

PCBS E A CONTAMINAÇÃO DO SOLO: RISCO AMBIENTAL E À SAÚDE HUMANA

PCBS and soil contamination: environmental risk and human health

CRUVINEL, Karla Alcione da Silva ¹; OLIVEIRA, Adjane Damasceno ²; KOPP, Katia ³;
FERREIRA, Evaldo de Melo ⁴

Recebido em 26 de maio de 2013; recebido para revisão em 07 de outubro de 2013; aceito em 01 de novembro de 2013; disponível on-line em 18 de novembro de 2013.



PALAVRAS CHAVES:

Contaminação do solo;
Bifenilas policloradas;
PCBs;
Resíduos químicos;

KEYWORDS:

Soil contamination;
Polychlorinated
biphenyls;
PCBs;
Chemical waste.

RESUMO: As diversas atividades humanas que visam o desenvolvimento econômico, advindo principalmente da produção industrial, geram subprodutos/resíduos químicos, que quando não manejados de forma adequada, trazem danos ao solo, água, animais e vegetais, sendo os dois últimos, atingidos por meio do fenômeno denominado de bioacumulação. As bifenilas policloradas são provenientes, por exemplo, da queima de materiais organoclorados, sendo estas substâncias com alto grau de toxicidade utilizadas industrialmente a partir da década de 30 (trinta). Devido a isso, uma parcela desse contaminante entrou em contato com o meio ambiente e, conseqüentemente, com o ser humano. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) possui o Plano Nacional de Gerenciamento e Eliminação de PCBs, bifenilas policloradas. Neste trabalho realizamos um levantamento de pesquisas relacionadas à contaminação ambiental e ao potencial de toxicidade dessas substâncias. Para isso, foi feita uma revisão de títulos e resumos de trabalhos disponíveis no *Institute for Scientific Information* (ISI Web of Science), utilizando-se as palavras chaves "contaminação do solo" e "bifenilas policloradas". Além da busca no ISI Web of Science, foi feita a pesquisa de trabalhos disponíveis no portal Google acadêmico, e também na *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). As publicações das pesquisas utilizadas na confecção dessa investigação demonstram o histórico de uso das PCBs, as características e o potencial de contaminação relativo ao meio ambiente e a saúde humana. Nos resultados é apresentado o efeito nocivo dessa substância ao homem, sendo a ingestão de alimentos e o contato direto com equipamentos contaminados, as principais vias de exposição.

ABSTRACT: The various human activities aimed at economic development, arising mainly from industrial production, generate byproducts/waste chemicals, which if not handled properly, bring harm to soil, water, animals and plants, the last two being, achieved through phenomenon called bioaccumulation. Polychlorinated biphenyls are derived, for example, the burning of materials organochlorines, which are substances with high toxicity used industrially from the 30 (thirty). Because of this, a portion of this contaminant came into contact with the environment and, consequently, with the human being. The Ministry of Environment (MMA) has the National Plan for Management and Disposal of PCBs, polychlorinated biphenyls. In this work, we performed a survey of research related to environmental contamination and potential toxicity of these substances. For this, a review was made of titles and abstracts available at the Institute for Scientific Information (ISI Web of Science), using the key words "soil contamination" and "polychlorinated biphenyls". Besides searching in ISI Web of Science, was made available in the job search portal Google Scholar, and also in the Scientific Electronic Library Online (SciELO). The publications of surveys used in the making of this investigation demonstrate the historical use of PCBs, the characteristics and potential of contamination on the environment and human health. In the results presented is the harmful effect of this substance to man, and the intake of food and contact with contaminated equipment, the main routes of exposure.

*** Contato com o autor:**

¹ e-mail : karlaalcione.ufg@gmail.com (K. A. da S. Cruvinel)

Eng. Ambiental, Mestre em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás Doutoranda do curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás e Professora Assistente da Universidade Federal de Goiás (UFG).

² e-mail : adjanedoliveira@yahoo.com.br (A. D. de Oliveira)

Eng. Ambiental - Secretária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, professora convidada da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO).

