 4 empresas que não responderam, 3 haviam participado do levantamento realizado em 2012 (Cetrel, Tecori e Braskem), tendo sido consideradas as respostas enviadas naquela ocasião.

Além disto, foi feito um levantamento dos Relatórios Nacionais da Convenção da Basileia disponíveis em seu sítio eletrônico (BASEL CONVENTION, 2018 – relatórios de 2001 a 2017) quanto aos resíduos de PCB (código Y10) exportados pelo Brasil e também sobre os resíduos de PCB importados pelo Reino Unido da Grã Bretanha e Irlanda do Norte. Foi feita uma comparação entre os dados exportados, considerando o ano e o país de destinação, e as informações foram contabilizadas de forma a não considerar massas destinadas em duplicata.

A partir desse levantamento, as informações sobre destinação final de PCB realizadas pelo Brasil foram sintetizadas na Tabela 8 e apresentadas no gráfico da Figura 18. Assim, de 1991 a 2018 estima-se que houve uma destinação final ambientalmente adequada de 36.324 toneladas de resíduos de PCB, sendo que 21.518 toneladas foram destruídas no país e 15.159 toneladas foram exportadas.

Essa massa de PCB destruída corresponde não apenas à massa de fluido, mas também à massa de equipamentos e outros resíduos contaminados com PCB. Percebe-se, portanto, que tem havido esforços significativos de eliminação de PCB no país ao longo do tempo, mesmo antes da Convenção de Estocolmo.

Importante destacar também que esse quantitativo encontra-se subestimado, pois há empresas que não responderam a consulta ou responderam parcialmente e também houve destinação nas décadas de 1980 e 1990 que não foram incluídas neste levantamento.

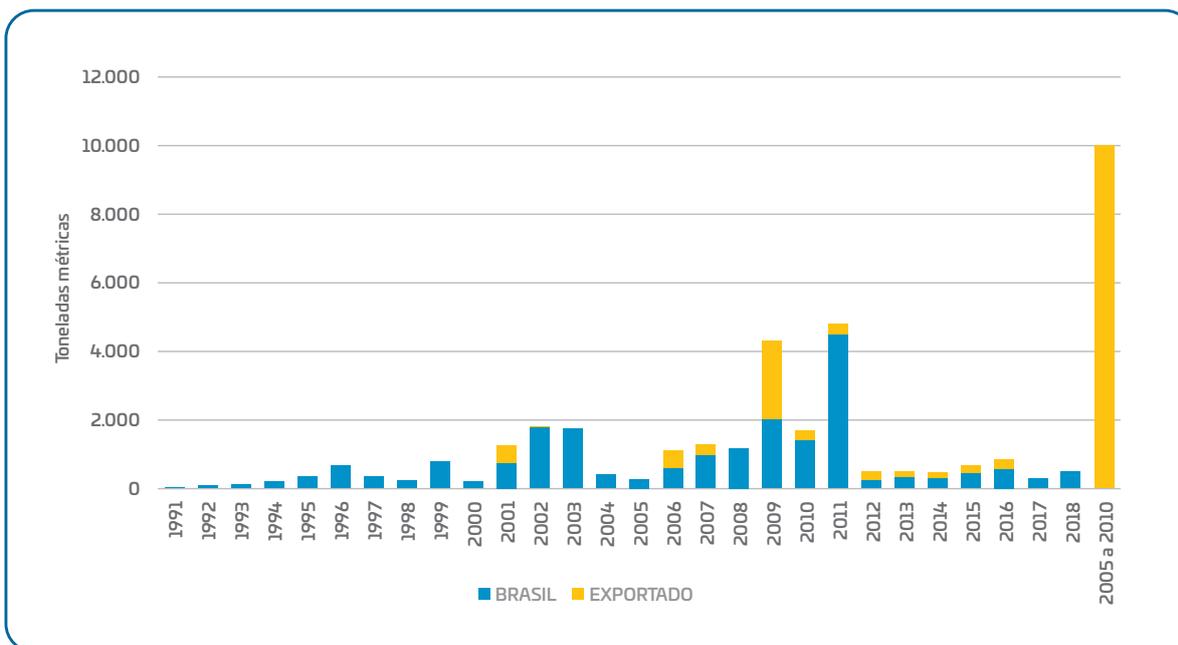
Tabela 8: Dados da estimativa de destinação de PCBs totais provenientes do Brasil em toneladas métricas, levantadas até dez/2018, por ano, de 1991 a 2018.

ANO	BRASIL	EXPORTADO	TOTAL
1991	35	0	35
1992	79	0	79
1993	113	0	113
1994	207	0	207
1995	344	0	344
1996	678	0	678
1997	347	0	347
1998	226	0	226
1999	781	0	781
2000	198	0	198
2001	753	503	753
2002	1.799	6	1.799
2003	1.760	0	1.760
2004	404	0	404
2005	283	0	283
2006	622	500	1.122
2007	992	300	1.307
2008	1.187	0	1.187
2009	2.018	2.300	4.318
2010	1.416	300	1.738
2011	4.517	300	4.872
2012	269	202	470
2013	333	116	449
2014	303	162	464
2015	471	172	642
2016	569	300	933
2017	307	0	307
2018	505	0	505
2005 a 2010	0	10.000	10.000
TOTAL DESTRUÍDO	21.518	15.159	36.324

*(BASEL CONVENTION, 2018)

Fonte: Próprio autor.

Figura 18: Estimativa de destinação de PCBs totais provenientes do Brasil (no país e exportados), levantadas até o momento, por ano, de 1991 a 2018.



Fonte: Próprio autor.

Considerações sobre a contaminação ambiental de PCBs no Brasil

Foi feito um levantamento de artigos científicos sobre contaminação ambiental de PCBs em diversas matrizes ambientais no Brasil (COSTA, 2016). De forma geral, foi possível observar que há poucas publicações; os dados disponíveis são fragmentados e não há estudos consolidados que avaliem a magnitude do problema com uma visão geral.

No entanto, os dados mais relevantes e abrangentes encontrados que avaliam a exposição da população brasileira (em termos de número de amostras, dispersão da coleta no território brasileiro e confiabilidade da comparação dos resultados nacionais com internacionais) foram os realizados como parte da 3ª e 5ª Rodada de Estudos de Exposição organizadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2002 e em 2011 a 2013 (Braga, 2003; Fiocruz, 2014). Nesses foram coletadas amostras nos bancos de leite humano em diferentes regiões do país que foram enviadas para um laboratório de referência da Alemanha.

Braga (2003) analisou 10 amostras compostas de um total de 100 amostras individuais de bancos de leite humano em 10 diferentes áreas em distintas regiões do país em 2002, sendo seus resultados apresentados no Anexo I. Concluiu-se que dos 24 países participantes do estudo, as concentrações encontradas no Brasil foram as mais baixas. Comparando-se os níveis de PCBs marcadores do Brasil da terceira rodada com os resultados de países integrantes da segunda rodada, realizada em 1992 e 1993, pode-se observar a mesma situação.

Em 2011 a 2013, Fiocruz (2014) realizou coleta em 15 bancos de leite humano da Rede

Brasileira de Bancos de Leite Humana com maior distribuição pelas diferentes regiões do país. O estudo, cujos resultados estão disponibilizados no Anexo I, demonstrou que, em geral, os níveis de POP em leite humano do Brasil podem ser considerados como um dos menores quando comparados aos níveis encontrados em outros países (Fiocruz, 2014).

A comparação com níveis de PCB indicadores encontrados em leite humano de outros estudos publicados nos últimos 7 anos também confirma que o Brasil configura entre as menores. Conclui-se que houve diminuição da exposição nesse período de 10 anos (2002 a 2012) e que a exposição da população geral brasileira deve ser consequentemente baixa (FIOCRUZ, 2014).

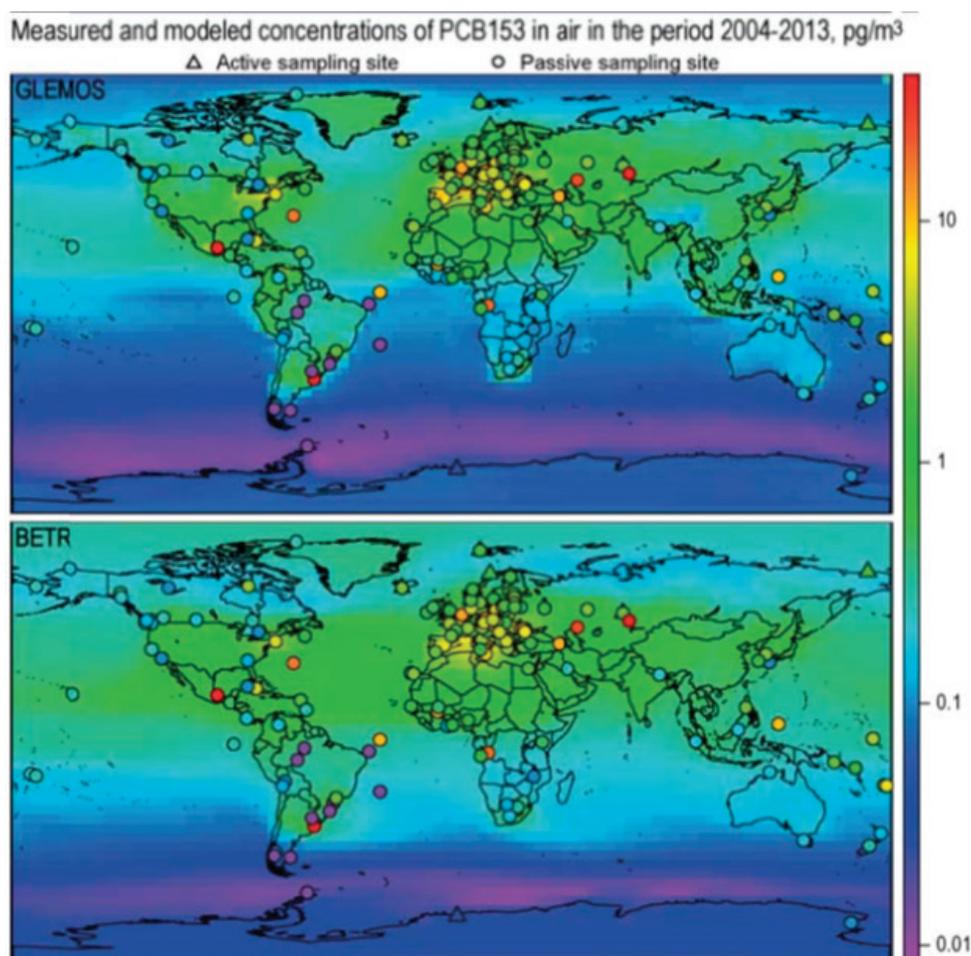
O Relatório Global de Monitoramento de POP, apresenta os resultados de monitoramento de PCB na matriz leite humano de diversos países, entre os quais se incluem dois resultados do Brasil. Assim, os resultados das duas rodadas de exposição da população geral brasileira (BRAGA, 2003; FIOCRUZ, 2014; STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS, 2017) indicam que a contaminação de leite materno por PCB no país deve estar entre as menores do mundo.

