

**Tabela 4.1 – Categorias de resíduos perigosos**

Listado	Característica	Outro
Fontes não específicas	De ignição	Misturas (tóxicas e não tóxicas)
Fontes específicas	Corrosibilidade	Resíduos provenientes do tratamento de resíduos
Produtos químicos comerciais (toxicidade aguda)	Reactividade	Materiais contendo resíduos perigosos listados
Produtos químicos comerciais (toxicidade não aguda)	Toxicidade	

**Tabela 4.2 – Lista de resíduos da EPA<sup>1</sup>, baseados em características perigosas**

Característica	Considerações
De ignição	<ol style="list-style-type: none"> <li>Líquidos com ponto de inflamabilidade inferior a 60°C</li> <li>Não-líquidos susceptíveis de provocar incêndios através da fricção, alteração química espontânea, etc.</li> <li>Gás comprimido auto-combustível</li> <li>É um oxidante</li> </ol>
Corrosibilidade	<ol style="list-style-type: none"> <li>Resíduos aquosos com pH &lt;3 ou &gt;12,5</li> <li>Resíduos líquidos capazes de corroer o aço a uma velocidade superior a 6,35 mm/ano</li> </ol>
Reactividade	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instabilidade e prontidão para sofrer uma alteração violenta</li> <li>Reacções violentas quando misturado com água</li> <li>Formação de misturas potencialmente explosivas quando misturado com água</li> <li>Libertação de fumos tóxicos quando misturado com água</li> <li>Material com cianeto ou sulfito que produz fumos tóxicos quando exposto a condições ácidas</li> <li>Facilidade em detonar ou reacção explosiva quando exposto a pressão ou calor</li> <li>Facilidade de detonação ou decomposição explosiva ou reacção à temperatura e pressão ambientes</li> <li>Definido como explosivo proibido ou explosivo de Classe A ou B pelo Departamento de Transporte dos EUA</li> </ol>
Característica de toxicidade, como definida pelo teste de lixiviação de características de toxicidade	<ol style="list-style-type: none"> <li>Se o resíduo é líquido (se contém menos de 0,5% de sólidos), após filtrado o resíduo é em si mesmo considerado o extracto (lixiviado simulado).</li> <li>Se o resíduo contém mais de 0,5% de material sólido, a fase sólida é separada da fase líquida, se existir. Se necessário, a granulometria da fase sólida é reduzida até que passe através de um peneiro de 9,5 mm.</li> <li>Para outra análise sem ser de voláteis, a fase sólida é então colocada numa solução ácida e gira a 30 rev/min durante 18 horas. O pH da solução é aproximadamente 5, a menos que o sólido seja mais básico, e nesse caso utiliza-se uma solução de pH aproximadamente 3. Após a extracção (rotação), os sólidos são filtrados do extracto líquido e abandonados.</li> <li>Para a análise de voláteis utiliza-se uma solução de pH 5, e um recipiente de extracção a vácuo é utilizado para a separação, agitação e filtração sólido/líquido.</li> <li>O líquido extraído da mistura sólido/ácido é combinado com qualquer líquido original separado do material sólido e é analisado para detectar a presença de contaminantes específicos.</li> <li>Se <i>qualquer</i> dos contaminantes no extracto satisfaz ou excede qualquer dos níveis de concentração máximos permitidos para os contaminantes especificados, o resíduo é classificado como um resíduo perigoso com características tóxicas.</li> </ol>