³ e-mail : kakopp@gmail.com (K. Kopp)

Bióloga – Professora do curso de Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG)

⁴ e-mail : evaldodemeloferreira@gmail.com (E. M. Ferreira)

Graduado em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)
Mestrando em Agronomia (Solo e Água, UFG) e Pós-Graduado em Planejamento e Gestão Ambiental (UFG).

ISSN: 2179-0612

© 2013 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

PCBs é uma abreviação para identificar bifenilas policloradas (do Inglês *Polychlorinated Biphenyls*). Esses compostos, desenvolvidos pelo homem, foram fabricados entre meados de 1920 e 1970 nos países industrializados. São praticamente insolúveis em água e facilmente solúveis em carboidratos, gorduras e outros compostos orgânicos, sendo de rápida absorção por tecidos gordurosos (Morh et al., 2011).

As PCBs são 209 isômeros sintetizados por meio da cloração dos anéis de bifenilo, onde as misturas de PCB foram utilizadas para uma variedade de aplicações, incluindo fluidos dielétricos para capacitores e transformadores, fluidos de transferência de calor, lubrificantes, fluidos hidráulicos e óleos de corte (Toledo et al., 2007). Durante décadas as características de alta estabilidade, baixa inflamabilidade e condutividade, as consagraram como o isolante dielétrico líquido mais usado em transformadores e outros equipamentos elétricos. Segundo Antonello et al., (2007):

Até o início da década de 80 os fluidos usados para esta finalidade eram compostos organoclorados conhecidos por PCBs ("PolyChlorinated Biphenyls"), ou bifenilas policloradas. Os PCBs foram produzidos por várias empresas internacionais com diferentes nomes, tais como: ascarel ou askarel, fenoclor, aroclor, entre outros, sendo comercializados no Brasil como ascarel.

As mesmas propriedades físico-químicas que tornaram esse grupo de compostos excelentes para uso como dielétrico, também os condenaram por possuírem características de poluente orgânico persistente

(MMA, 2012a). As PCBs são compostos orgânicos aromáticos clorados, cuja família é constituída por cerca de 709 compostos diferentes (MMA, 2012b).

Segundo a EPA (2012) a sua fabricação nos Estados Unidos se iniciou em 1929, tendo sido proibida a sua utilização em 1979. A ideia inicial era de se utilizar este produto em transformadores e capacitores de subestações elétricas localizadas no interior de prédios, veículos como trens e navios. No entanto, a utilização se difundiu, sendo centenas as aplicações comerciais e industriais, como, óleo usado em motores e sistemas hidráulicos, adesivos, pesticidas, calafetagem, revestimento de assoalhos, entre outros usos.

Conforme citado por Penteado e Vaz (2001), pode-se estimar uma produção mundial de PCBs acumulada de aproximadamente 1.200.000 toneladas. Sendo que, cerca de 60% foram aplicados em transformadores e capacitores, 15% para fluidos de transferência de calor e 25% como aditivos na formulação de plastificantes, tintas, adesivos e pesticidas.

De acordo com o MMA (2012b), não há registros de fabricação de bifenilas policloradas no Brasil. Estes compostos chegaram aqui por importação com diferentes nomes comerciais, os mais conhecidos sendo ascarel e aroclor. Os países produtores eram: Áustria, China, Tchecoslováquia, França, Alemanha, Itália, Japão, Rússia, Espanha, Reino Unido e Estados Unidos. As PCBs deixou de ser comercializado no Brasil desde 1981, quando, por meio de uma ação conjunta de três ministérios, Indústria e Comércio, Casa Civil e Minas e Energia, foi sancionada no país a Portaria Interministerial (MIC/MI/MME) 0019 de 19/01/1981, proibindo, em todo o território nacional, a fabricação, comercialização e uso das PCBs, em estado puro ou mistura.