O Anexo I contém, também, os resultados estatísticos de medição de PCB em leite materno conforme dados disponibilizados pelo Plano de Monitoramento Global (Global Monitoring Plan – GMP Data Warehouse). Neste é possível visualizar o Brasil em relação a todos os monitoramentos aprovados ou validados pelo GMP do mundo, que corroboram estas conclusões.

Quanto aos resultados de PCB na matriz ar, também apresentados no Segundo Relatório Global de Monitoramento de POP, é importante considerar que há limitações nessas comparações, tendo em vista a falta de padronização de diversos parâmetros adotados, entre os quais destacam-se o próprio tipo de amostrador e de amostragem, a metodologia analítica, frequência de amostragem, forma de correção dos dados, etc.

A Figura 19 apresenta a mediana da concentração medida de PCB 153 no ar nos anos 2004 a 2013 (triângulos para sítios com amostragem ativa e círculos para sítios de amostragem passiva) comparando com as medianas das concentrações modeladas através do Glemos e do BETR Research.

Figura 19: Concentrações de PCB 153 no ar medidos e modelados pelo Glemos e BETR no período de 2004 a 2013, em pg/m^3



Fonte: STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS. 2017.

Os dois modelos apresentam descrições globais da concentração de PCB 153 na atmosfera e de forma geral concorda com os dados medidos. Para PCB 153, as maiores concentrações estão na Europa Central, Leste Europeu e Costa Leste dos EUA, que correspondem às áreas de maior uso histórico das PCBs.

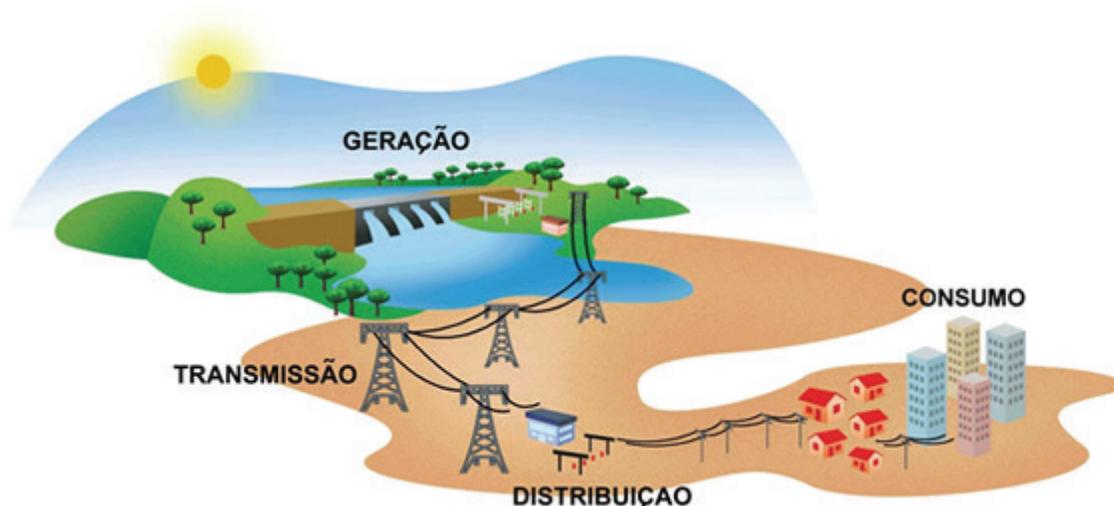
Também se observa que as concentrações no hemisfério norte são maiores que no hemisfério sul (STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS. 2017), o que também corresponde a utilização histórica das PCBs (97% no hemisfério norte e 3% no hemisfério sul - BREIVIK et al, 2002).

O Setor Elétrico Brasileiro

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é um sistema com características singulares, de dimensões continentais, de geração hidro-termo-eólico-solar de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. A energia elétrica gerada é transportada

em diferentes níveis de tensão pelo sistema de transmissão e de distribuição até chegar ao usuário final. A Figura 20 apresenta um esquemático dos principais segmentos da indústria de energia elétrica brasileira.

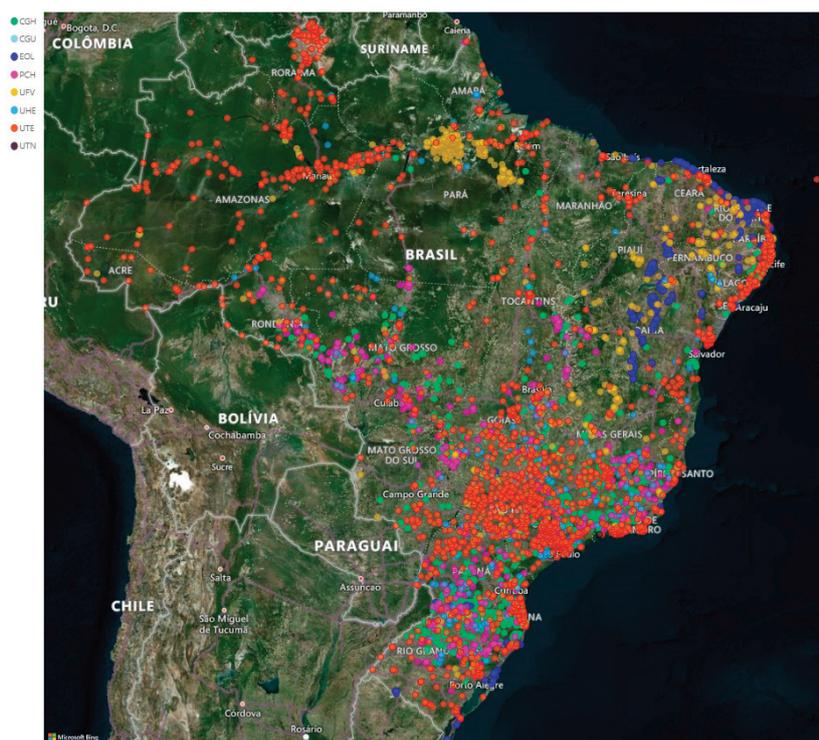
Figura 20: Visão geral dos principais segmentos da indústria de energia elétrica brasileira



Fonte: ABRADÉE, 2022.

O Brasil dispõe de um sistema gerador com capacidade instalada de mais de 191.000 MW (Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - jan/2022), composto por usinas hidrelétricas (predominantes), térmicas, eólicas e solares de grande porte distribuídos em todo o território nacional.

Figura 21: Capacidade de geração de energia existente no Brasil



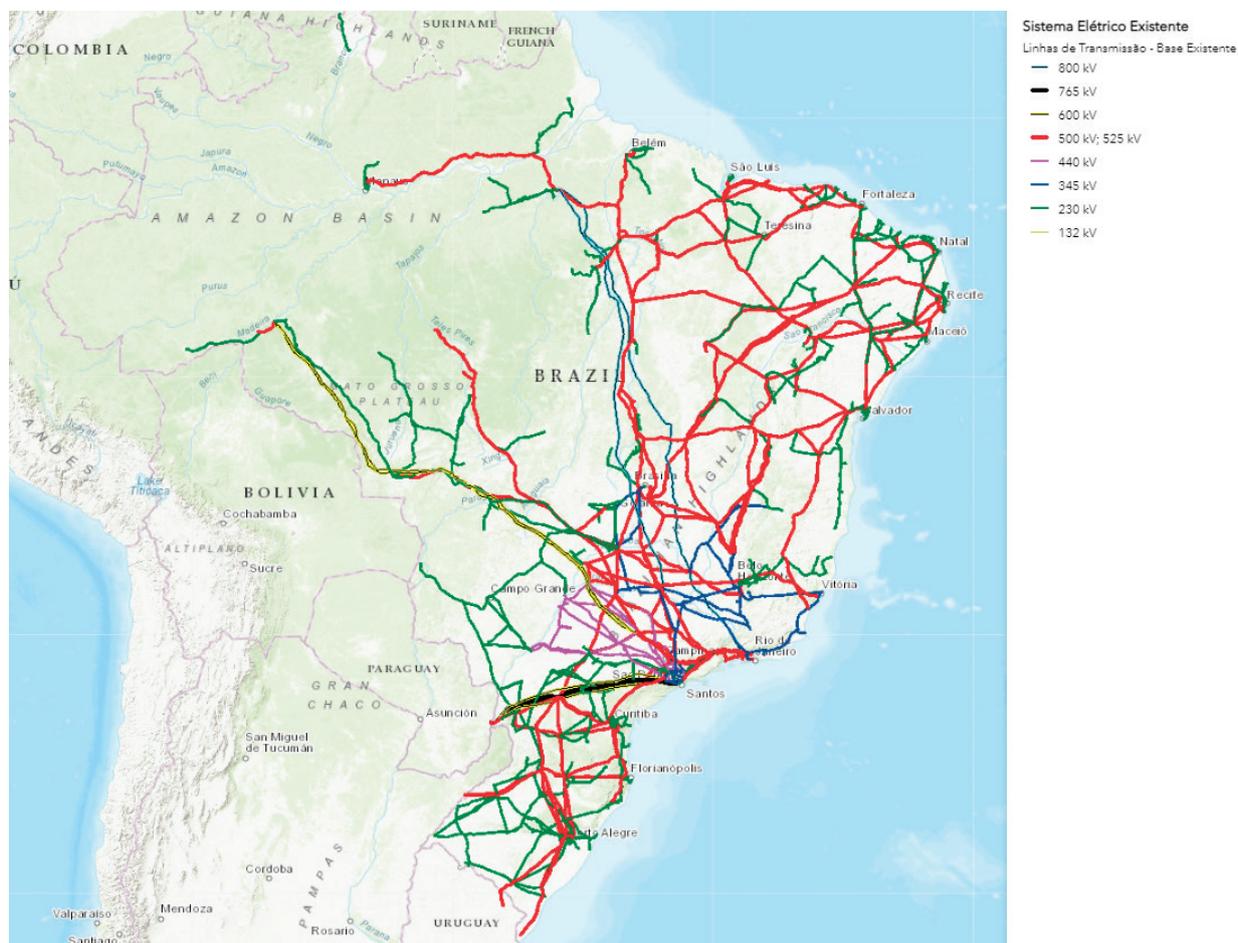
Fonte: Sistema de Informações de Geração da ANEEL, BRASIL, 2022

A maior parte do país é atendida por meio da rede interligada chamada de Sistema Interligado Nacional (SIN), composto pelos subsistemas Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

A interconexão de tais subsistemas, realizada por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia elétrica entre estes subsistemas. O sistema de transmissão transporta em longas distâncias grande quantidade de energia proveniente das usinas geradoras, sendo mais vantajoso seu transporte em elevado nível de tensão por apresentar menores perdas térmicas.