<sup>1</sup> Environmental Protection Agency

**Tabela 4.3 – Produtos domésticos perigosos típicos**

Característica	Preocupações	Deposição
<b>Produtos de limpeza domésticos</b>		
Pós de limpeza abrasivos	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
Aerossóis	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza com amoníaco	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos ou diluição de pequenas quantidades
Cloro para branqueamento	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos ou diluição de pequenas quantidades
Produtos cáusticos	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
Polidores de mobília	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza de vidro	Irritante	Diluição de pequenas quantidades
Medicamentos fora de prazo	Perigoso para outros na família	Diluição de pequenas quantidades ou descarga nos lavabos
Produtos de limpeza de fornos	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza de calçado	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Polidores de prata	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza de manchas	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza sanitária	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
Produtos de limpeza de estofos e carpetes	Inflamável e/ou corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
<b>Produtos de cuidados pessoais</b>		
Loções para cabelo	Venenoso	Diluição de pequenas quantidades ou descarga nos lavabos
Champôs medicinais	Venenoso	Diluição de pequenas quantidades ou descarga nos lavabos
Removedores de verniz	Venenoso, inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Álcool profilático	Venenoso	Diluição de pequenas quantidades ou descarga nos lavabos
<b>Produtos para automóvel</b>		
Anticongelante	Venenoso	Instalação de resíduos perigosos
Fluido de travões e transmissão	Inflamável	Instalação de resíduos perigosos
Baterias de carros	Corrosivo	Centro de reciclagem/ reparação
Combustível gasóleo	Inflamável	Centro de reciclagem
Querosene	Inflamável	Centro de reciclagem
Gasolina	Inflamável, venenoso	Instalação de resíduos perigosos
Óleo residual	Inflamável	Centro de reciclagem
<b>Produtos para tinta</b>		
Esmalte, tintas à base de óleo, látex ou água	Inflamável	Doação ou instalação de resíduos perigosos
Solventes e espessantes para tintas	Inflamável	Reutilização ou instalação de resíduos perigosos
<b>Produtos diversos</b>		
Baterias	Corrosivo	Centro de reciclagem ou instalação de resíduos perigosos
Químicos fotográficos	Corrosivo, venenoso	Instalação de resíduos perigosos ou doação a loja de fotografia
Ácidos e cloro para piscinas	Corrosivo	Instalação de resíduos perigosos
<b>Pesticidas, herbicidas, e fertilizantes</b>		
Incluindo insecticidas de jardim, exterminadores de formigas e baratas, exterminadores de ervas daninhas, etc.	Venenoso: alguns são inflamáveis	Instalação de resíduos perigosos ou Departamento da Agricultura
Fertilizantes químicos	Venenoso	Instalação de resíduos perigosos ou Departamento da Agricultura
Insecticida doméstico	Venenoso	Instalação de resíduos perigosos

**Tabela 4.4 – Distribuição de materiais residuais perigosos encontrados em RSU residenciais e comerciais**

<b>Item</b>	<b>Porcentagem</b>
Produtos domésticos e de limpeza	40,0
Produtos de cuidados pessoais	16,4
Produtos para automóveis	30,1
Produtos para pintura e relacionados	7,5
Pesticidas, insecticidas, e herbicidas	2,5
Outros	3,5

**Tabela 4.5 – Distribuição de materiais residuais perigosos recolhidos durante dias destinados à recolha de resíduos perigosos**

<b>Resíduo perigoso</b>	<b>Porcentagem do total</b>
Tinta à base de óleo	31,9
Solventes	15,4
Tinta de látex	12,1
Pesticidas	9,9
Latas de óleo vazias	8,8
Produtos de limpeza	8,3
Óleo residual	5,0
Ácidos/ bases	4,0
Produtos de petróleo	1,7
Outros	2,9

**Tabela 4.6 – Compostos de resíduos perigosos, produzidos por actividades comerciais, industriais, e agrícolas, que são tipicamente encontrados nos RSU**