Esta legislação estabeleceu que os transformadores em operação na data da publicação poderiam continuar funcionando até que fosse necessário seu esvaziamento, quando não poderiam mais ser preenchidos com o mesmo fluido, somente com outro que não contenha PCBs. O Brasil ratificou a Convenção de Estocolmo em 24 de fevereiro de 2004, pelo Decreto nº 5.472, de 20 de junho de 2005, assumindo o compromisso internacional da retirada de uso de PCBs até 2025 e a sua completa destruição até 2028 (MMA, 2012a).

2. MATERIAL DE PESQUISA

Com o intuito de conhecer e levantar as pesquisas desenvolvidas com tema trabalhado neste artigo, foi realizada uma busca na base Web of Science do sistema CAPES, no Google Acadêmico, e no SciELO, utilizando as palavras chaves contaminação do solo, bifenilas policloradas, e PCBs. Os artigos encontrados enquadram-se em quatro áreas de pesquisa (**Tabela 1**).

As pesquisas foram desenvolvidas em quatro países diferentes, conforme demonstrado na **Tabela 2**. No que refere-se à língua de publicação.

Tabela 1: Áreas de publicação de artigos referente às palavras-chave bifenilas policloradas, solo contaminado, e PCBs, 2012/2013.

Área de pesquisa	Registro de contagem	Porcentagem do total de artigos encontrados
Ciência ecológica ambiental	6	66,7
Agricultura	2	22,2
Engenharia	2	22,2
Recursos hídricos	2	22,2

Fonte: Adaptado de Web of Science, Google Acadêmico, e SciELO, 2012/2013.

Tabela 2: Países de publicação de artigos referente às palavras-chave bifenilas policloradas, solo contaminado, e PCBs, 2012/2013.

Países	Registro de contagem	Porcentagem total de artigos encontrados
Brasil	9	56,25
EUA	3	18,75
Canadá	2	12,5
Alemanha	2	12,5

Fonte: Adaptado de Web of Science, Google Acadêmico, e SciELO, 2012/2013.

3. TOXICIDADE DAS PCBS

Com aplicação em terras agrícolas, por meio de agrotóxicos, ou na indústria, os PCBs chegaram facilmente em ambientes como o mar (Gorni & Weber, 2004), onde a determinação de compostos organoclorados como as PCBs, é de considerável interesse para a avaliação dos mecanismos de transporte e introdução desses no ambiente marinho (Weber, 1983). O uso das PCBs foi restrito no Brasil e em vários outros países devido ao seu alto grau de toxicidade e por apresentar potenciais efeitos nocivos à saúde humana e ao ambiente.

Devido ao uso predominantemente industrial, as PCBs não chamavam atenção. Assim, somente a partir de 1966 as PCBs foram consideradas como poluentes do meio ambiente, a partir daí os efeitos toxicológicos e

bioquímicos das misturas de congêneres individuais têm sido estudados principalmente em peixes, células de mamíferos e até mesmo no homem (PENTEADO & VAZ, 2001).

No total existem 209 congêneres de PCBs como demonstrado no Quadro 1. No entanto, independente da mistura e da denominação recebida, este grupo de substâncias são muito persistentes no ambiente e bioacumulam nos organismos vivos, com biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Sendo assim, predadores em nível trófico alto apresentam as maiores concentrações de PCBs (CETESB, 2012).

Para tornar mais prático o uso desta substância misturaram-se a ela outros fluidos, assim, dependendo do país onde foi fabricada ou comercializada, a mistura recebe denominações diferentes (Quadro 2).

Quadro 1: Congêneres possíveis de PCBS.	
PCBs Homólogos	Número de Congêneres
<i>Monoclorobifenila</i>	3
<i>Diclorobifenila</i>	12
<i>Triclorobifenila</i>	24
<i>Tetraclorobifenila</i>	42
<i>Pentaclorobifenila</i>	46
<i>Hexaclorobifenila</i>	42
<i>Heptaclorobifenila</i>	24
<i>Octaclorobifenila</i>	12
<i>Nonaclorobifenila</i>	3
<i>Decaclorobifenila</i>	1

Fonte: Quimlab (2012).

