

MEMORANDO TÉCNICO

Atualizado: Janeiro 2025

Amostradores Passivos: Dados de Concentração nos Relatórios

Taxa de Adsorção

Em 2016, Beacon encomendou dois estudos consecutivos no Laboratório de Saúde e Segurança (HSL), do Reino Unido. Os estudos se propuseram a determinar e validar as taxas de adsorção quantitativas, experimentalmente, de diversos amostradores passivos com base em eventos com duração de 7 e 14 dias, que são períodos de exposição de rotina usados para investigações com amostragem passivas de gás do solo. Os amostradores com bomba ativa (técnica de referência) e amostradores passivos axiais convencionais, padrão da indústria, foram incluídos nos estudos. Os experimentos foram realizados no gerador de atmosfera padrão HSL com base em procedimentos descritos na ISO 6145-4: 2004.

O "HSL" é um renomado centro de excelência para amostragem de compostos orgânicos voláteis (COVs), e os Métodos para a Determinação de Substâncias Perigosas (MDSP) são a principal fonte da maioria das taxas de adsorção publicadas, seguindo as metodologias dos padrões internacionais.¹

As taxas de adsorção quantitativas foram determinadas e verificadas para 13 COVs principais (clorados e aromáticos), em cada amostrador passivo, considerando os períodos de exposição de 7 e 14 dias. Neste estudo, que conta com seis réplicas, os dispositivos apresentaram excelente desempenho com grande linearidade e reprodutibilidade.

Além disso, as taxas de adsorção estavam dentro da faixa de 0,1 a 1,0 ml/min, que foi confirmada como a faixa recomendada na amostragem de gases

no solo, conforme descrito no estudo financiado pelo governo, ESTCP Relatório ER-2008302.²

Esses dados confirmam que o Amostrador Passivo de Gases da Beacon é um dispositivo com excelente precisão para a determinação quantitativa, ou seja, a média ponderada no tempo (MPT) da concentração dos compostos-alvo do estudo, bem como dos compostos com peso molecular e/ou volatilidade semelhantes, tanto para amostragem do ar, como dos gases no solo.

De acordo com os requisitos da ISO 16017-2, a massa medida (ng) por um amostrador passivo é convertida em uma concentração dividindo a massa (ng) pela taxa de adsorção do amostrador (ml/min) e o período de amostragem (min), então, este resultado é multiplicado por um valor de 1.000 para assim converter de ng/ml para ug/m³.

A equação usada para calcular as concentrações médias ponderadas no tempo é fornecida abaixo.

$$C = \frac{1000 \times M}{U \times t}$$

Donde: C = concentração (ug/m³)
M = massa (ng)
U = taxa de adsorção (ml/min)
t = tempo de amostragem (minutos)

Os compostos incluídos no estudo da taxa de adsorção são fornecidos na Tabela 1, que também apresenta as taxas de adsorção validadas.

Tabela 1: Taxa de Adsorção Validada para cada Composto de Interesse.

COMPOSTOS	Taxa de Adsorção (ml/min)
Cloruro de Vinil	0.81
1,1-Dicloroeteno	0.33
trans-1,2- Dicloroeteno	0.44
1,1-Dichloroethane	0.85
cis-1,2- Dicloroeteno	0.53
1,2- Dicloroeteno	0.56
1,1,1-Tricloroetano	1.05
Benceno	0.53
Tricloroeteno	0.33
Tolueno	0.40
Tetracloroeteno	0.41
Etilbenceno	0.85
o-Xileno	0.88

A Lei da Difusão de Gases de Graham é usada para calcular a taxa de adsorção para os COVs alvo, que não foram incluídos no estudo da taxa de absorção. A lei de Graham estabelece que a taxa de difusão de um gás é inversamente proporcional à raiz quadrada de seu peso molecular. No estudo HSL, Beacon incluiu uma ampla gama de COVs, desde o “cloreto de vinila” ao “o-xileno” para determinar as taxas de adsorção para uma ampla gama de compostos e ser capaz de melhorar a estimativa das taxas de adsorção para outros COVs alvo. A equação usada para calcular as taxas de adsorção com base na Lei de Graham é fornecida a seguir:

$$U_c = \frac{U_k}{\sqrt{\frac{MW_c}{MW_k}}}$$

Onde: U_c = Taxa de Adsorção Calculada a partir da Taxa de Adsorção Conhecida (ml/min)