Nome	Fórmula/ símbolo	Utilização	Preocupação
<b>Não metais</b>			
Arsénio	As	Aditivo para ligas metálicas, especialmente cobre e chumbo e cobre de <i>chumbos</i> , grelhas para baterias, revestimento de cabos, tubos de caldeira e cilindros	Carcinogénese e mutagénese. Longo-prazo: por vezes pode provocar fadiga e perda de energia; dermatite
Selénio	Se	Electrónica, chapas xerográficas, câmaras de TV, fotocélulas, núcleos de computador magnéticos, baterias solares, rectificadores, relés, cerâmicos (colorantes para vidro), aço e cobre, agente vulcanizante, catalizador, elemento residual em alimentos para animais	Longo-prazo: manchas vermelhas nos dedos, dentes e cabelo; fraqueza geral; depressão; irritação de nariz e boca
<b>Metais</b>			
Bário	Ba	Ligas de absorvente metálico em tubos de vácuo, desoxidante para cobre, metal de Frary, lubrificante para ânodos de rotores em tubos de raios-X, ligas de velas de ignição	Inflamável à temperatura ambiente na forma de pó. Longo-prazo: aumento da pressão arterial e bloqueamento nervoso
Cádmio	Cd	Revestimentos electrodepositados e de banho, chumaceiras e ligas de baixo ponto de fusão, ligas de estanho, sistema de protecção contra fogo, baterias de armazenamento níquel-cádmio, fio de transmissão de energia, fósforo da TV, bases de pigmentos utilizados em esmaltes cerâmicos, esmaltes de máquinas, fungicidas, fotografia e litografia, rectificadoras de selénio, eléctrodos para lâmpadas de vapor de cádmio e células fotoeléctricas	Inflamável na forma de pó, Tóxico por inalação de pó ou fumo. Cancerígeno. Compostos solúveis de cádmio são altamente tóxicos. Longo-prazo: Concentra-se no fígado, rins, pancreas, e tiróide; suspeita-se de efeitos de hipertensão
Crómio	Cr	Elemento de liga e deposição nos metais e substratos plásticos para resistência à corrosão, aços inoxidáveis e que contenham crómio, revestimento protector para equipamento e acessórios de automóvel, pesquisa nuclear e a temperatura elevada, constituinte de pigmentos inorgânicos	Os compostos de crómio hexavalente são cancerígenos e corroem os tecidos. Longo-prazo: sensibilização da pele e danos nos rins
Chumbo	Pb	Baterias de armazenamento, aditivo para gasolina, pigmentos para tinta, revestimento de cabos, munição, tubagem, forragem de tanques, liga para soldadura e fusíveis, amortecimento de vibrações na construção pesada, chapas, metal branco e outras ligas anti-fricção	Tóxico através de ingestão ou inalação de pó ou fumos. Longo-prazo: danos no cérebro, sistema nervoso, e rins; defeitos congénitos
Mercúrio	Hg	Amalgamas, catalisador, aparelhos eléctricos, cátodos para produção de cloro e soda cáustica, instrumentos, lâmpadas de vapor de mercúrio, revestimento de espelhos, lâmpadas de arco, caldeiras	Altamente tóxico através de absorção cutânea e inalação de fumo ou vapor. Longo-prazo: tóxico para o sistema nervoso central; pode causar defeitos congénitos
Prata	Ag	Manufactura de nitrato de prata, brometo de prata, químicos de fotografia; forragem de cofres e outro equipamento de recipientes para reacções químicas, destilação de água, etc.; espelhos, condutores eléctricos, deposição de prata, equipamento electrónico; purificação de água, cimentos cirúrgicos; catalisador de hidratação e oxidação, baterias especiais, células solares, reflectores para torres solares; ligas de brazagem de baixa-temperatura; cutelaria; joalheria; equipamento dental, médico e científico; contactos eléctricos; metal anti-fricção; bobines magnéticas; amalgamas dentárias. A prata coloidal é utilizada como um agente nucleante na fotografia e medicina, frequentemente combinada com proteínas	Metal tóxico. Longo-prazo: descoloração acinzentada permanente da pele, olhos, e membranas mucosas
<b>Compostos orgânicos</b>			
Benzeno (benzol)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Manufactura do etilbenzeno (para monómeros de estireno); dodecilbenzeno (para detergentes); ciclohexano (para nylon); fenol; nitrobenzeno (para anilina); hexacloroeto de clorobenzeno; como solvente	Cancerígeno. Altamente tóxico. Inflamável; perigoso risco de incêndio