Quadro 2: Alguns nomes comerciais do PCB.		
Marca	Fabricante	País de origem
<i>Aroclor</i>	Monsanto	EUA
<i>Piranol</i>	General Eletric	EUA
<i>Clophen</i>	Bayer	Alemanha
<i>Aceclor</i>	ACEC	Bélgica
<i>Piroclor</i>	Monsanto	Reino Unido
<i>Kaneclor</i>	Kanegafuchi /Mitsubichi	Japão
<i>Piralene</i>	Prodelec	França
<i>Phenoclor</i>	Prodelec	França

Fonte: Ambicare (2012).

As PCBs têm sido indicadas como causadoras de câncer, bem como uma variedade de outros efeitos adversos ao sistema imunológico, sistema reprodutor e sistema nervoso. A maior parte da população está exposta aos PCBs por meio do ar, da ingestão de água e alimento (Who, 2003). Segundo Lang (1992), investigações em muitas partes do mundo têm revelado ampla distribuição das PCBs em amostras ambientais, sendo o transporte atmosférico o principal mecanismo para a dispersão global desses compostos.

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica as bifenilas policloradas como prováveis carcinógenos humanos. Labrèche e Goldbergh (1997) afirmam que as PCBs são persistentes no ambiente, acumulam-se no organismo e permanecem no tecido mamário, justificando sua possível relação com o câncer da mama. No trabalho desses autores, foi testada a hipótese de que estas substâncias lipofílicas, e seus metabolitos, podem migrar para o tecido adiposo na mama. Uma das evidências encontrada foi a detecção de concentração dessas substâncias em leite materno, maior que no sangue.

De acordo com Kowalski et al., (2013) “A contaminação do leite materno por PCBs é de grande impacto, pois é o primeiro alimento do recém-nascido, constituindo um grande problema para sua saúde”. O potencial tóxico dessas substâncias é provado em uma pesquisa desenvolvida por Giesy e Kannan (1998), onde ratos de laboratório foram alimentados com rações produzidas com peixes expostos a PCB's.

4. CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Pesquisas têm sido desenvolvidas objetivando avaliar o nível de contaminação das PCBs no solo como, por exemplo, o estudo de Schwanz et al. (2012), onde se buscou investigar a contaminação de milho por PCBs, os autores ressaltaram que devido ao fato de os PCBs serem compostos lipofílicos e apolares, a maior concentração destes é encontrada em alimentos gordurosos. Em verduras, cereais e frutas a concentração de PCBs pode ser menor, mas como são os primeiros elos da cadeia alimentar, a acumulação desses compostos nos vegetais é fonte de transferência para o organismo humano.

Neste mesmo trabalho os pesquisadores buscaram validar um método para análise desses contaminantes e ainda determinar a concentração de PCBs indicadores de contaminação ambiental em amostras de milho coletadas no estado do Rio Grande do

Sul, Brasil. Os resultados desta pesquisa demonstraram a presença de contaminação nos alimentos das amostras utilizadas.

Em pesquisa realizada por Tremolada et al., (2012) foi testado, em campo, o efeito de diferentes frações húmicas em contaminação de solos por PCBs, por meio de 53 amostras de pastagens do planalto nos Alpes italianos a uma elevada altitude. Três frações húmicas (humina, ácidos húmicos e fúlvicos) foram caracterizadas em paralelo, quantificando 12 congêneres de PCBs para estabelecer uma relação direta entre níveis de PCBs e de sua concentração na fração húmica.

A fração mais hidrofóbica do solo, a húmica, parece ser a mais estreitamente relacionada com a quantidade de PCBs no solo, enquanto que o ácido fúlvico mostra a menor correlação. Isto foi observado pela comparação da variabilidade residual das concentrações de PCBs devido ao efeito da matéria orgânica do solo com apenas a quantidade absoluta das três frações e com a sua abundância relativa.