No Brasil, o Sistema Elétrico Brasileiro é formado por mais de 170.600 km de linhas de transmissão acima de 230 kV e 410.880 MVA de transformação em subestações (Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - jan/2022), como pode ser visualizado na Figura 22 e na Figura 23.

Figura 22: Linhas de transmissão existentes no Brasil



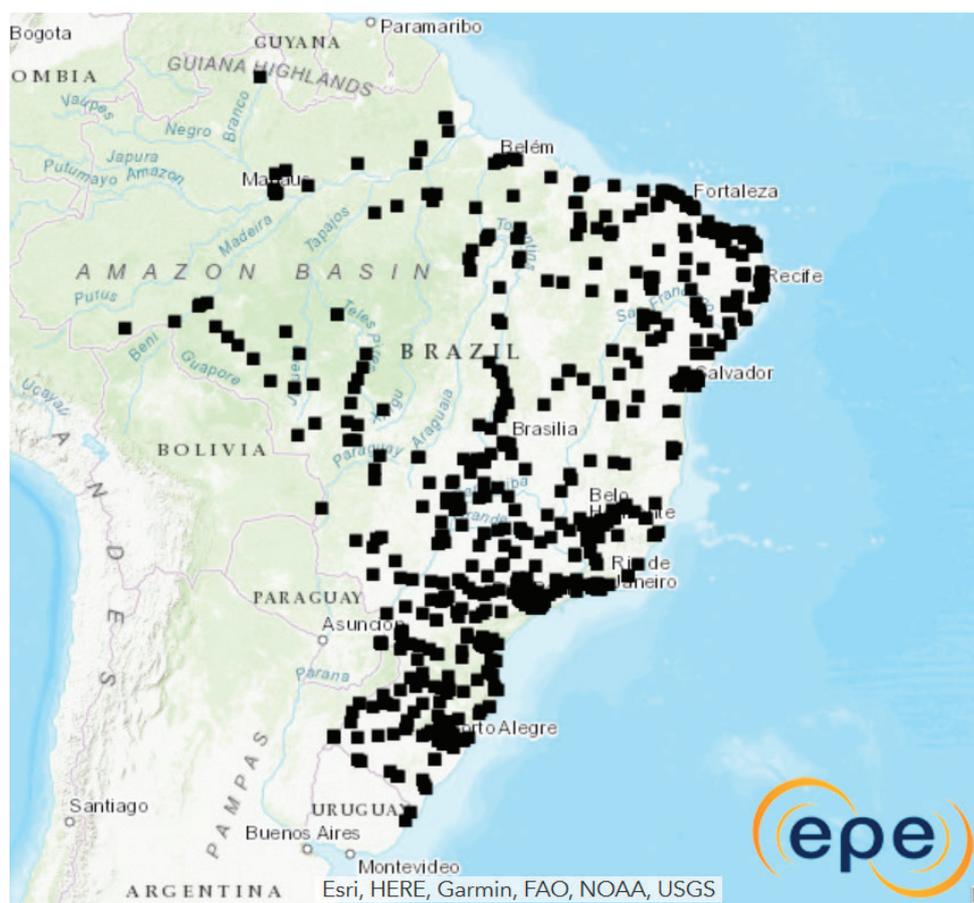
Fonte: WEBMAP EPE, BRASIL, 2022

Pela Figura 22, é possível observar que algumas regiões do Brasil ainda não estão interligadas ao SIN (Boa Vista, diversas comunidades no interior do Amazonas, Acre e Roraima ainda permanecem com atendimento isolado, sendo desta forma chamados sistemas isolados).

Estes podem ser visualizados na Figura 24, conforme disponibilizado no sítio eletrônico do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS - BRASIL, 2018b).

Adicionalmente, para viabilizar o uso industrial e doméstico, a tensão precisa ser reduzida, o que é feito pelo sistema de distribuição que leva energia de forma pulverizada para médios e pequenos consumidores em tensão inferior a 230kV.

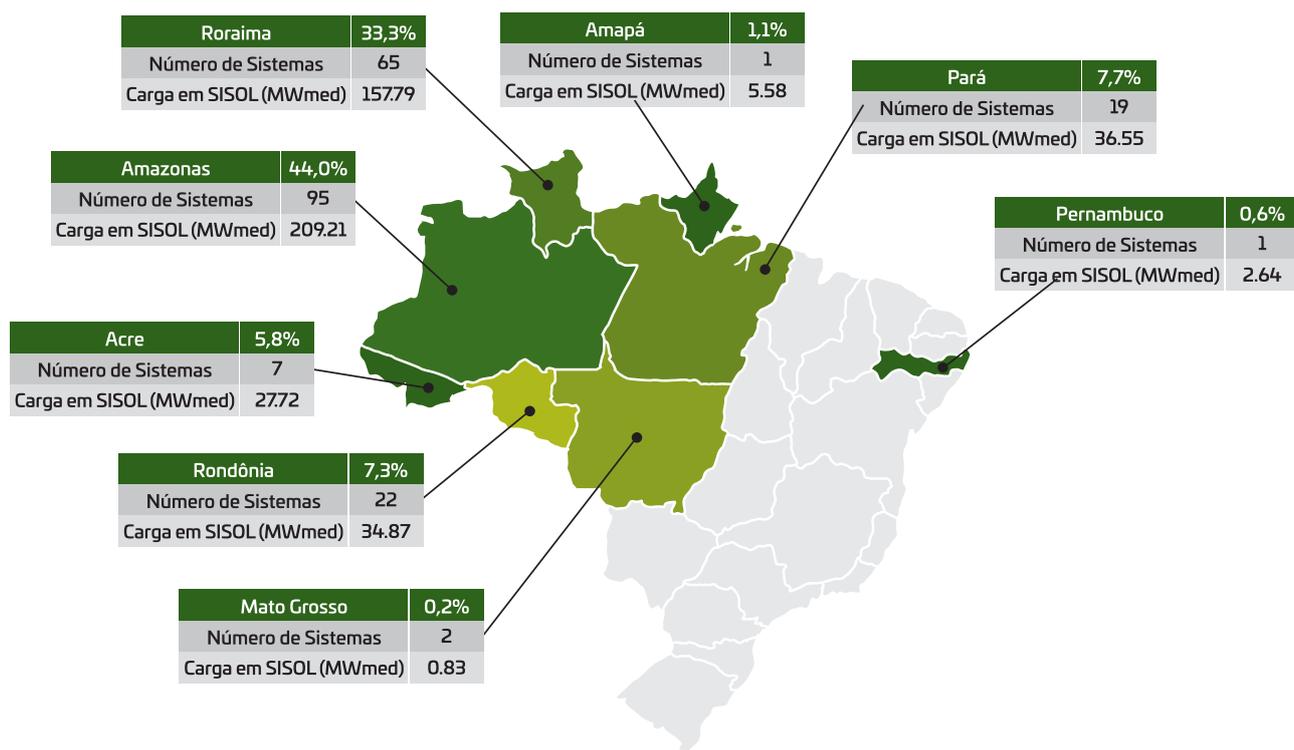
Figura 23: Subestações existentes no Brasil



Fonte: WEBMAP EPE, BRASIL, 2022

Pela Figura 23, é possível observar que algumas regiões do Brasil ainda não estão interligadas ao SIN. Roraima, além de diversas comunidades no interior do Amazonas, Pará, Acre, Amapá e Rondônia ainda permanecem com atendimento isolados. Estes podem ser visualizados na Figura 24, conforme consta nos documentos do Operador Nacional do Sistema Elétrico para o Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados.

Figura 24 - Sistemas Isolados



Fonte: PEN SISOL, ONS - BRASIL, 2021

Adicionalmente, para viabilizar o uso industrial e doméstico, a tensão precisa ser reduzida, o que é feito pelo sistema de distribuição que leva energia de forma pulverizada para médios e pequenos consumidores em tensão inferior a 230kV.

O sistema de distribuição de energia é aquele que se confunde com a própria topografia das cidades. É ramificado ao longo de ruas e avenidas para conectar fisicamente o sistema de transmissão, ou mesmo unidades geradoras de médio e pequeno porte, aos consumidores finais da energia elétrica. Assim, o sistema de distribuição é muito mais extenso, pois deve chegar aos domicílios e endereços de todos os seus consumidores, sendo o gerenciamento de seus equipamentos (que são muito mais numerosos) bem mais complexo que no sistema de transmissão e geração. As redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão.

- Alta Tensão (Subtransmissão): 138 e 69 kV e Demais Instalações de Transmissão (DITs);
- Média Tensão: 2,3kV a 44 kV – redes aéreas ou subterrâneas;
- Baixa Tensão: 110 a 440V do poste para a Unidade Consumidora;
- Milhões de equipamentos instalados.

O Brasil, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, conta em 2022 com mais de 88 milhões de “Unidades Consumidoras” (UC), termo que corresponde ao conjunto de instalações/equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor. Do total de UCs brasileiras, cerca de 85% são residenciais.

O Setor Elétrico Brasileiro presta um serviço de utilidade pública essencial sendo regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Esta agência normatiza as políticas e diretrizes estabelecidas pelo Governo Federal para o setor, fiscaliza a prestação do fornecimento de energia elétrica à sociedade, define as tarifas de energia, de acordo com o que está estabelecido em lei e nos contratos de concessão assinados com as empresas, entre outros.

Alterações de regulamentações que afetem o sistema elétrico podem afetar significativamente os contratos de concessão, assim, os impactos de qualquer proposta devem ser adequadamente avaliados.