Nome	Fórmula/ símbolo	Utilização	Preocupação
Etilbenzeno (Feniletano)	$C_6H_5C_2H_5$	Intermediário na produção de estireno; solvente	Tóxico por ingestão, inalação e absorção cutânea; irritação para a pele e olhos. Inflamável, perigoso risco de incêndio
Tolueno (metilbenzeno)	$C_6H_5CH_3$	Gasolina de aviação e combustível de altas octanas; manufatura de benzeno e fenol; solvente para tintas e revestimentos, chicletes, resinas, maior parte dos óleos, borracha, organosóis de vinilo; diluentes e espessadores em lacas de nitrocelulose; solvente adesivo nos brinquedos plásticos e modelos de aviões; químicos (ácido benzóico, benzil e derivados de benzóil, sacarina, medicamentos, corantes, perfumes); fonte de toluenediisocianatos (resinas de poliuretano); explosivos (TNT); sulfonatos de tolueno (detergentes); balcões cintilantes	Inflamável, perigoso risco de incêndio. Tóxico por ingestão, inalação e absorção cutânea
Compostos halogenados			
Clorobenzeno (fenilcloroeto)	$C_6H_5Cl$	Fenol, cloronitrobenzeno, anilina, portador de solvente para metileno diocianato, solvente, pesticida intermédio, transferência de calor	Risco de incêndio moderado. Tóxico por inalação e contacto cutâneo
Cloroetano (Cloroeto de vinil)	$CH_2CHCl$	Cloroeto de polivinil e copolímeros, síntese orgânica, adesivos para plásticos	Extremamente tóxico e perigoso por todas as vias de exposição. Cancerígeno
Diclorometano (Cloroeto de metileno)	$CH_2Cl_2$	Removedores de tinta, desengordurante de solvente, processamento de plásticos, agentes de expansão em espumas, extração de solventes, solvente para acetato de celulose	Tóxico. Cancerígeno, narcótico
Tetracloroetano (Tetracloroetileno, percloroetileno)	$CCl_2CCl_2$	Solvente de limpeza a seco, solvente desengordurante a vapor, agente de secagem para metais e outros determinados sólidos, vermífugo, meio de transferência de calor, manufatura de fluorcarbonos	Irritante para olhos e pele
Pesticidas, herbicidas, insecticidas			
Endrin <sup>TM</sup>	$C_{12}H_8OCl_6$	Insecticida e fumegante	Tóxico por inalação e absorção cutânea, cancerígeno
Lindane <sup>TM</sup>	$C_6H_6Cl_6$	Pesticida	Tóxico por inalação, ingestão e absorção cutânea
Methoxychlor <sup>TM</sup>	$Cl_3CCH(C_6H_4OCH_3)_2$	Insecticida	Material tóxico
Toxaphene <sup>TM</sup>	$C_{10}H_{10}Cl_8$ , aproximadamente	Insecticida e fumegante	Tóxico por inalação, ingestão e absorção cutânea
Silvex	$Cl_3C_6H_2OCH(CH_3)COOH$	Herbicida, regulador do crescimento das plantas	Material tóxico; uso restricto

**Tabela 4.7 – Riscos associados com a não persistência e persistência de resíduos orgânicos**

Compostos típicos	Riscos
Resíduos orgânicos não persistentes	
Óleo, solventes de baixo peso molecular, alguns pesticidas biodegradáveis (organofosfatos, carbamidas, triazinas, anilinas, ureias), óleos residuais, maior parte dos detergentes	Problemas de toxicidade essencialmente para o ambiente e biota na fonte ou ponto de deposição. Os efeitos tóxicos ocorrem rapidamente após exposição (aguda e subaguda).
Resíduos orgânicos persistentes	
Hidrocarbonetos cloretados e aromáticos de elevado peso molecular, alguns pesticidas (insecticidas cloretados tais como hexaclorobenzeno, DDT, DDE, Lindane; PCBs, ftalatos	Podem ocorrer efeitos tóxicos imediatos (agudos e subagudos) na fonte ou ponto de deposição. Toxicidade crónica a longo-prazo é uma possibilidade. O transporte de resíduos orgânicos da fonte pode ter como consequência a contaminação e bioconcentração na cadeia alimentar. O transporte ambiental pode expor a biota a níveis mais baixos de poluentes, tendo como resultado a toxicidade crónica.