As indicações provenientes destes dados suportam a ideia de um acúmulo preferencial de compostos hidrofóbicos na fração humina. Várias consequências derivam este resultado, dentre elas: a) solos com o mesmo conteúdo de matéria orgânica podem ter diferente acumulação potencial para POP; b) solos com alta teor de humina, são altamente eficientes para acumular POPs e as condições ambientais favorecem a acumulação de humina aumentando o risco de contaminação e retenção de POP; c) o teor de carbono humina (fhuminC) pode ser tomado como melhor parâmetro para avaliar a acumulação potencial para POP que o carbono orgânico total (COT).

Na pesquisa realizada por Herrick et al., (2007) levantou-se a contaminação de solos por PCBs na construção de edifícios. PCBs usados em materiais de construção, como calafetagem ao redor de janelas e juntas de expansão podem constituir uma fonte de contaminação de PCBs no interior do edifício e em torno do solo. Vários estudos de contaminação do solo foram conduzidos em torno de edifícios, onde o calafete foi removido por trituração ou raspagem. Os PCBs no solo podem ter sido gerados no processo de remoção da calafetagem, mas o desgaste natural e deterioração da calafetagem pode também ter sido uma fonte de contaminação.

Foram identificados e selecionados para amostragem três edifícios (designados A, B, e C), onde a calafetagem contendo PCBs não havia sido removida. Estes três edifícios eram típicos edifícios de alvenaria construídos na década de 1960 e 1970: o primeiro foi

uma unidade habitacional familiar para universitários, e outros foram duas escolas. Foi amostrada a calafetagem, e em cada edifício foram também amostradas as superfícies do solo, a uma distância de aproximadamente 30 cm da fundação do edifício. O conteúdo de PCBs de ambas as amostras de calafetagem e de solo foi determinada de acordo com Método EPA 8082 (EPA EUA, 2000).

Neste estudo foi encontrada contaminação do solo por PCBs variando de 3,3 a 34 mg/kg em torno dos edifícios com calafetagem imperturbável que continha 10,000-36,200 mg/kg PCBs. Os resultados do procedimento de lixiviação Toxicity Characteristic (concentrações de lixiviado de 76-288 mg PCB/L), sugerem que os PCBs na calafetagem podem ser mobilizados, aparentemente como complexos com a matéria orgânica dissolvida, que também podem lixiviar fora do material de calafetagem.

O autor ainda conclui que embora estas novas descobertas sejam baseadas em uma pequena amostra, eles demonstram a necessidade de uma pesquisa nacional de PCBs em materiais de construção e no solo em torno desses edifícios. Isso se deve ao fato de que os edifícios construídos durante o tempo em que estava em uso os PCBs em calafetagem (1960 e 1970) incluem escolas, hospitais e edifícios de apartamentos, e o potencial de exposição das crianças é uma preocupação particular. É necessário reconsiderar a prática de descarte dos PCBs de calafetagem (removido durante renovações) em aterros sanitários convencionais, dada a mobilidade aparente de PCBs a partir do material de calafetagem. Eliminação de algum material de calafetagem em aterros sanitários para resíduos não perigosos pode levar a altos níveis de PCBs em chorume (Herrick et al., 2007).

Outra pesquisa foi realizada por Chekol *et al.*, (2004) em que os autores referem-se ao efeito da rizosfera na fitorremediação de solos contaminados com PCBs. O solo para estes estudos foi obtido a partir de uma área de floresta sem cultivo e história de aplicação de pesticidas, no Centro Maryland de Investigação e Centro Clarksville de Faculdade de Educação em Clarksville, Tennessee, Estados Unidos. Três leguminosas e quatro espécies de gramíneas foram selecionadas na primeira fase. As leguminosas foram: *Medicago sativa*, *Lathyrus sylvestris* e *Lespedeza cuneata Dum.-Cours*, sendo as espécies de gramíneas: *Panicum clandestinum*, *Phalaris arundinacea*, *Panicum virgatum*, e *Festuca arundinacea*.

Os vegetais foram utilizados na biorremediação de solos contaminados com PCBs.