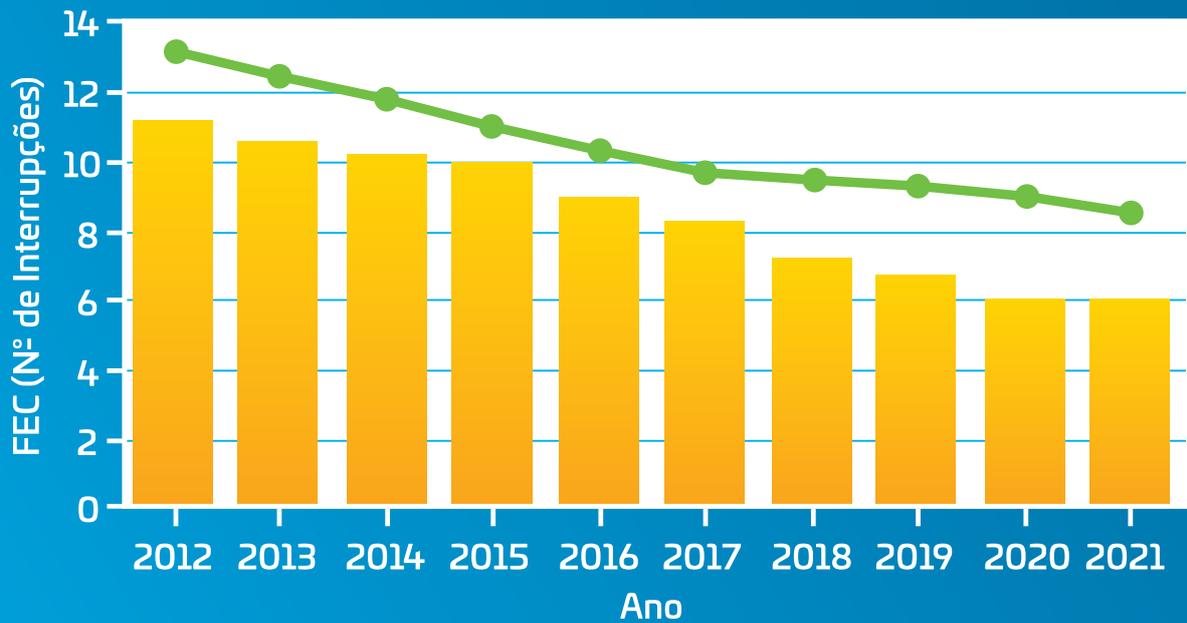
A regulação por incentivos foi iniciada pela Lei Geral de Concessões (Lei nº 8.987/95), mediante a qual as distribuidoras são incentivadas a se tornarem mais eficientes. Ao se analisar a evolução dos Índices de Qualidade de fornecimento de energia na Figura 26, nota-se a melhoria destes índices que também é acompanhada pelo aumento expressivo do número de consumidores nos últimos anos.

Figura 25: Evolução dos índices de qualidade de fornecimento de energia elétrica, sendo DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). (ANEEL, 2022)

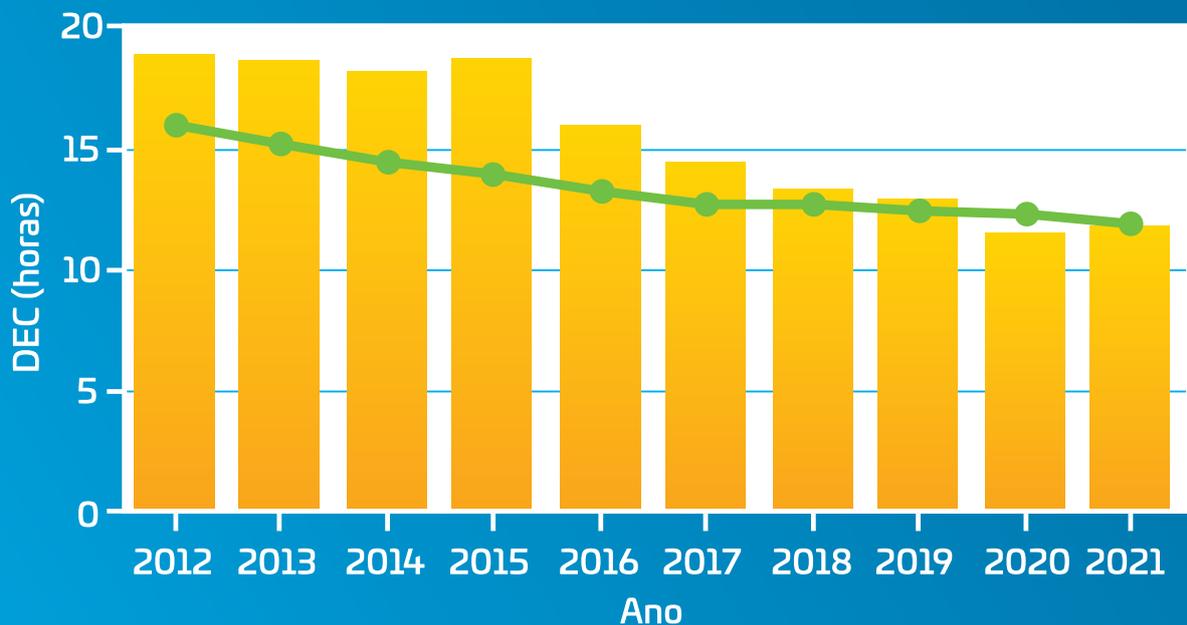
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
DEC APURADO (horas)	18,78	18,49	18,14	18,73	15,91	14,48	13,31	12,86	11,54	11,84
DEC LIMITE (horas)	15,87	15,19	14,61	13,95	13,33	12,79	12,75	12,53	12,29	11,96
FEC APURADO	11,17	10,60	10,14	9,93	8,93	8,27	7,17	6,68	6,06	5,98
FEC LIMITE	13,19	12,47	11,79	11,05	10,34	9,73	9,54	9,27	8,99	8,57
Nº DE CONSUMIDORES	71.143.243	73.280.998	74.852.272	76.682.080	78.346.829	80.095.446	81.595.678	82.943.588	84.546.110	86.391.973

Os indicadores são passíveis de alterações após fiscalização da ANEEL.

BRASIL CONCESSIONÁRIAS FEC ANUAL



BRASIL CONCESSIONÁRIAS DEC ANUAL



Fonte: ANEEL 2022

Considerando-se assim essas características singulares do SEB, quanto ao gerenciamento de PCB, recomenda-se que as prescrições do presente Manual sejam seguidas por todos os Estados da Federação, visando uniformidade de procedimentos e consistência das ações e dados a serem apresentadas para a Conferência das Partes.

Avaliação do histórico do gerenciamento de PCB no SEB e considerações sobre como viabilizar o atendimento a CE pelo SEB

Adicionalmente às características singulares do SEB, às particularidades dos diferentes segmentos desta indústria (Geração, Transmissão e Distribuição) e a seus grandes desafios regulatórios e de expansão, há de se considerar que há diversos tipos de equipamentos elétricos. Há, por exemplo, os transformadores de diferentes potências, variando de 25 kVA a mais que 400 000 kVA. Com isto, o volume de fluido isolante de cada equipamento pode variar enormemente (40L a mais de 140 000L), como pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26: Fotos de um transformador de potência em uma subestação de uma transmissora (A) e de um transformador de rede aérea (B) contendo 120 000 L e 60 L de óleo mineral isolante, respectivamente.



A



B

Como equipamentos de distribuição são para pequenas quantidades de energia (menores capacidades), enquanto os de geração e transmissão são normalmente para grandes quantidades de energia (maiores capacidades), os volumes de fluido isolante dos transformadores de rede de distribuição (média e baixa tensão) são significativamente menores que os de transmissão e geração.

Visando simular e verificar a aplicabilidade de critérios de gerenciamento de PCB no setor elétrico, foram realizados projetos demonstrativos em 3 companhias elétricas de diferentes regiões do país (Norte, Nordeste e Sul). Foram realizadas análises de 962 amostras sendo cerca de 320 amostras em cada companhia. Dentre as principais conclusões, destacam-se:

- foram encontradas proporções baixíssimas ou muito baixas de equipamentos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg;

- foram encontradas ocorrências pontuais e isoladas de equipamentos com teores de PCB maiores que 500 mg/kg.

Esses resultados eram esperados conforme o histórico nacional e indicam a efetividade do gerenciamento de PCB nestas empresas, com os instrumentos já existentes. Notou-se também que as empresas tem realidades distintas, sendo que o resultado depende do histórico de cada empresa e a forma com que as PCBs foram tratadas nelas.

Portanto, de fato não há uma estimativa atual da massa remanescente no SEB, a qual só será conhecida após a realização do inventário conforme os critérios estabelecidos por esse Manual. Mas, conforme o histórico de PCBs no SEB apresentado e o resultado dos projetos demonstrativos nestas 3 companhias elétricas, é razoável esperar que a maior parte das empresas do setor elétrico brasileiro também tenha proporções baixíssimas ou muito baixas de equipamentos com teores de PCB maiores ou iguais a 50 mg/kg. Assim, considerando-se que:

- o baixo risco ambiental do uso das PCBs em equipamentos elétricos, que é considerada uma aplicação não dispersiva;
- a pequena importação e utilização das PCB, a destinação final já realizada, a existência de estrutura legal e normativa deste a década de 80, e que há indicativo de que a exposição da população geral brasileira às PCBs está entre as menores do mundo, mesmo havendo poucos estudos sobre a magnitude da poluição ambiental das PCBs no país, infere-se que há um baixo risco ambiental histórico das PCBs no país;
- as diferenças entre equipamentos de distribuição e de transmissão e geração (número de equipamentos, volume de fluido de cada equipamento, facilidade ou não de amostragem do fluido);
- a grande quantidade de equipamentos elétricos existente no sistema elétrico brasileiro, a enorme extensão territorial do país, deverá haver grande dificuldade de se identificar a totalidade da massa remanescente das PCBs, que deve ocorrer em concentrações baixas, decorrente da regulamentação em vigor;
- a realidade sócio econômica nacional (país em desenvolvimento com inúmeros problemas e dificuldades sociais e econômicas).

Adicionalmente, além do princípio da Precaução, as partes signatárias da CE consideram (UNEP, 2010):

“(...) as capacidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, assim como das responsabilidades comuns mas diferenciadas dos Estados de acordo com o estabelecido no Princípio 7 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento; (...)

As circunstâncias e as necessidades especiais dos países em desenvolvimento, e a necessidade de fortalecer suas capacidades nacionais para a gestão das substâncias químicas;” (SECRETARIAT OF THE STOCKHOLM CONVENTION, 2010)

E a Política Nacional de Resíduos Sólidos tem dentre os seus princípios:

“III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

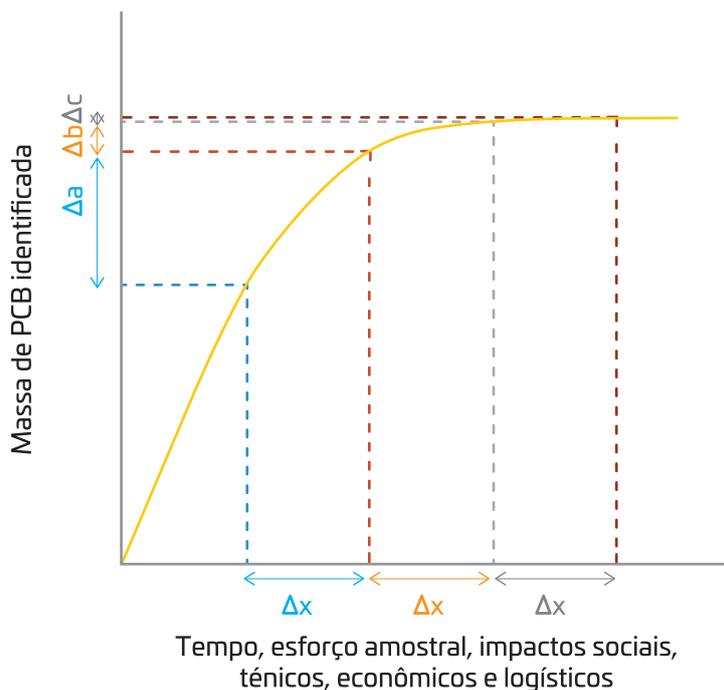
IV - o desenvolvimento sustentável; (...)