$$\frac{d[C]}{dt} = -k_T C \quad (4.1)$$

onde  $[C]$  = concentração no tempo  $t$

$t$  = tempo

$k_T$  = constante da lei de Henry, adimensional

\*\*\*

$$\ln \frac{[C_0]}{[C]} = k_T t \quad (4.2)$$

onde  $[C_0]$  = concentração para tempo zero

\*\*\*

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_T} = \frac{0,69}{k_T} \quad (4.3)$$

Exemplo: Determine o tempo necessário para que as concentrações de tolueno e Dieldrin<sup>®</sup> derramado numa lagoa pouco profunda de tratamento de lixiviados sejam reduzidas para metade dos seus valores iniciais. Assuma que as constantes de remoção de 1ª ordem para o tolueno e Dieldrin são 0,0665/h e  $2,665 \times 10^{-5}$ /h, respectivamente.

Utiliza-se a equação (4.3) para determinar o tempo necessário para que as concentrações na lagoa de tratamento atinga metade dos seus valores originais.

$$1. \text{ Para o tolueno} \quad t_{1/2} = \frac{0,69}{k_T} = \frac{0,69}{0,0665/h} = 10,4 \text{ h}$$

$$2. \text{ Para o Dieldrin}^1 \quad t_{1/2} = \frac{0,69}{2,665 \times 10^{-5} /h} = 25891 \text{ h}$$

$$\frac{C_g}{C_s} = H_c \quad (4.4)$$

onde  $C_g$  = concentração dos compostos orgânicos voláteis na fase gasosa,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$C_s$  = concentração de saturação dos compostos orgânicos voláteis no líquido,  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$H_c$  = reacção de 1ª ordem a velocidade constante

\*\*\*

$$H_c = \frac{H}{RT} \quad (4.5)$$

onde  $H_c$  = constante da lei de Henry, adimensional como na equação (4.4)

$H$  = valores constantes para a lei de Henry,  $\text{m}^3 \cdot \text{atm}/\text{g mole}$

$R$  = constante da lei dos gases universais,  $0,000082057 \text{ m}^3 \cdot \text{atm}/\text{g mole} \cdot \text{K}$

$T$  = temperatura, K (273+°C)

---

<sup>1</sup>O tempo necessário para que a concentração de Dieldrin atinga metade do seu valor inicial pode ser usado como argumento para o desenvolvimento e utilização de químicos agrícolas que são mais prontamente miscíveis no ambiente.

A lei de Henry, expressa em termos da pressão parcial do gás acima do líquido e da fração molar do gás dissolvido no líquido é dada por:

$$P_g = Hx_g \quad (4.6)$$

onde  $P_g$  = pressão parcial do gás, atm

$H$  = constante da lei de Henry

$x_g$  = fração molar de equilíbrio do gás dissolvido

$$= \frac{\text{moles do gás } (n_g)}{\text{moles do gás } (n_g) + \text{moles da água } (n_w)}$$

**Tabela 4.8 – Constantes da lei de Henry para alguns gases comuns em aterros**

T, °C	$H \times 10^4$ , atm/fracção molar							
	Ar	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
0	4,32	0,0728	3,52	5,79	0,0268	2,24	5,29	2,55
10	5,49	0,104	4,42	6,36	0,0367	2,97	6,68	3,27
20	6,64	0,142	5,36	6,83	0,0483	3,76	8,04	4,01
30	7,71	0,186	6,20	7,29	0,0609	4,49	9,24	4,75
40	8,70	0,233	6,96	7,51	0,0745	5,20	10,4	5,35
50	9,46	0,283	7,61	7,65	0,0884	5,77	11,3	5,88
60	10,1	0,341	8,21	7,65	0,1030	6,26	12,0	6,29