Durante a segunda fase, o foco foi a caracterização da rizosfera para otimizar a fitorremediação de PCBs. A substância aroclor 1248 (PCB) foi adicionada ao solo a 100 mg/kg de solo. Na primeira fase, todos os tratamentos de espécies de plantas mostraram significativamente maior biodegradação de PCBs em comparação com os controles não plantados e as duas espécies mais eficazes foram selecionadas para estudo posterior.

No estudo de caracterização da rizosfera, a irradiação do solo não afetou a biodegradação de PCBs, mas o plantio aumentou significativamente a sua biodegradação, sendo que 38% ou menos dos PCBs foi recuperado a partir de vasos plantados, em comparação com mais de 82% dos solos de controle não plantados. A presença de plantas aumentou significativamente a atividade biológica (respiração microbiana e atividade enzimática) de ambos os solos irradiados e não irradiados.

Maiores contagens bacterianas e atividade enzimática do solo foram intimamente relacionados com os níveis mais elevados de biodegradação de PCBs. Os dados mostraram que a biodegradação do aroclor 1248 em solo parece ser positivamente influenciada pela presença de plantas e interação planta-bactéria. Os resultados sugerem que a fitorremediação pode ser uma alternativa ambientalmente amigável para solos contaminados com PCBs.

No que se refere a contaminação do solo há ainda um estudo realizado por Bright *et al.* (1995). A pesquisa foi realizada na Distant Early Warning Line (DEW), uma série de estações de radar que medem o Ártico canadense. Estas estações iam ser fechadas, e a fim de determinar o estado ambiental dessas instalações o Departamento Canadense de Defesa Nacional patrocinou uma avaliação da contaminação do solo do local. A comparação das concentrações de PCBs em amostras retiradas de áreas intocadas perto dos locais onde estavam instalados os radares e amostras tomadas em locais remotos (superiores a 20 km de distância) forneceram evidências de curto alcance da redistribuição do PCB.

As assinaturas dos congêneres de PCBs para amostras de fundo tomadas nos locais de radar mostraram boa correlação com as assinaturas a partir de locais contaminados com PCBs onde estavam instalados radares. Em contraste, a assinatura congênere atribuível ao transporte atmosférico ou de longo alcance, continha uma proporção relativamente mais elevada de mais congêneres voláteis, que podem ser atribuídos a um aumento do tempo de residência atmosférica.

A distribuição de PCBs e outros organoclorados no Ártico canadense tem sido objeto de estudo intensivo (Barrie *et al.*, 1992). A presença de tais compostos é de particular interesse, devido à sua tendência a biomagnificar-se na cadeia alimentar. Nessa pesquisa foi feita a amostragem de solo em 24 sítios no Ártico canadense nos verões de 1989-1992. Um total de 1627 amostras de solo, incluindo amostras de fundo, foram recolhidas nos 24 locais. Além disso, 38 amostras de solo foram coletadas em locais remotos (superiores a 20 km) de qualquer atividade de linha DEW escolhidos para representar as melhores condições na mesma latitude.

Nos resultados da pesquisa, a contaminação por PCBs foi encontrada seguindo distribuições semelhantes em todos os locais do radar que estiveram em uso desde 1950. As áreas de emissários (áreas que receberam entradas diretas de esgoto sem tratamento e águas residuais do equipamento de radar) foram as áreas mais contaminadas, provavelmente devido a eliminação de fluidos que contenham PCB. Em aterros sanitários, o churume era um problema em determinados locais, e as PCBs também estavam presentes em algumas amostras gerais devido a derrames isolados.

Detalhes completos deste estudo foram publicados em outro artigo, onde as PCBs foram encontradas em quatro destas amostras de solo em concentrações até 1000 pg/g, extrapolando a Lei de Proteção Ambiental do Canadá (> 50 pg/g PCB). O trabalho continua com análise de alta resolução para esclarecer a assinatura de transporte de longo alcance e concentração de PCBs em solos do Ártico. Adicionalmente, coletas foram feitas para as plantas, água, e fauna terrestre e marinha. A experiência do intemperismo das PCBs foi iniciada em Cambridge Bay em 1990.