U_k = Taxa de Adsorção Conhecida a partir do Estudo (ml/min)

MW_c = Peso Molecular do Composto com a Taxa de Adsorção Calculada (g/mol)

MW_k = Peso Molecular do Composto com a Taxa de Adsorção Conhecida (g/mol)

A **Tabela 2** na próxima página, apresenta as taxas de adsorção conhecidas dos compostos que estão na lista padrão da Beacon, baseadas nos Métodos EPA 8260D ou TO-17. Esta Tabela 2 também apresenta os pesos moleculares em g/mol para cada um dos compostos. Os compostos do estudo de taxa de adsorção usados para calcular os outros COVs alvo foram escolhidos com base em pesos moleculares e propriedades químicas semelhantes. Observe que as taxas de adsorção calculadas para as frações de TPH são baseadas nas taxas de adsorção médias calculadas para cada um dos alcanos individuais dentro do intervalo relatado (por exemplo, o TPH C5-C8 é baseado na média das taxas de absorção calculadas para compostos que variam de pentano a octano).

A **Tabela 3** fornece valores dos limites de quantificação (LQ) para cada um dos compostos da lista padrão com base em períodos de amostragem de 1, 3, 7 e 14 dias. O LQ está no ponto inferior ou acima da curva de calibração inicial para garantir que os dados relatados sejam defensáveis. Além disso, os resultados menores do que o LQ, mas maiores do que o limite de detecção (LD) podem ser relatados como estimativas e qualificados com um “J” para atingir os limites de relatório mais baixos. Os valores de LDs para cada composto são fornecidos na **Tabela 4** ■



O Amostrador de Gás do Solo Beacon Passivo

Tabela 2: Taxas de Adsorção para Lista de Compostos-Alvo Padrão

COMPOSTOS	Taxa de Adsorção (ml/min)	Taxa de adsorção do compostos de referência, usada para calcular a taxa de adsorção estimada	Peso Molecular (g/mol)
Cloreto de Vinila	0.81		62.5
1.1-Dicloroeteno	0.33		97
Cloreto de Metileno (Diclorometano)	0.35	1.1 Dicloroeteno	84.9
1.1.2-Triclorotrifluoroetano (CFC-113)	0.89	1.1.1-Tricloroetano	187.38
trans-1.2-Dicloroeteno	0.44		96.95
Éter Etil-terc-butílico (ETBE)	0.50	Benzeno	88.7
1.1-Dicloroetano	0.85		99
cis-1.2-Dicloroeteno	0.53		96.95
Clorofórmio (Triclorometano)	0.35	Tricloroeteno	119
1.2-Dicloroetano	0.56		99
1.1.1-Tricloroetano	1.05		133.4
Tetracloroeto de Carbono	0.43	Tetracloroeteno	153.84
Benzeno	0.53		78.11
Tricloroeteno	0.33		131.4
1.4-Dioxano	0.41	Tolueno	88.11
1.1.2-Tricloroetano	0.33	Tricloroeteno	133.4
Tolueno	0.40		92
1.2-Dibromoetano (EDB)	0.39	Tetracloroeteno	187.9
Tetracloroeteno	0.41		165.8
1.1.1.2-Tetracloroetano	0.41	Tetracloroeteno	167.85
Clorobenzeno	0.85	o-Xileno	112.6
Etilbenzeno	0.85		106
p & m-Xileno	0.88	o-Xileno	106.2
o-Xileno (1.2 Dimetil Benzeno)	0.88		106.2
1.2.3-Tricloropropano	0.75	o-Xileno	147.43
Isopropilbenzeno	0.83	o-Xileno	120.19
1.3.5-Trimetilbenzeno	0.83	o-Xileno	120.2
1.2.4-Trimetilbenzeno	0.83	o-Xileno	120.2
1.3-Diclorobenzeno	0.75	o-Xileno	147
1.4-Diclorobenzeno	0.75	o-Xileno	147
1.2-Diclorobenzeno	0.75	o-Xileno	147
1.2.4-Triclorobenzeno	0.39	Tetracloroeteno	181.46
Naftaleno	0.80	o-Xileno	128.16
1.2.3-Triclorobenzeno	0.39	Tetracloroeteno	181.45
2-Metilnaftaleno	0.76	o-Xileno	142.2
TPH C5-C8	0.52	Com base na média das taxas de adsorção calculadas para alcanos individuais.	
TPH C9-C15	0.71		