**Tabela 4.9 – Relações entre as constantes da lei de Henry e a tendência de um composto orgânico para se volatilizar**

Constante da lei de Henry ( $K_H$ ), m <sup>3</sup> atm/gmol	Comentários sobre o mecanismo de transferência
$<10^{-7}$	A substância é essencialmente não volátil
$10^{-7} < K_H < 10^{-5}$	A resistência da fase gasosa domina a resistência da fase líquida por um factor de 10 pelo menos; assim, a substância volatiliza-se lentamente.
$10^{-5} < K_H < 10^{-3}$	As resistências da fase líquida e gasosa são ambas importantes. A volatilização dos compostos nesta gama é menos rápida do que para compostos numa gama de $K_H$ superior, mas é ainda um mecanismo de transferência significativo.
$>10^{-3}$	A resistência da fase líquida domina. Assim, a transferência é controlada pela fase líquida e estas substâncias são altamente voláteis.



**Tabela 4.10 – Propriedades físicas de alguns compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis<sup>1</sup>**

Compostos	Fórmula	pm <sup>2</sup>	pf, °C <sup>3</sup>	pe, °C <sup>4</sup>	pv <sup>5</sup>	ge <sup>6</sup>	Sol., mg/L <sup>7</sup>	C <sub>s</sub> <sup>8</sup> , g/m <sup>3</sup>	K <sub>H</sub> , m <sup>3</sup> ·atm/g·mol <sup>9</sup>	log K <sub>OW</sub> <sup>10</sup>
Benzeno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	5,5	80,1	76	0,8786	1780	319	5,43-5,49 × 10 <sup>-3</sup>	2,13-2,12
Clorobenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,56	-45	132	8,8	1,1066	500	54	3,70 × 10 <sup>-3</sup>	2,18-3,79
o-Diclorobenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	147,01	18	180,5	1,60	1,036	150	N/A	1,2-1,7 × 10 <sup>-3</sup>	3,38-3,40
Etilbenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	106,17	-94,97	136,2	7	0,867	152	40	8,43 × 10 <sup>-3</sup>	3,13
1,2-Dibromoetano	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	187,87	9,8	131,3	10,25	2,18	2699	93,61	6,29 × 10 <sup>-4</sup>	1,48
1,1-Dicloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	-97,4	57,3	297	1,176	7840	160,93	5,1-5,81 × 10 <sup>-3</sup>	N/A
1,2-Dicloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	-35,4	83,5	61	1,25	8690	350	1,14 × 10 <sup>-3</sup>	1,45-1,48
1,1,2,2-Tetracloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	167,86	-36	146,2	14,74	1,595	2800	13,10	4,2-4,55 × 10 <sup>-4</sup>	2,389
1,1,1-Tricloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	133,42	-32	74	100	1,35	4400	715,9	3,6 × 10 <sup>-3</sup>	2,49-2,17
1,1,2-Tricloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	133,42	-36,5	133,8	19	N/A	4400	13,89	0,77-1,20 × 10 <sup>-4</sup>	2,07
Cloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	62,5	-153	-13,9	2548	0,912	6000	8521	1,07-6,4 × 10 <sup>-2</sup>	1,38
1,1-Dicloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	96,94	-122,1	31,9	500	1,21	5000	2640	0,03-1,51 × 10 <sup>-2</sup>	2,13
Cis-1,2-Dicloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	96,94	-80,5	60,3	200	1,284	800	104,39	3,37-4,08 × 10 <sup>-3</sup>	1,86
Trans-1,2-Dicloroetano	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	96,94	-50	48	269	1,26	6300	1428	6,7-4,05 × 10 <sup>-3</sup>	2,06
Tetracloroetano	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	165,83	-22,5	121	15,6	1,63	160	126	2,85 × 10 <sup>-2</sup>	2,5289
Tricloroetano	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	131,4	-87	86,7	60	1,46	1100	415	1,03-1,17 × 10 <sup>-2</sup>	2,4200
Bromodiclorometano	CHBrCl <sub>2</sub>	163,8	-57,1	90	N/A	1,971	N/A	N/A	2,12 × 10 <sup>-3</sup>	1,9
Clorodibromometano	CHBr <sub>2</sub> Cl	208,29	<-20	120	50	2,451	N/A	N/A	8,4 × 10 <sup>-4</sup>	N/A
Diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,93	-97	39,8	349	1,327	20000	1702	3,04 × 10 <sup>-3</sup>	N/A
Tetraclorometano	CCl <sub>4</sub>	153,82	-23	76,7	90	1,59	800	754	2,86 × 10 <sup>-2</sup>	2,7300
Tribromometano	CHBr <sub>3</sub>	252,77	8,3	149	5,6	2,89	3130	7,62	5,84 × 10 <sup>-4</sup>	N/A
Triclorometano	CHCl <sub>3</sub>	119,39	-64	62	160	1,49	7840	1027	3,10-4,35 × 10 <sup>-3</sup>	1,90-1,97
1,2-Dicloropropano	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	112,99	-100,5	96,4	41,2	1,156	2600	25,49	2,07-2,75 × 10 <sup>-3</sup>	1,99-2,30
2,3-Dicloropropeno	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>	110,98	-81,7	94	135	1,211	insol.	110	N/A	N/A
Trans-1,3-Dicloropropeno	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>	110,97	N/A	112	99,6	1,224	515	110	N/A	N/A
Tolueno	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,13	-95,1	110,8	22	0,867	515	110	5,94-6,44 × 10 <sup>-3</sup>	2,21-2,73