Um fator a ser considerado é que o solo é o principal dissipador de compostos orgânicos semivoláteis (COSs) no ambiente terrestre, enquanto a atmosfera é o principal vetor dessas substâncias para os seres humanos por meio da cadeia alimentar agrícola. Assim, a troca de COSs entre solo e do ar é de suma importância para verificar o destino ao meio ambiente e o risco potencial para os humanos. Seguindo este foco, foi realizada uma pesquisa por Hippelein e McLachlan (1998), onde foi desenvolvido um método para determinar os coeficientes de partição (KSA) do solo / ar de COSs.

O método foi inicialmente testado usando um solo contaminado em laboratório com benzenos clorados, bifenilas policloradas, e hidrocarbonetos

aromáticos policíclicos. Um exercício de validação sistemática demonstrou que o método não está sujeito a uma ampla gama de artefatos potenciais. Foi então demonstrado que o KSA em solo úmido (umidade relativa 100%) é independente do teor de água do solo.

O método foi então estendido para a medição do KSA no solo original, que continha os níveis de base dos COSs. Foi detectada boa aceitação entre os valores medidos de KSA com o solo original e com o solo contaminado em laboratório, confirmando que os estudos com solo contaminado podem ser extrapolados para as condições ambientais e demonstrando que é possível medir diretamente KSA em níveis profundos de contaminação do solo.

Os valores KSA dos compostos estudados variaram ao longo de quase quatro ordens de magnitude. Houve uma excelente relação linear entre KSA e o quociente entre a água/octanol e coeficientes de ar/água de partição (KOW/KAW), indicando que o modelo Karickhoff geralmente aplicados ao particionamento de solo/água pode ser estendido para o sistema solo/ar. Uma regressão igualmente satisfatória foi obtida entre KSA e coeficientes de partição octanol/ar (KOA).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observou-se que as publicações de pesquisas referentes a contaminação dos solos por bifenilas policloradas ainda é incipiente. Mesmo com bons estudos relacionados a PCBs, o ainda Brasil apresenta poucos estudos referentes ao tema. Mesmo com a produção das PCBs e venda proibidas, ainda existem substâncias deste tipo em uso. Identificar as áreas contaminadas com este poluente orgânico persistente e os atuais depósitos é primordial para monitoramento e remediação evitando a contaminação ambiental e riscos à saúde pública.

É importante a realização de novas pesquisas objetivando estimar a exposição dos seres humanos a estes compostos e promover a redução do seu impacto ao meio ambiente. Uma vez que as PCBs podem estar presentes em alimentos e materiais, resultando em ampla exposição dos seres humanos a estes compostos.

O Brasil ratificou a Convenção de Estocolmo em 2004, assumindo o compromisso internacional da retirada de uso de PCBs até 2025 e a sua completa destruição até 2028. Após sete anos desde que o país assumiu este pacto, o MMA começa a se articular para cumprimento da meta estabelecida, trabalhando

atualmente na elaboração do Guia para o Inventário Nacional de bifenilas policloradas. Espera-se desta forma, que o trabalho e a sensibilização a nível nacional sobre os impactos dos poluentes orgânicos persistentes, dentre eles as PCBs, torne-se amplo e de significativa abrangência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonello, I; Humeres, H; Souza, I. G; Debacher, N. A; Martins, A. R. **Determinação de ascarel em óleo isolante de transformadores**. São Paulo: Química Nova, 2007.

Disponível

em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000300034&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.

AMBICARE. **Documento técnico “PCB o que são?** Disponível em: <http://www.ambicare.com/downloads/documento_ambicare_pcb.pdf>. Acesso em: 02 Dez. 2012.