Tabela 3: Limites de Quantificação (LQ) Baseado nos Períodos de Exposição

COMPOSTOS	CAS	Taxa de Adsorção (ml/min)	1 Dia	3 Dias	7 Dias	14 Dias
			LQ (ug/m3)	LQ (ug/m3)	LQ (ug/m3)	LQ (ug/m3)
Cloreto de Vinila	75-01-4	0.81	8.57	2.86	1.22	0.61
1.1-Dicloroetano	75-35-4	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
Cloreto de Metileno (Diclorometano)	75-09-2	0.35	19.84	6.61	2.83	1.42
1.1.2-Triclorotrifluoroetano (CFC-113)	76-13-1	0.89	7.80	2.60	1.11	0.56
trans-1.2-Dicloroetano	156-60-5	0.44	15.78	5.26	2.25	1.13
Éter Etil-terc-butílico (ETBE)	1634-04-4	0.50	34.72	11.57	4.96	2.48
1.1-Dicloroetano	75-34-3	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
cis-1.2-Dicloroetano	156-59-2	0.53	13.10	4.37	1.87	0.94
Clorofórmio (Triclorometano)	67-66-3	0.35	19.84	6.61	2.83	1.42
1.2-Dicloroetano	107-06-2	0.56	12.40	4.13	1.77	0.89
1.1.1-Tricloroetano	71-55-6	1.05	6.61	2.20	0.94	0.47
Tetracloroeto de Carbono	56-23-5	0.43	16.32	5.44	2.33	1.17
Benzeno	71-43-2	0.53	32.76	10.92	4.68	2.34
Tricloroetano	79-01-6	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
1.4-Dioxano	123-91-1	0.41	16.94	5.65	2.42	1.21
1.1.2-Tricloroetano	79-00-5	0.33	21.04	7.01	3.01	1.50
Tolueno	108-88-3	0.40	43.40	14.47	6.20	3.10
1.2-Dibromoetano (EDB)	106-93-4	0.39	18.03	6.01	2.58	1.29
Tetracloroetano	127-18-4	0.41	16.94	5.65	2.42	1.21
1.1.1.2-Tetracloroetano	630-20-6	0.41	17.04	5.68	2.43	1.22
Clorobenzeno	108-90-7	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
Etilbenzeno	100-41-4	0.85	20.42	6.81	2.92	1.46
p & m-Xileno	108-38-3	0.88	19.73	6.58	2.82	1.41
o-Xileno (1.2 Dimetil Benzeno)	95-47-6	0.88	19.73	6.58	2.82	1.41
1.2.3-Tricloropropano	96-18-4	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
Isopropilbenzeno	98-82-8	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1.3.5-Trimetilbenzeno	108-67-8	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1.2.4-Trimetilbenzeno	95-63-6	0.83	20.92	6.97	2.99	1.49
1.3-Diclorobenzeno	541-73-1	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1.4-Diclorobenzeno	106-46-7	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1.2-Diclorobenzeno	95-50-1	0.75	9.26	3.09	1.32	0.66
1.2.4-Triclorobenzeno	120-82-1	0.39	17.72	5.91	2.53	1.27
Naftaleno	91-20-3	0.80	8.68	2.89	1.24	0.62
1.2.3-Triclorobenzeno	87-61-6	0.39	17.72	5.91	2.53	1.27
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0.76	9.14	3.05	1.31	0.65
TPH C5-C8		0.52	6,410	2,137	916	458
TPH C9-C15		0.71	4,010	1,337	573	286