<sup>1</sup> Todos os valores dizem respeito a 20°C

<sup>2</sup> pm = peso molecular

<sup>3</sup> pf = ponto de fusão

<sup>4</sup> pe = ponto de ebulição a 760 mm Hg

<sup>5</sup> pv = pressão de vapor

<sup>6</sup> ge = gravidade específica

<sup>7</sup> Sol. = solubilidade na água

<sup>8</sup> C<sub>s</sub> = concentração de saturação no ar

<sup>9</sup> K<sub>H</sub> = constante da lei de Henry

<sup>10</sup> log K<sub>OW</sub> = logaritmo do coeficiente de partição octanol:água

Exemplo: Dados os seguintes compostos de resíduos perigosos que podem ser encontrados nos RSU, ordene-os por ordem decrescente de volatilidade, e discuta a sua volatilidade relativa:

Benzeno

Cloroetano

1,1,2,2 – Tetracloroetano

Tetracloroetano

Tetraclorometano

Tolueno

Com base na tabela 4.10 ordena-se os compostos de acordo com o seu ponto de ebulição, como na tabela abaixo.

Compostos	pm	pe, °C	pv	$K_H, m^3 \text{atm/g mol}$
Cloroetano	62,5	-13,9	2548	$1,07-6,4 \times 10^{-2}$
Tetraclorometano	153,82	76,7	90	$2,86 \times 10^{-2}$
Benzeno	78,11	80,1	76	$5,43-5,49 \times 10^{-3}$
Tolueno	92,13	110,8	22	$5,94-6,44 \times 10^{-3}$
Tetracloroetano	165,83	121	15,6	$2,85 \times 10^{-2}$
1,1,2,2-Tetracloroetano	167,86	146,2	14,74	$4,2-4,55 \times 10^{-4}$

Referindo-nos à tabela acima, o arranjo proposto relativamente ao ponto de ebulição corresponde ao modo como os compostos estariam ordenados relativamente à pressão de vapor. Baseando-nos nas constantes da lei de Henry, todos os compostos seriam considerados altamente voláteis.