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.” (BRASIL, 2010)

Dessa forma, para viabilizar o atendimento a CE que prevê que as partes devem “agir de acordo com as seguintes prioridades”, “envidar esforços” ou “empenhar-se” para eliminar equipamentos contendo teores superiores a 50 mg/kg pelo SEB é necessário a adoção de critérios de inventário e gerenciamento de PCB que racionalizam o processo, priorizando o necessário, de modo a focar os esforços de eliminação em grupos com maior suspeita de contaminação. A adoção de estratégias de priorização de fato não elimina integralmente a totalidade das PCBs remanescente, mas viabiliza a eliminação do mais relevante (de maior suspeita de contaminação e, conseqüentemente, maior ganho ambiental).

A Figura 27 apresenta esquematicamente um modelo proposto que relaciona a massa de PCB identificada com tempo, esforços e impactos correspondentes. Nota-se que, a partir de um certo momento, esforços e impactos adicionais não produzem aumento significativo na massa de PCB identificada. Ou seja, essa curva se torna assintótica à medida que o inventário está se aproximando de sua conclusão e a descoberta de novos equipamentos contendo teores de PCB significativo torna-se cada vez mais difícil. Em outras palavras, aumentar grandemente os esforços e impactos não significa identificar massa significativa de PCB.

Figura 27: Esquema de modelo proposto que relaciona a massa de PCB identificada ao tempo, esforços necessários e impactos sociais, econômicos, técnicos e logísticos.



Fonte: Costa 2016.

Comportamento similar ao modelo proposto é observado nas curvas de descoberta de espécies que é um gráfico da frequência acumulada de espécies novas identificadas de um certo grupo taxonômico em uma certa região (BEBER et al, 2007). As curvas do tipo Creaming Curve, que relaciona a descoberta acumulada de petróleo (em volume) com o número acumulado de poços exploratórios (*new field wildcats*) de uma certa região também tem este tipo de comportamento assintótico. A adoção de critérios de priorização pode proporcionar, por tanto, uma relação adequada do ponto de vista da sustentabilidade entre massa de PCB identificada e os esforços e impactos sociais, técnicos, econômicos e logísticos necessários.

A estatística contempla um conjunto de técnicas desenvolvidas com a finalidade de auxiliar a responder, de forma objetiva e segura, situações que envolvem uma grande quantidade de informações. Quando, por questões diversas, não é possível ter acesso a todo o conjunto de dados, o uso da inferência estatística possibilita a extrapolação das informações obtidas a partir de um pequeno subconjunto de dados (amostra) a um grande conjunto de dados (população).

Assim, o uso de técnicas estatísticas, como testes de hipóteses, pode possibilitar a identificação de grupos com suspeita de contaminação com PCB a partir de uma análise amostral, de forma a diminuir os esforços e impactos necessários para identificação da massa remanescente. Adicionalmente, o histórico de gerenciamento de PCB no SEB e os resultados dos projetos demonstrativos indicam um baixo risco ambiental das PCBs no SEB, o que reforça que é razoável tecnicamente a adoção de critérios de priorização que minimizam o impacto à sociedade.

Assim, quanto ao gerenciamento de PCB pelo SEB, recomenda-se que as prescrições do presente Manual sejam seguidos por todos os Estados da Federação, visando uniformidade de procedimentos e consistência das ações e dados a serem apresentadas para a Conferência das Partes.

Outras regulamentações aplicáveis a produtos ou resíduos perigosos em geral

Outras regulamentações, não específicas de PCB, mas que são aplicáveis a resíduos sólidos perigosos e/ou produtos perigosos em geral, seguem listadas abaixo. Essa lista não é exaustiva e pode sofrer atualizações, devendo ser consideradas as versões mais atualizadas.

- Decreto Federal n. 96.044 / 1988 - Regulamento para Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos;
- Decreto Federal n. 875 / 1993 - Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito;
- Resolução Contran n. 91 / 1999 - Normas Gerais dos Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos;
- Lei Federal n. 12.305 / 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Decreto Federal n. 10936/2022 - Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010;
- Resolução CONAMA n. 452 / 2012 - Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Revoga a Resolução CONAMA n. 23 / 1996 - Dispõe sobre o Movimento Transfronteiriço de Resíduos, entre outras;
- Resolução ANTT n. 5947/2021 – Atualiza o Regulamento de Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, aprova as suas Instruções Complementares, e dá outras providências.
- Norma ABNT/NBR 12.235/92 - Armazenamento de Resíduos Perigosos - Classe I;
- Norma ABNT/NBR 11.175/90 - Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de desempenho;
- Norma ABNT/NBR 13.221/2021 - Transporte Terrestre de produtos perigosos - Resíduos;

- Norma ABNT/NBR 7.500/2021 - Identificação para o Transporte Terrestre, Manuseio, Movimentação e Armazenamento de Produtos;
- Norma ABNT/NBR 7.501/2021 - Transporte Terrestre de Produtos Perigosos – Terminologia;
- Norma ABNT/NBR 7.503/2020 - Transporte Terrestre de Produtos Perigosos -- Ficha de Emergência – Requisitos mínimos;
- Norma ABNT/NBR 9.735/2020 - Conjunto de Equipamentos para Emergências no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos;
- Norma ABNT/NBR 14.619/2021 - Transporte Terrestre de Produtos Perigosos- Incompatibilidade Química.

APÊNDICE IV – FUNDAMENTOS DO CÁLCULO DO TAMANHO DE AMOSTRA E TESTE Z DE PROPORÇÃO

Conforme Levine et al (2008) e Montgomery et al (2004), o tamanho da amostra para proporção unilateral (unicaudal) para um erro (e) especificado é dado pela Eq.1. Quando o resultado da fórmula for um valor fracionado, deve-se arredondar o resultado para cima.

Equação 1

$$n = \frac{Z_{\text{crítico}}^2 \cdot \pi \cdot (1 - \pi)}{e^2}$$

Onde:

π = proporção da população;

e = erro de amostragem aceitável;

$Z_{\text{crítico}}$ = valor crítico da distribuição normal padronizada, calculado a partir do nível de confiança desejado ($1-\alpha$);

n = tamanho mínimo da amostra.

Assim, uma amostra aleatória de tamanho n foi retirada de uma grande população, sendo que X observações nesta amostra pertencem a uma classe de interesse. Então, $pobs=X/n$ é um estimador de proporção π da população. Note que π é um parâmetro de distribuição binomial. A distribuição amostral $pobs$ é aproximadamente normal com média π e variância $\pi(1-\pi)/n$, se X ou $(n-X)$ for maior ou igual a 5. Quando se faz inferências sobre a proporção, o tamanho da amostra é suficientemente substancial para atender às condições necessárias para utilização da aproximação normal.

O teste de hipóteses geralmente se inicia com algum tipo de teoria, declaração ou assertiva sobre um determinado parâmetro de uma população. A hipótese nula (H_0) representa o status quo, ou aquilo que se acredita no momento, em uma determinada situação. Sempre que uma hipótese nula é enunciada, uma hipótese alternativa (H_a) é também especificada, pois esta corresponde ao oposto da hipótese nula.

O teste Z para a proporção avalia a diferença entre a proporção da amostra, $pobs$, e a proporção

da população especificada na hipótese, p_0 (LEVINE et al, 2008 e MONTGOMERY et al, 2004).

Para teste unilateral (unicaudal) as hipóteses nulas e alternativas podem ser:

$$H_0: \pi \leq p_0$$

$$H_1: \pi > p_0$$

A estatística do teste z para proporção é dada pela Eq. 2:

Equação 2

$$Z_{obs} = \frac{p_{obs} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$$

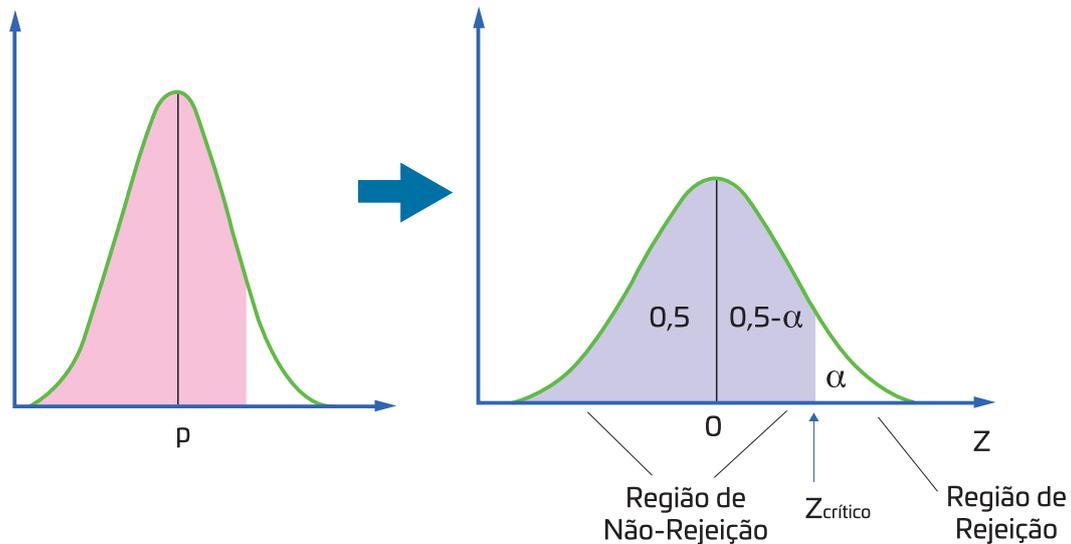
Se o resultado do teste indicar rejeição da hipótese nula, há evidência estatística de que a hipótese alternativa está correta. Se o resultado do teste de hipótese indicar a não rejeição da hipótese nula, não há evidência estatística para comprovar a hipótese alternativa.