Tabela 4: Limites de Detecção (LDs) Baseado nos Períodos de Exposição

COMPOSTOS	CAS	Taxa de Adsorção (ml/min)	1 Dia	3 Dias	7 Dias	14 Dias
			LD (ug/m ³)			
Cloreto de Vinila	75-01-4	0.81	4.29	1.43	0.61	0.31
1.1-Dicloroeteno	75-35-4	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
Cloreto de Metileno (Diclorometano)	75-09-2	0.35	9.92	3.31	1.42	0.71
1.1.2-Triclorotrifluoroetano (CFC-113)	76-13-1	0.89	3.90	1.30	0.56	0.28
trans-1.2-Dicloroeteno	156-60-5	0.44	7.89	2.63	1.13	0.56
Éter Etil-terc-butílico (ETBE)	1634-04-4	0.50	13.89	4.63	1.98	0.99
1.1-Dicloroetano	75-34-3	0.85	4.08	1.36	0.58	0.29
cis-1.2-Dicloroeteno	156-59-2	0.53	6.55	2.18	0.94	0.47
Clorofórmio (Triclorometano)	67-66-3	0.35	9.92	3.31	1.42	0.71
1.2-Dicloroetano	107-06-2	0.56	6.20	2.07	0.89	0.44
1.1.1-Tricloroetano	71-55-6	1.05	3.31	1.10	0.47	0.24
Tetracloroeto de Carbono	56-23-5	0.43	8.16	2.72	1.17	0.58
Benzeno	71-43-2	0.53	13.10	4.37	1.87	0.94
Tricloroetano	79-01-6	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
1.4-Dioxano	123-91-1	0.41	8.47	2.82	1.21	0.60
1.1.2-Tricloroetano	79-00-5	0.33	10.52	3.51	1.50	0.75
Tolueno	108-88-3	0.40	17.36	5.79	2.48	1.24
1.2-Dibromoetano (EDB)	106-93-4	0.39	9.02	3.01	1.29	0.64
Tetracloroetano	127-18-4	0.41	8.47	2.82	1.21	0.60
1.1.1.2-Tetracloroetano	630-20-6	0.41	8.52	2.84	1.22	0.61
Clorobenzeno	108-90-7	0.85	4.08	1.36	0.58	0.29
Etilbenzeno	100-41-4	0.85	8.17	2.72	1.17	0.58
p & m-Xileno	108-38-3	0.88	7.89	2.63	1.13	0.56
o-Xileno (1.2 Dimetil Benzeno)	95-47-6	0.88	7.89	2.63	1.13	0.56
1.2.3-Tricloropropano	96-18-4	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
Isopropilbenzeno	98-82-8	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1.3.5-Trimetilbenzeno	108-67-8	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1.2.4-Trimetilbenzeno	95-63-6	0.83	8.37	2.79	1.20	0.60
1.3-Diclorobenzeno	541-73-1	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1.4-Diclorobenzeno	106-46-7	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1.2-Diclorobenzeno	95-50-1	0.75	4.63	1.54	0.66	0.33
1.2.4-Triclorobenzeno	120-82-1	0.39	8.86	2.95	1.27	0.63
Naftaleno	91-20-3	0.80	4.34	1.45	0.62	0.31
1.2.3-Triclorobenzeno	87-61-6	0.39	8.86	2.95	1.27	0.63
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0.76	4.57	1.52	0.65	0.33
TPH C5-C8		0.52	3,339	1,113	477	238
TPH C9-C15		0.71	2,103	701	300	150

¹ISO 16017-2, Aire de Interiores, de ambiente, y de lugar de trabajo - Muestreo y Análisis de compuestos orgánicos volátiles por medio de tubo sorbente/desorción térmica/cromatografía capilar de gas - Parte 2: Muestreo Difusivo, 2003.

²ESTCP Proyecto ER-200830, Desarrollo de Métodos Más Económicos para Monitoreo a Largo Plazo de Intrusión de Vapor de Suelo hacia Aire de Interiores Usando Muestreo Cuantitativo Pasivo Difusivo-Adsorativo, Julio 2014.