BRIGHT, D., et. al. **Evidence for short-range transport of polychlorinated biphenyls in the Canadian Arctic using congener signatures of PCBs in soils**. The Science of the Total Environment 160/161(1995) 251-263.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Ficha de Informação Toxicológica, Bifenilas policloradas**. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

Douglas A. *et at.* **Phytoremediation of polychlorinated biphenyl- contaminated soils: the rhizosphere effect**. Environment International 30, pag. 799–804, 2004.

EPA – Environmental Protection Agency. **Polychlorinated Biphenyls (PCBs)**. Disponível em : <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/effects.htm>>. Acesso em: 03 Dez 2012.

Giesy, J.P, Kanna, K. **Dioxin-Like and Non-Dioxin-Like Toxic Effects of Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Implications For Risk Assessment**. Critical Reviews in Toxicology, p.511–569,1998.

Gorni, R; Weber, R. R. **Organochlorine pesticides residues and PCBs in benthic organisms of the inner shelf of the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil**. São Paulo: Brazilian Journal of Oceanography, 2004.

Disponível

em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592004000200006&lng=pt&nrm=iso>.

Acesso em: 10 jul. 2013.

Herrick, R. F. et al. **Soil Contamination from PCB-Containing Buildings**. Environmental Health Perspectives. Volume 115. Número 2. Fev. 2007.

Hippelein, M.; McLachlan, M. S. **MSoil/Air Partitioning of Semivolatile Organic Compounds. 1. Method Development and Influence of Physical-Chemical Properties**. Environmental Science Technology. 1998, 32, 310-316.

Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva - INCA. **Diretrizes para a vigilância do câncer relacionado ao trabalho** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, Rio de Janeiro, 2012.

Kowalski, C. H, Augusto, F; Godoy, H. T. **Extração de bifenilas policloradas de amostras de leite materno: otimização univariada versus planejamento experimental**. São Paulo: Química Nova, 2013. Disponível

em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000300018&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.

Labrèche FP, Goldberg MS. Exposure to organic solvents and breast cancer in women: a hypothesis. Am J Ind Med. 1997;32(1):1-14.

Lang, V. **Polychlorinated biphenyls in the environment-Review**. Journal of Chromatography, 595: 1-43, 1992.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Guia para o inventário nacional de Bifenilas policloradas (PCB)**. Versão para consulta das partes. BRASIL, 2012a.

_____. **Estudo Sobre as Bifenilas policloradas Proposta para Atendimento á “Convenção De Estocolmo”, Anexo A – Parte II**. 2012b. Disponível

em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_prorisc_upml/_arquivos/estudo_sobre_as_Bifenilas_policloradas_82.pdf> Acesso em: 27 nov 2012.

Morh, S; Schwans, T. G; Wagner, R; Soldatelli, L; Costabeber, I. H. **Determinação de bifenilos policlorados em soro de cordão umbilical através de extração por hidrólise ácida seguida de cromatografia a gás acoplada a um microdetector de captura de elétrons**. São Paulo: Química Nova, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000300015&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.

Penteado, J.C.P e Vaz, J.M. **O Legado das Bifenilas policloradas (PCB's)**. Quim. Nova, Vol. 24, N. 3, 390-398, 2001.

QUIMLAB – Soluções em Química. **Outras variáveis importantes – Bifenilas policloradas**. Disponível: <http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/variaveis_importantes.htm>. Acesso em: 02 Dez. 2012.

Schwanz et al. **Determinação de Bifenilos Policlorados em Milho Através de Extração em Fase Sólida Seguida de Cromatografia a Gás Acoplada à Espectrometria de Massas.** Quim. Nova, Vol. 35, N. 3, 553-558, 2012.

Toledo, C; Valle, L; Narváez, J; Richter, P. **Screening method for rapid determination of polychlorinated biphenyls in transformer oil by liquid-liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry.** São Paulo: Journal of the Brazilian Chemical Society, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532007000500010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.

Weber, R. R. **Determinação de Σ DDT e PCBs na água do mar através de pré-concentração em resinas poliméricas.** São Paulo: Boletim do Instituto Oceanográfico, 1983. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-55241983000200001&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.