No caso das hipóteses nula e alternativa especificadas anteriormente, o critério de rejeição da hipótese nula é:

$$Z_{obs} > Z_{crítico}$$

A Figura 28 representa esquematicamente o teste unicaudal (unilateral) para a proporção.

Figura 28: Teste z de hipóteses para proporção, unicaudal, com nível de confiança $(1-\alpha)$



Fonte: Adaptado de Levine et al., 2008.

Importante também compreender o conceito de risco na tomada de decisão utilizando metodologia do teste de hipóteses. Há dois tipos de erros quando se utiliza teste de hipóteses:

- um erro tipo I ocorre caso você rejeite a hipótese nula, H_0 , quando ela é verdadeira e não deve ser rejeitada. A probabilidade de ocorrência de um erro do Tipo I é representada por α ;
- um erro tipo II ocorre caso você não rejeite a hipótese nula, H_0 , quando ela é falsa e deve ser rejeitada. A probabilidade de ocorrência de um erro do Tipo II é representada por β .

O Quadro 4 apresenta esquematicamente a situação real em relação a decisão estatística, podendo-se visualizar as situações em que é feita a decisão correta ou quando pode ocorrer um Erro tipo I ou tipo II.

Quadro 4: Relação entre situação real e a decisão estatística tomada, conforme o teste de hipóteses

SITUAÇÃO REAL		
Decisão estatística	H_0 verdadeira	H_0 falsa
Não rejeitar H_0	Decisão correta Confiança = $(1-\alpha)$	Erro tipo II $P(\text{Erro tipo II}) = \beta$
Rejeitar H_0	Erro tipo I $P(\text{Erro tipo I}) = \alpha$	Decisão correta! Eficácia = $(1-\beta)$

Fonte: Levine et al, 2008.

A seguir é apresentado um texto teórico sobre qual a melhor estratégia a ser adotada caso se deseje evitar um erro tipo II.

“Assim, para um determinado tamanho de amostra, você deve levar em consideração a relação de troca entre ganhos e perdas em relação aos dois possíveis tipos de erro. Uma vez que você pode diretamente controlar o risco do erro do Tipo I, você pode reduzir esse risco selecionando um valor menor para α . (...) No entanto, quando você reduz α , você faz crescer β , reduzindo assim o risco de um erro do Tipo I, resultando em um maior risco de um erro do Tipo II. No entanto, se você deseja reduzir β , você poderia selecionar um valor mais alto para α . Por conseguinte, se for importante tentar evitar um erro Tipo II, você pode selecionar α igual a 0,05 ou 0,10, em vez de 0,01” (LEVINE et al, 2008).

Assim, se for importante minimizar o erro tipo II, conforme o teste unilateral (unicaudal) aplicado, deve-se seguir essa recomendação teórica de Levine et al (2008).

APÊNDICE V – MÉTODOS DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PCB

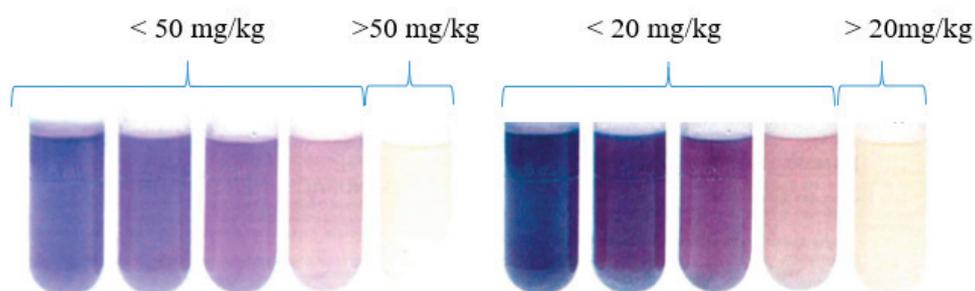
Teste de detecção de nível de PCB por kit colorimétrico

No teste de detecção de nível de PCB através de um kit colorimétrico, a contaminação é indicada pela coloração da mistura preparada. Foram identificados dois kits comercializados pela Dexsil Corporation: um para detecção de teores de PCB superiores a 50 mg/kg e outro para teores superiores a 20 mg/kg. Nesses kits, a amostra de óleo reage com sódio metálico catalisada por naftaleno e diglima (1-Metoxi-2-(2-metoxietoxi)etano - $C_6H_{14}O_3$) em temperatura ambiente.

Esse processo remove os halogênios de compostos halogenados (incluindo o cloro das moléculas de PCB e de outros compostos clorados), produzindo haletos de sódio (incluindo cloreto de sódio). Esses sais são, então, extraídos para uma fase aquosa, sendo adicionado nitrato de mercúrio e solução de difenilcarbazona ($C_{13}H_{12}N_4O$) que age como indicador (EUA, 1996 e FINCH e LAVIGNE, 1990).

A cor resultante indica a concentração de PCB, que considera o padrão Aroclor 1242, que tem baixo teor de cloro quando comparado às demais misturas comerciais utilizadas como óleo isolante, o que torna o resultado maior que o real, podendo ser considerado conservativo, ou seja, adequado do ponto de vista ambiental e válido como teste de triagem. A Figura 29 apresenta as diferentes colorações obtidas por este método.

Figura 29: Colorações das misturas finais para detecção do nível de PCB através dos kits colorimétricos da empresa Dexsil (Clor-n-oil 50 e Clor-n-oil 20).



Fonte: Adaptado de DEXSIL, 2014 e DEXSIL, 2006.

Um teste realizado com mais de 200 000 equipamentos foi realizado, sendo os resultados de 937 destes comparados com cromatografia gasosa. Concluiu-se que esse método pode ser utilizado para classificação de equipamentos em não PCB (abaixo de 50 mg/kg) com 99% de confiança. Esse teste é realizado em menos de 10 minutos (EUA, 1996).

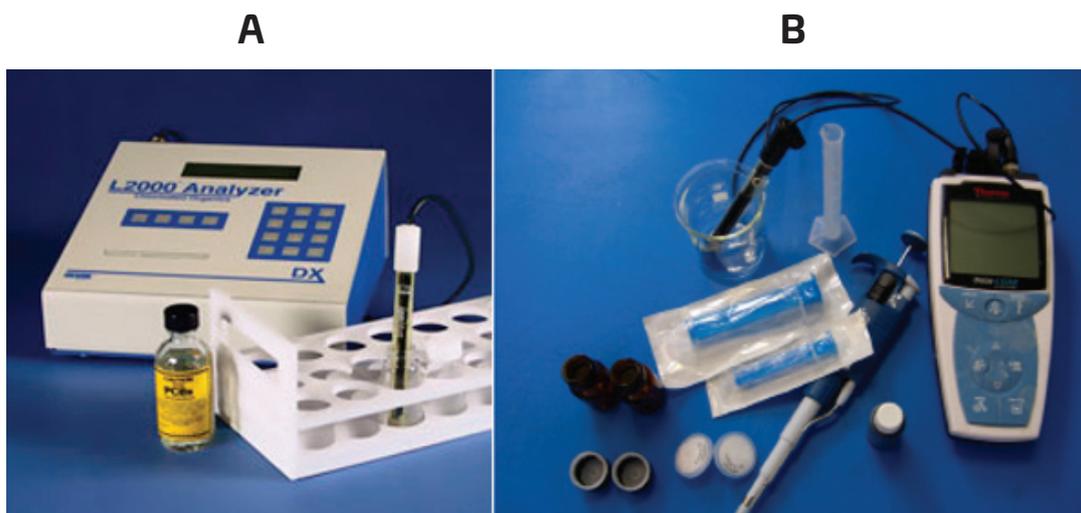
Teste de detecção de nível de PCB a partir de eletrodo seletivo de cloro

No método do eletrodo seletivo de cloro, similarmente ao que ocorre no teste de detecção de nível de PCB através de kit colorimétrico, a amostra de óleo contendo átomos de cloro reage com sódio metálico e catalisador, sendo o produto (NaCl) então extraído por solução aquosa, com ajuste de pH e inertização do excesso de sódio, não sendo específico somente para PCB também. A fase aquosa é decantada e coletada tendo o teor de PCB determinado potenciometricamente pelo eletrodo específico de cloreto, que também considera o padrão Aroclor 1242, sendo adequado como método de triagem, pelos mesmos motivos que expostos para o kit colorimétrico.

Como a metodologia determina a quantidade de cloro na amostra, as interferências principais são oriundas de qualquer produto clorado, orgânico ou inorgânico, que tenha tido contato com a amostra. Qualquer composto clorado será dosado como cloreto pelo método utilizado. Produtos de oxidação do óleo isolante não interferem no ensaio. Qualquer cloro presente na amostra deve ser quantificado como PCB, possivelmente fornecendo resultado falso-positivo (ABNT, 2016).

A Figura 30 apresenta fotos dos analisadores comercializados por estas empresas. O analisador disponibilizado pela Dexsil Corporation também pode ser utilizado para análise de PCB em água, solo e superfícies impermeáveis.

Figura 30: Fotos dos analisadores de nível de PCB pelo método do eletrodo seletivo de cloro das empresas Dexsil Corporation (A) e Sea Marconi Technologies (B).



Fonte: DEXSIL, 2015 e SEA MARCONI TECHONOLOGIES SAS, 2013.

Esse teste foi apresentado como sendo mais preciso que o teste por kit colorimétrico, mais rápido e barato que a análise cromatográfica (SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION, 2003).

O método disponibilizado pela Dexsil Corporation foi apresentado no Guidelines for the identification of PCB and materials containing PCB (INTER-ORGANIZATION PROGRAMME FOR THE SOUND MANAGEMENT OF CHEMICALS, 1999) e foi também validado pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Esta conduziu um teste de verificação, concluindo que o método pode ser considerado imparcial e preciso, (EUA, 2001), não tendo sido detectados falsos negativos.

Teste de detecção de nível de PCB por cromatografia

Na determinação de PCB por cromatografia gasosa (Gas Chromatography – GC), de modo geral, o óleo é diluído (50 a 100 vezes) em solvente e tratado com ácido ou adsorvente para remover interferências, sendo então separados por cromatografia e detectados por sensores. As tecnologias mais utilizadas para análise de PCB em óleo são o Espectrômetro de massa (Mass Spectrometry - MS) e detector por captura de elétrons (Electron Capture Detection - ECD) – o último mais comumente utilizado.

O Quadro 5 apresenta dados das edições das metodologias analíticas aceitas internacionalmente e no país para determinação de PCB em óleo por cromatografia gasosa. No Brasil, até a publicação da norma nacional em 1997, utilizava-se a norma ASTM D4059 (SÁ E MARTINS, 2013) como referência.