Baseado nos pontos de ebulição, pode concluir-se que o cloroetano é significativamente mais volátil do que quaisquer outros compostos neste exemplo.

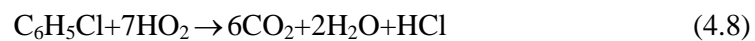
$$\frac{C_{X/A}}{C_{X/B}} = K_D \quad (4.7)$$

onde  $C_{X/A}$  = concentração do soluto  $X$  no solvente  $A$ ,  $\text{g/m}^3$

$C_{X/B}$  = concentração do soluto  $X$  no solvente  $B$ ,  $\text{g/m}^3$

$K_D$  = coeficiente de distribuição ou partição

\*\*\*



**Tabela 4.11 – Tempos de meia-vida e produtos típicos provenientes da hidrólise química ou desidrogenação de compostos alifáticos halogenados a 20°C**

Composto	Meia-vida, anos	Produtos
Metanos		
Bromometano	0,10	
Bromodiclorometano	137	
Triclorometano	1,3	
Tetraclorometano	7000	
Étanos		
Cloroetano	0,12	Etanol
1,1,2-Tricloroetano	170	1,1-Dicloroetano
1,1,1,2-Tetracloroetano	384	Tricloroetano
Etenos		
Tricloroetano	0,9	
Tetracloroetano	0,7	
Propanos		
1-Bromopropano	0,07	Bromopropeno
1,2-Dibromopropano	0,88	

Exemplo: O limite permitido para a deposição do benzeno contido numa lama mista de um processo de tratamento é de 5 ppb. 6 dias após a deposição de alguma lama, foi recolhida uma amostra e analisado o benzeno. A concentração encontrada foi de 1,37 ppb. Se a taxa de remoção de 1ª ordem para o benzeno é de 0,00345/h, determine se a lama poderia ter sido depositada numa aterro se uma amostra tivesse sido analisada na altura em que a lama foi trazida para o aterro.

$$t = \frac{\ln \frac{[C_0]}{[C]}}{k_T} \Leftrightarrow 144 = \frac{\ln \frac{[C_0]}{[C]}}{0,00345/h} \Leftrightarrow \ln [C_0] = 144 \times 0,00345 + \ln [C]$$

$$C_0 = e^{0,8116} = 2,25 \text{ ppb, abaixo do limite permitido}$$

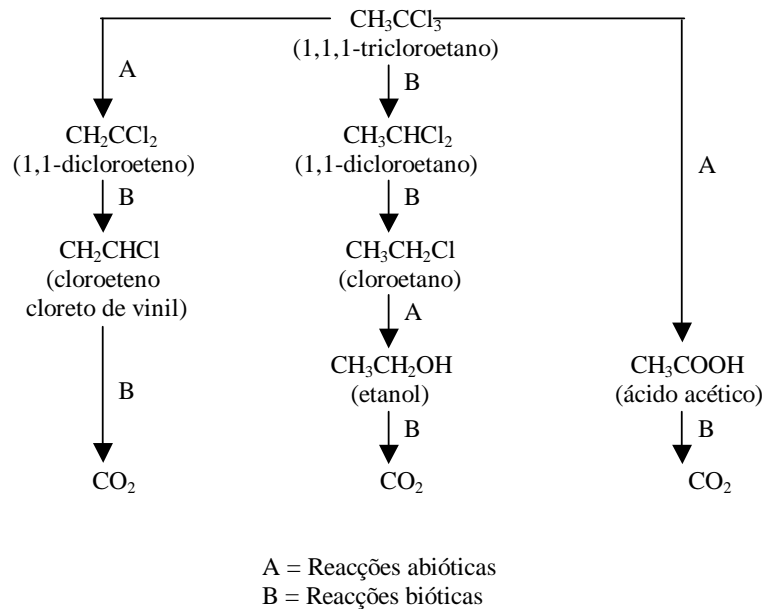


Figura 4.1 – Ramos para a transformação de 1,1,1-Tricloroetano,  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$  sob condições metanogénicas.