Quadro 5: Relação das normas utilizadas para determinação de PCB em óleo por cromatografia gasosa

METODOLOGIAS ANALÍTICAS
ASTM D4059 - Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography
DIN 51527 - Testing of petroleum products; determination of polychlorinated biphenyls (PCB); Preseparation by Liquid Chromatography & Determination of Six Selected PCB Compounds by Gas Chromatography using an electron capture detector
IEC 61619 - Insulating Liquids - Contamination by Polychlorinated Biphenyls (PCB) - Method of Determination by Capillary Column Gas Chromatography
BS EN 12766/1 - Methods of Test for Petroleum and Its Products. Petroleum Products and Used Oils. Determination of PCB and Related Products. Separation and Determination of Selected PCB Congeners by Gas Chromatography (GC) Using an Electron Capture Detector (ECD)
ABNT NBR 13882 - Líquidos isolantes elétricos - Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB)

Fonte: Adaptado de SÁ E MARTINS, 2013.

Além de variações nos métodos de análise por cromatografia gasosa, destacam-se duas formas de cálculo do teor de PCB. O método A da norma BS 12766-2 (BRITISH STANDARD, 2001) que é idêntico a da norma da International Electrothechnical Commission - IEC 61619 (1997) consiste na soma da contribuição de todos os congêneres. Como alguma sobreposição

de picos pode ocorrer, são consideradas proporções de coeluição de congêneres em cada pico, havendo duas tabelas com fatores de resposta previstos pela literatura. Já o método B da norma BS 12766, minimiza o potencial de interferências, considerando um fator que multiplica a soma de 6 congêneres mais abundantes na maioria das misturas de PCB.

Comparação entre os métodos de análise de PCB em óleo

Os métodos de análise através de kit colorimétrico e pelo método do eletrodo seletivo de cloro (ambos previstos na ABNT NBR 16432) foram recomendados nos inventários dos seguintes países: África do Sul, Botswana, Colômbia, Estados Unidos, Equador, Honduras, Irlanda, Peru e Vietnã.

Finch e Lavigne (1990) compararam os demais métodos de análise de PCB em óleo e em solo, concluindo que os testes de detecção do teor de PCB por kit colorimétrico e a partir de eletrodo seletivo de cloro são preferíveis quando é mais importante a velocidade, custo e simplicidade. A análise a partir do eletrodo seletivo de cloro tem a vantagem de resultar em um valor numérico, e de ser mais simples de ser realizada quando comparada a análise cromatográfica quando há um grande número de compostos de cloro presentes. Além disso, é reportado que os dois primeiros métodos podem resultar em falsos positivos, mas não apresentam falso negativos. O Quadro 6 apresenta o comparativo com as principais vantagens e desvantagens de cada método.

Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos testes de detecção do teor de PCB por kit colorimétrico, a partir do eletrodo seletivo de cloro e cromatografia gasosa.

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Kit colorimétrico	<p>Simples, baixo custo, requer operador relativamente pouco treinado, sem investimento inicial.</p> <p>Pode ser usado em campo, portátil;</p> <p>Sem falso negativo.</p>	<p>Não fornece um valor numérico de concentração;</p> <p>Inclui todos os clorados como PCB;</p> <p>Pode haver falso positivo.</p>
Eletrodo seletivo de cloro	<p>Simples, baixo custo relativo;</p> <p>Requer um técnico habilitado;</p> <p>Sem falso negativo;</p> <p>Fornece um valor numérico de concentração de PCB;</p> <p>Baixo investimento inicial;</p> <p>Baixo limite de detecção.</p>	<p>Requer um operador com experiência;</p> <p>Não pode ser facilmente usado em campo;</p> <p>Inclui todos os clorados como PCB;</p> <p>Pode dar falso positivo;</p> <p>Baixo investimento inicial</p>
Cromatografia gasosa	<p>Método mais acurado e preciso;</p> <p>Mede a concentração específica de PCB, baixo limite de detecção;</p> <p>Poucos falso positivos;</p> <p>Especificado por algumas agências reguladoras.</p>	<p>Alto investimento inicial, requer um operador extremamente qualificado;</p> <p>Tempo de análise longo, comparativamente;</p> <p>Difícil de ser usado em campo;</p> <p>Maior custo, problemas de precisão, interferência do óleo e seus compostos de degradação.</p>

Fonte: Adaptado de FINCH e LAVIGNE, 1990.

Di Sessa et al (2015) avaliaram os ganhos econômicos na adoção de metodologias de triagem (que são as análises de determinação do teor de clorados - pelo método do eletrodo seletivo de cloro ou análise por kit colorimétrico).

Conforme licitações realizadas em 2014 e 2015, uma análise potenciométrica custa quase 4 vezes menos do que uma análise cromatográfica sendo que esta diferença tende a aumentar no caso da revisão da norma ABNT NBR 13882 (pode vir a ser tornar mais onerosa) e a questão do aumento da demanda e limitação da oferta dependendo das exigências da regulamentação sobre PCB que vier a ser aprovada. Conclui-se que há uma economia significativa ao consumidor brasileiro considerando-se que 17% das amostras analisadas pelo método potenciométrico apresentaram valores acima de 50 mg/kg de clorados totais e necessitam ser novamente ensaiadas via cromatografia para confirmação da contaminação.

EXEMPLO DE FICHA DE EMERGÊNCIA (CONFORME AABNT NBR 7503:2020) PARA TRANSPORTE DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS CLASSIFICADOS COMO CONTAMINADO COM PCB E/OU PCB (MODELO OPCIONAL)

FICHA DE EMERGÊNCIA		
Expedidor: Endereço: Tel:	Nome apropriado para embarque Bifenilas policloradas, líquidas (contaminado com PCB)*	Número de risco: 90 Número da ONU: 2315 Classe ou subclasse de risco: 9 Descrição da classe ou subclasse de risco: Substâncias e artigos perigosos diversos Grupo de embalagem: II
Aspecto:	Líquido amarelado e oleoso com odor característico. Incompatível com as subclasses 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6, (exceto subclasse 1.4, compatível com grupo de compatibilidade S). Não é permitido o transporte conjunto com quaisquer objetos ou artigos para uso ou consumo humano ou animal e suas embalagens.	
EPI de uso exclusivo para equipe de atendimento à emergência: Óculos de ampla visão, luvas de PVC, botas de PVC, macacão TYVEK com pés e capuz e capacete. Caso esteja em alta temperatura ou ambientes confinados: mesmos EPI acima, acrescentando-se “máscara de face inteira” contra gases tóxicos provida de equipamento de respiração autônoma. O EPI do motorista está especificado na ABNT NBR 9735.		
RISCOS		
Fogo:	Não é inflamável, embora a temperaturas acima de 60°C emita vapores altamente tóxicos. Pode queimar, mas não se inflama de imediato.	
Saúde:	O produto pode causar desordens funcionais ou mutações morfológicas após exposição repetida e prolongada e/ou pode se acumular no corpo humano.	
Meio Ambiente:	Produto perigoso para o meio ambiente e altamente tóxico para organismos aquáticos. No longo prazo pode ter efeitos negativos no ambiente aquático.	
EM CASO DE ACIDENTE		
Vazamento:	Durante manuseio, os EPI indicados deverão ser utilizados. Avalie situação para definir prioridades de ações a seguir: Sinalizar e isolar a área; Eliminar fontes de calor e ignição; utilize barreiras para contenção, limpe o local com materiais absorventes; acondicionar e destinar os resíduos conforme regulamentação vigente; não usar solventes (gasolina, nafta, thinner etc.)	
Fogo:	Em caso de envolvimento de fogo, ou em locais com temperatura acima de 60°C, devem-se usar máscaras de proteção respiratória autônoma. O combate ao fogo não deve utilizar água, já que isso causaria a dispersão das PCB por toda a região afetada. Todo sistema de combate a incêndios deve ser baseado em extintores à base de CO ₂ ou pó químico seco.	
Poluição:	Caso o produto atinja cursos d'água, devem ser avisadas as autoridades locais de abastecimento de água. Avisar a população ribeirinha para que não utilizem a água, até permissão dos órgãos competentes. Se houver óleo sobrenadante, utilizar barreiras flutuantes para impedir avanço da mancha e materiais absorventes hidrofóbicos para recolhimento do resíduo.	
Envolvimento de pessoas:	Em caso de contato com líquidos com teor de PCB maior ou igual a 50 mg/kg e/ou seus vapores, sugerem-se os procedimentos a seguir, devendo-se avaliar necessidade de procurar assistência médica, após estas primeiras medidas, especialmente quando houver aspiração ou ingestão: - contato com pele – Retirar roupas contaminadas, se houver. Lavar com água em abundância - contato com os olhos – Remover lentes de contato, se houver. Lavar com água corrente em abundância, com olhos bem abertos, por no mínimo 15 minutos. - inalação – Respirar ar fresco. - ingestão – Procurar assistência médica. Induzir vômito apenas se recomendado pelo médico. Não dar nada para ingestão para um pessoa inconsciente, exceto se autorizado por um médico	
Informações ao médico:	Informar o estado da vítima e o grau de exposição ao resíduo. O produto é carcinogênico. Realizar o tratamento conforme sintomas da vítima.	
Observações:	Todos os resíduos removidos devem ser destinados como contaminados com PCB de modo ambientalmente adequado. Após o manuseio de PCB, antes de qualquer refeição e uso de instalações sanitárias, rosto, mãos e braços devem ser lavados com água em abundância. É desaconselhável o uso de solventes, detergentes ou abrasivos (areia, sabões especiais, etc).	

*Ver exemplos de nomes apropriados para o embarque no item 14.

A ficha pode conter no seu verso ou após o conteúdo anterior:

TELEFONES DE EMERGÊNCIA:

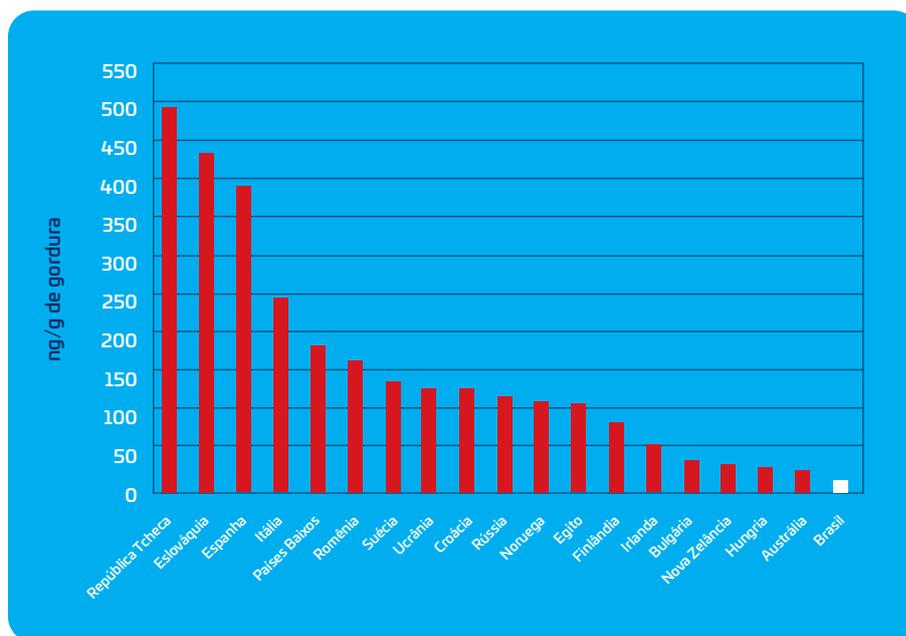
- Corpo de bombeiros: 193
- Polícia: 190
- Defesa civil: 199
- Polícia rodoviária federal: 191
- Telefones de emergência de órgãos de informações centralizadas:
- Órgãos de meio ambiente estadual (ao longo do itinerário):

ANEXO I - MEDIÇÃO DE *DIOXIN-LIKE* PCB E DE PCB INDICADORES EM LEITES MATERNOS

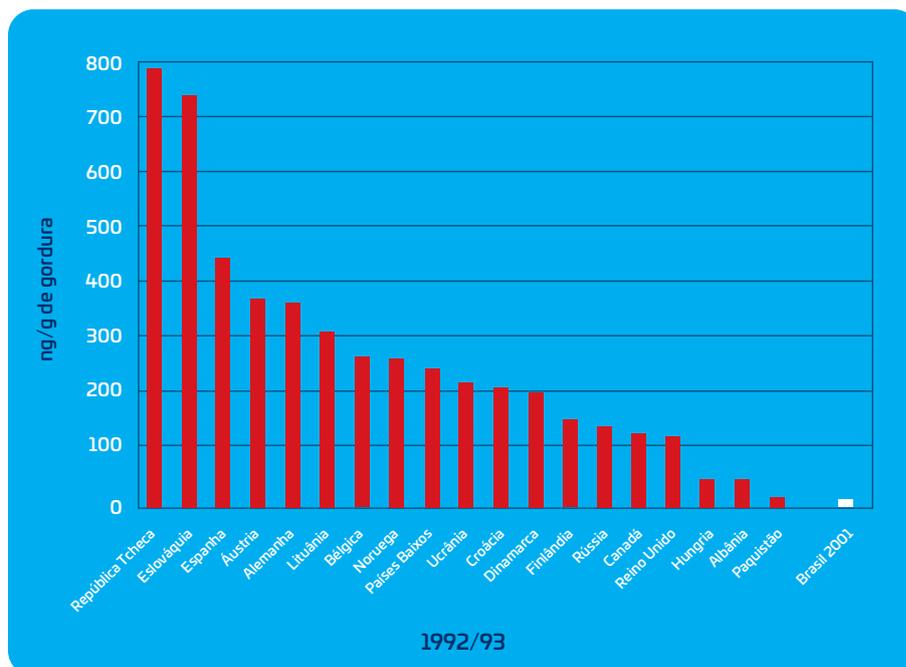
Como explanado no Apêndice III, a seguir são apresentados os resultados dos estudos de medição de PCB em leite materno realizados por: Braga (2003) - Figura 31; e Fiocruz (2014) - Figura 32.

Figura 31: Mediana dos níveis de PCB marcadores em ng EQT-OMS/g de gordura em amostras de leite humano de população geral do Brasil de 2002 em comparação com as medianas dos países integrantes da 3ª rodada (A) e da 2ª rodada (1992-1993) (B)

A

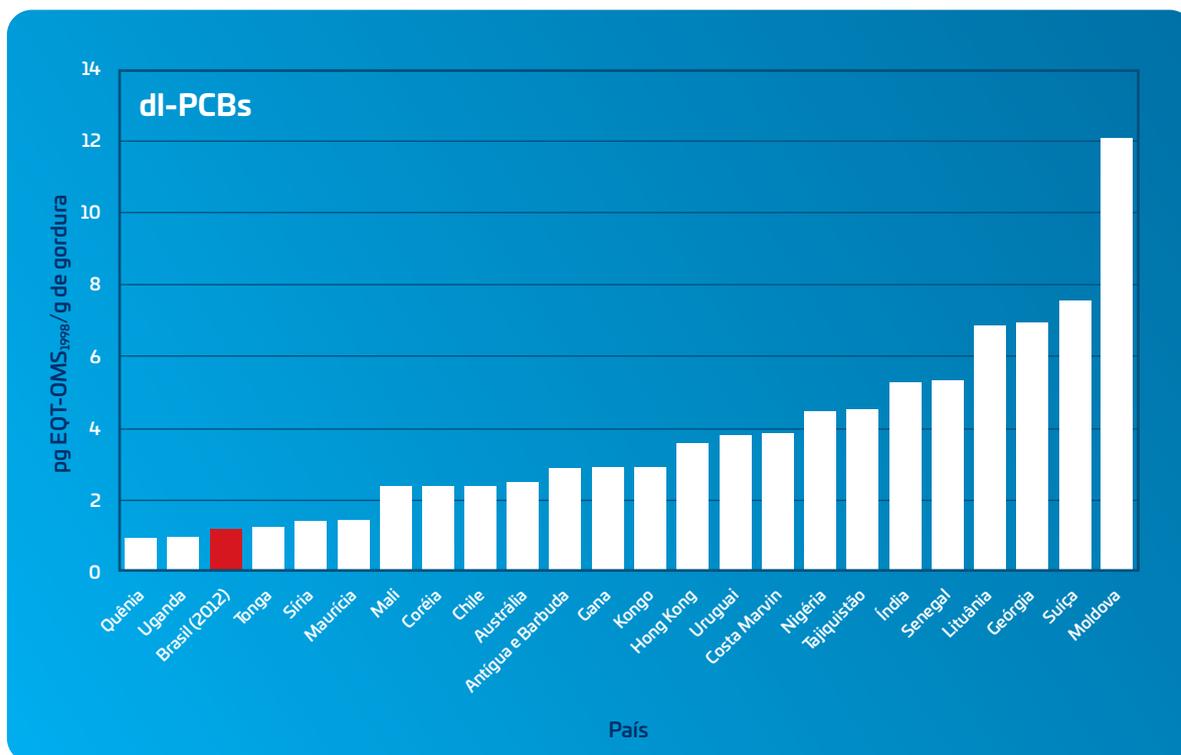


B

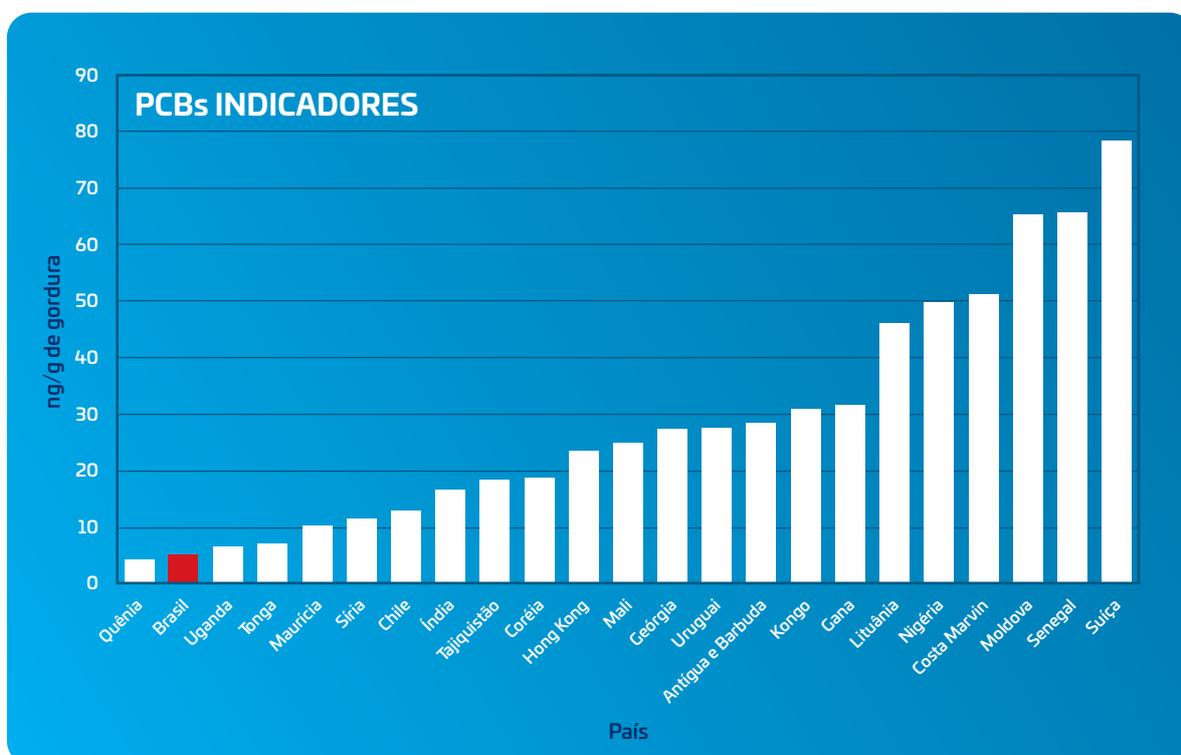


Fonte: BRAGA, 2003.

Figura 32: Níveis médios de *dioxin-like* PCB (A) e PCB indicadores (B) em leite materno no Brasil em 2012 em comparação com os resultados de outros países no período de 2008/2009.

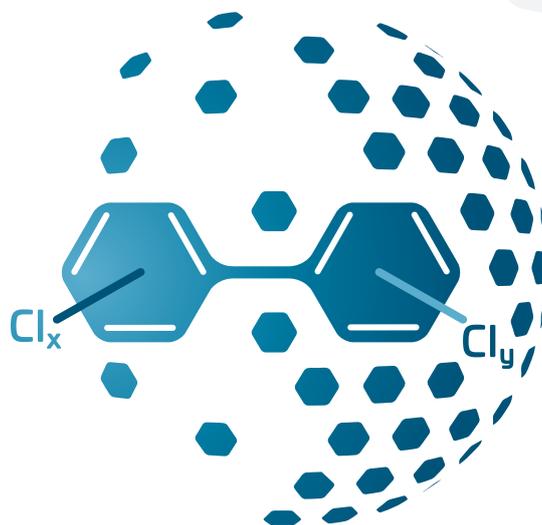


A



B

Fonte: FIOCRUZ, 2014.



PCB ZERO

SISTEMA INVENTÁRIO NACIONAL DE PCB



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL