

## Tecnologias Ambientais

licenciatura em ciências do ambiente  
&  
complemento de formação em  
engenharia do ambiente

### Tópico 5

## Resíduos

Célia Dias Ferreira  
novembro 2022

# Tópico 5

## Resíduos

Célia Dias Ferreira

### Índice

<b>1. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS</b>	<b>3</b>
<b>2. PROPRIEDADES E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS</b>	<b>7</b>
<b>3. GESTÃO DE RESÍDUOS</b>	<b>8</b>
3.1 PRODUÇÃO DO RESÍDUO	9
3.2 SEPARAÇÃO NA FONTE	10
3.3 RECOLHA	10
3.4 TRANSPORTE	11
3.5 TRIAGEM	11
3.6 VALORIZAÇÃO	12
3.7 ELIMINAÇÃO DE RESÍDUOS	13
<b>4. OPERAÇÕES UNITÁRIAS</b>	<b>14</b>
4.1 SEPARAÇÃO POR DIMENSÃO	15
4.2 SEPARAÇÃO POR CORRENTE DE AR	15
4.3 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA	15
4.4 SEPARAÇÃO ELECTROMECÂNICA	15
4.5 SEPARAÇÃO ÓTICA E POR INFRAVERMELHOS	16
4.6 TRITURAÇÃO	16
4.7 COMPACTAÇÃO E ENFARDAMENTO	16
<b>5. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS</b>	<b>17</b>
5.1 COMPOSTAGEM	17
5.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA	17
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>18</b>

## 1. Definição e classificação de resíduos

Os **resíduos** são definidos legalmente como as substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer (DL 102-D/2020).

Existem muitas maneiras diferentes de classificar os resíduos. Por exemplo, consoante o setor de origem estes podem ser urbanos, industriais, hospitalares ou agrícolas. Se forem consideradas as características de perigosidade, a classificação pode ser entre resíduos perigosos e resíduos não perigosos.

Existem também definições que se relacionam com o tipo de resíduos, por exemplo resíduos alimentares, resíduos de construção e demolição, resíduos de embalagens, etc.

Apresentam-se de seguida algumas definições (adaptação do DL 102-D/2020):

**Resíduo agrícola:** resíduo proveniente de exploração agrícola e/ou pecuária ou similar

**Resíduo do comércio, serviços e restauração:** resíduo resultante das atividades de comércio, serviços e restauração

**Resíduo de construção e demolição:** resíduo proveniente de atividades de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações;

**Resíduo hospitalar:** resíduo resultante de atividades de prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou a animais, nas áreas da prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou investigação e ensino, bem como de outras atividades envolvendo procedimentos invasivos, tais como acupuntura, piercings e tatuagens, e o resíduo resultante da tanatopraxia

**Resíduo industrial:** resíduo resultante de atividades industriais, bem como o que resulte das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás e água;

**Resíduo urbano:** é o resíduo

- (i) de recolha indiferenciada e de recolha seletiva das habitações, incluindo papel e cartão, vidro, metais, plásticos, biorresíduos, madeira, têxteis, embalagens, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, resíduos de pilhas e acumuladores, bem como resíduos volumosos, incluindo colchões e mobiliário; e
- (ii) de recolha indiferenciada e de recolha seletiva provenientes de outras origens, caso sejam semelhantes aos resíduos das habitações na sua natureza e composição;

**Resíduo perigoso:** resíduo que apresenta uma ou mais características de perigosidade e que por isso poderá provocar danos sérios ao ambiente ou na saúde e segurança dos seres humanos. As características que tornam os resíduos perigosos são variadas e estão identificadas na **tabela 1**, de acordo com a legislação em vigor.

**Tabela 1:** Classificação de resíduos perigosos de acordo com as suas características de perigosidade (adap. do REGULAMENTO (UE) Nº 1357/2014 de 18 de dezembro de 2014)

Característica do resíduo	Definição
Explosivo	Resíduo susceptível de, por reação química, produzir gases a uma temperatura, uma pressão e uma velocidade tais que podem causar danos nas imediações. Incluem-se os resíduos de pirotecnia, os resíduos de peróxidos orgânicos explosivos e os resíduos autorreativos explosivos)
Comburente	Resíduo que pode causar ou contribuir para a combustão de outras matérias, em geral por fornecimento de oxigénio
Inflamável	(i) Resíduo líquido inflamável: resíduo líquido cujo ponto de inflamação é inferior a 60 °C, ou resíduo de gasóleo, de combustível para motores diesel ou de petróleos para aquecimento doméstico cujo ponto de inflamação é superior a 55 °C mas não superior a 75 °C;  (ii) resíduo pirofórico inflamável líquido ou sólido: resíduo líquido ou sólido que, mesmo em pequenas quantidades, pode inflamar-se no prazo de cinco minutos após entrar em contacto com o ar;  (iii) resíduo sólido inflamável: resíduo sólido que entra facilmente em combustão ou que, através do atrito, pode causar ou contribuir para a combustão;  (iv) resíduo gasoso inflamável: resíduo gasoso inflamável ao ar à temperatura de 20°C e à pressão normal de 101,3 kPa;  (v) resíduo reativo à água: resíduo que, em contacto com água, emite gases inflamáveis em quantidades perigosas;  (vi) outros resíduos inflamáveis: aerossóis inflamáveis, resíduos inflamáveis por autoaquecimento, peróxidos orgânicos inflamáveis e resíduos autorreativos inflamáveis.
Irritante	Resíduo cuja aplicação pode causar irritação cutânea ou lesões oculares
Tóxico para órgãos-alvo específicos (STOT) / tóxico por aspiração	Resíduo que pode causar toxicidade em órgãos-alvo específicos em resultado de uma exposição única ou repetida ou que causa efeitos tóxicos agudos por aspiração

Característica do resíduo	Definição
Toxicidade aguda	Característica do resíduo que pode causar efeitos tóxicos agudos na sequência de administração oral ou cutânea ou de exposição por inalação
Cancerígeno	Resíduo que induz cancro ou aumenta a sua incidência
Corrosivo	Resíduo que, por aplicação, pode causar corrosão da pele
Infecioso	Resíduo que contém microrganismos viáveis ou suas toxinas, em relação aos quais se sabe ou há boas razões para crer que causam doenças nos seres humanos ou noutros organismos vivos
Tóxico para a reprodução	Resíduo que apresenta efeitos adversos na função sexual e na fertilidade de homens e mulheres adultos, bem como toxicidade sobre o desenvolvimento dos descendentes.
Mutagénico	Resíduo que pode causar uma mutação, ou seja, uma alteração permanente da quantidade ou da estrutura do material genético de uma célula
Libertação de um gás com toxicidade aguda	Situação em que o resíduo, em contacto com água ou ácido, liberta gases caracterizados por toxicidade aguda
Sensibilizante	Resíduo que contém uma ou mais substâncias que, comprovadamente, têm efeitos sensibili zantes na pele ou no aparelho respiratório
Ecotóxico	Resíduo que representa ou pode representar um risco imediato ou diferido para um ou vários setores do ambiente.

Também são considerados resíduos perigosos aqueles que são susceptíveis de vir a apresentar uma das características de perigosidade acima enumeradas, mesmo que esta característica não seja exibida pelo resíduo original.

Igualmente, mesmo que os resíduos não revelem a presença de nenhuma das características de perigosidade acima referidas, poderão ainda ser considerados perigosos se contiverem POPs - poluentes orgânicos persistentes - acima de determinadas concentrações (para mais detalhes consultar Decisão 2014/955/UE, da Comissão e o anexo IV do Regulamento (UE) nº 2019/1021).

---

## LISTA EUROPEIA DE RESÍDUOS

A **LER** é a lista europeia de resíduos e permite classificar todos os resíduos de forma inequívoca com base num sistema de 6 dígitos, o designado **código LER**. A LER está dividida em 20 capítulos numerados de 01 a 20, cada um dos quais diz respeito a uma área específica ou a uma atividade onde são gerados resíduos. Por exemplo:

- Capítulo **01**: Resíduos da prospeção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas
- Capítulo **17**: resíduos de construção e de demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)

Cada capítulo encontra-se por sua vez dividido em vários subcapítulos, identificados com um código de 4 dígitos, em que os dois primeiros são os referentes ao capítulo e os dois últimos são os referentes ao subcapítulo. Apresenta-se a título de exemplo:

- Subcapítulo **01 05**: **Lamas e outros resíduos de perfuração**, que pertence ao Capítulo 1
- Subcapítulo **17 01**: **Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos**, que pertence ao Capítulo 17

Cada subcapítulo por sua vez subdivide-se em várias entradas, cada uma das quais corresponde um resíduo. Cada resíduo é identificado com um código de 6 dígitos, os dois primeiros dizem respeito ao capítulo, os dois seguintes ao subcapítulo e os dois últimos ao resíduo em si. A título de exemplo:

- entrada **01 05 04** **Lamas e outros resíduos de perfuração, contendo água doce**, que pertence ao subcapítulo 05 do Capítulo 1
- entrada **17 01 02** **tijolos**, que pertence ao subcapítulo 01 do Capítulo 17

Os resíduos perigosos estão identificados na LER com um asterisco, como por exemplo:

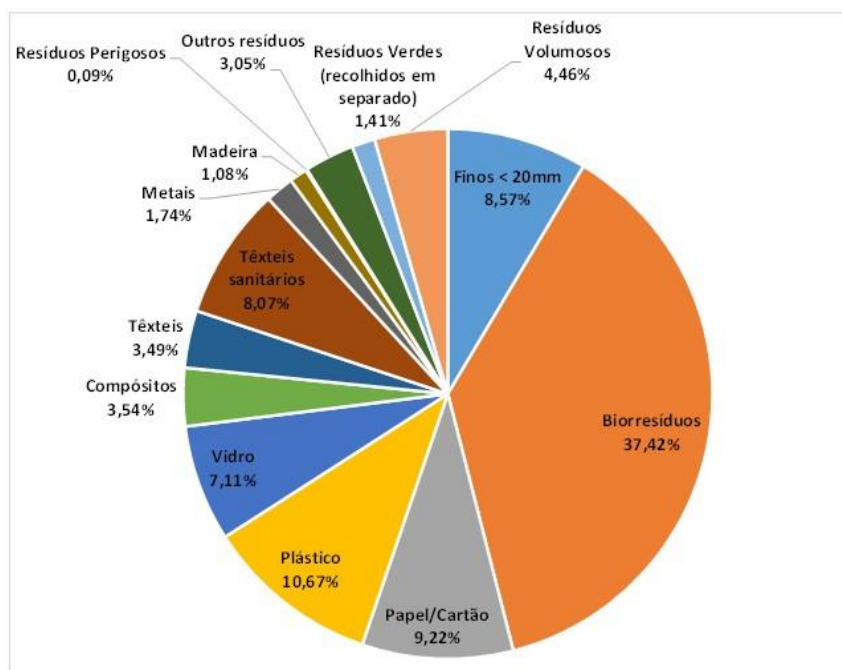
- **01 05 05\*** **Lamas e outros resíduos de perfuração, contendo hidrocarbonetos**
- **17 06 01\*** **Materiais de isolamento, contendo amianto**

## 2. Propriedades e composição dos resíduos

O conhecimento das propriedades dos resíduos é essencial na definição dos procedimentos para a sua correta gestão.

Normalmente distinguem-se entre características físicas e químicas. Entre as características físicas mais importantes salientam-se a densidade, humidade e o tamanho das partículas (granulometria).

Os resíduos são normalmente constituídos por diferentes materiais e a composição física dos resíduos indica a percentagem de cada constituinte na mistura final, permitindo comparar o contributo relativo de diferentes materiais (**figura 1**).



**Figura 1:** Caracterização física média dos resíduos urbanos produzidos em Portugal Continental em 2021 (Fonte: APA, 2021)

Conhecer a composição química dos resíduos é também importante, e esta pode ser obtida pela análise elementar, isto é a percentagem de cada elemento presente nos resíduos (ver exemplo na tabela 2).

Esta informação pode ajudar a identificar a necessidade de correção de nutrientes à entrada da compostagem (a razão C/N deve estar entre determinados valores pré-definidos) ou avaliar se um resíduo deve ou não ser incinerado com base em parâmetros como o teor de carbono, as cinzas, o teor em sólidos voláteis ou o poder calorífico.

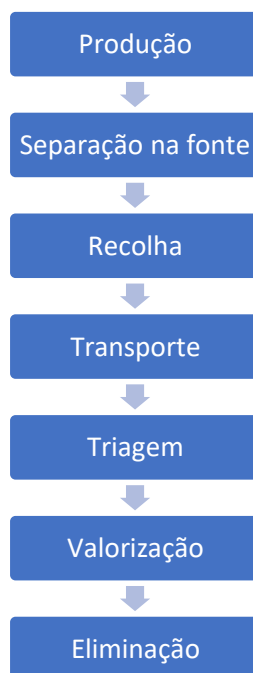
**Tabela 2:** Exemplo de uma ficha de caracterização de um resíduo (**btq**: base tal e qual, significa que no peso é incluída a água contido no resíduo; **bs**: base seca, significa que apenas é considerado o resíduo seco a 105°C, isto é, sem água)

Componente	Peso % (btq)	Humidade % (btq)	Cinza % (bs)	Elemento, % (bs)				
				C	H	O	N	S
Orgânicos	35	70	4,6	48	6	38	3	0,4
putrescíveis	26	6	4,5	44	6	45	0,3	0,2
Papel/Cartão	7	10	1,8	55	7	31	5	0,2
Têxteis	11	2	10,0	60	7	23	0	0
Plásticos	21	2	100,0	-	-	-	-	-

### 3. Gestão de resíduos

A gestão de resíduos refere-se ao conjunto de todas as atividades relacionadas com os resíduos, desde a produção até ao destino final, onde se inclui a recolha, transporte, a triagem, a valorização e a eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação após encerramento, e as medidas tomadas na qualidade de comerciante de resíduos ou corretor de resíduo.

Nesta seção são apresentadas de forma resumida as principais etapas da gestão de resíduos.



**Figura 2:** principais etapas da gestão de resíduos

### 3.1 Produção do resíduo

Os resíduos são gerados nas atividades de produção e consumo de bens, incluindo as etapas de extração de matérias-primas, transformação, utilização e descarte (após utilização).

Existem assim resíduos da produção dos bens (resíduos da extração, resíduos agrícolas, resíduos industriais) e resíduos pós-consumo (resíduos urbanos).

A maior parte dos bens de consumo gera muito mais resíduos na fase de produção do que gera na fase pós-consumo. A título de exemplo, um anel de ouro de alguns gramas origina mais de 20 toneladas de resíduos ao ser produzido (Earthworks, 2022). Os resíduos da fase de produção são praticamente “invisíveis” para o consumidor, que não tem consciência destes.

Como os recursos são finitos e o descarte de resíduos constitui uma pressão sobre os recursos naturais, o objetivo é minimizar os efeitos adversos, reduzindo a produção de resíduos e a sua perigosidade.

A melhor forma de reduzir os resíduos é diminuir a quantidade consumida de bens e produtos e incrementar a reutilização e recuperação dos materiais contidos nos resíduos

Outra forma é reduzir a quantidade de matérias-primas no fabrico de um produto. Por exemplo, os automóveis nos EUA são atualmente 20% mais pequenos do que na década de 50 e 60 do século passado, o que significa menos aço utilizado e menos extração de ferro. Ainda outra solução é repensar a embalagem (**figura 3**).



**Figura 3:** Imagem do site “Bored Panda” acompanhada da frase “é pena que a Natureza não tenha arranjado uma maneira de cobrir estas laranjas, pois assim não teríamos que desperdiçar tanto plástico para as proteger” (tradução livre) [https://www.boredpanda.com/unnecessary-wasteful-packaging/?utm\\_source=google&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=organic](https://www.boredpanda.com/unnecessary-wasteful-packaging/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic)

### **3.2 Separação na fonte**

Após o resíduo ser produzido, e na altura de o descartar, deve-se ter em conta a correta separação, de acordo com as suas características, para otimizar a recolha e permitir a valorização a jusante.

Por exemplo, misturar resíduos perigosos com não perigosos torna todos os resíduos perigosos. No caso dos resíduos hospitalares, não separar objetos cortantes e perfurantes (perfuro-cortantes) como agulhas e bisturis, dos restantes resíduos faz com que todos tenham que ser acondicionados e transportados como perfuro-cortantes. Não separar nas habitações resíduos recicláveis, como o papel, o plástico ou o vidro torna a reciclagem mais difícil e de menor qualidade.

Os fluxos a separar devem seguir as orientações do município (para o caso dos resíduos urbanos) e estar ajustados às infraestruturas e equipamentos de recolha e valorização. Não faz sentido separar se não houver forma de encaminhar de forma adequada o fluxo que está a ser separado. Para o caso dos resíduos urbanos, é comum separar o papel/cartão, as embalagens de plástico e metal, o vidro, e mais recentemente os biorresíduos.

### **3.3 Recolha**

A recolha é a componente mais dispendiosa do sistema de gestão de RU, podendo representar 40 a 70% dos custos totais de gestão; é uma etapa importante, pois a forma como os resíduos são recolhidos condiciona a eficiência das etapas seguintes (valorização, eliminação)

A recolha pode ser responsabilidade do município (caso dos resíduos urbanos) ou de entidades privadas contratadas para o efeito (caso dos restantes resíduos)

Existem diversas formas de classificar a recolha:

- recolha **seletiva** ou **indiferenciada** (consoante o material recolhido)
- recolha **porta-a-porta** (de forma individual, a cada habitação), **coletiva** (em contentores de rua que servem um conjunto de habitações) ou **centralizada** (em local de deposição centralizado, como por exemplo um ecocentro)

A recolha é atualmente uma etapa de grande complexidade técnica, que constitui a interface entre o sistema e os utentes, sendo por isso muito vulnerável ao comportamento dos utentes.

### **3.4 Transporte**

Esta etapa refere-se ao transporte de resíduos entre o último ponto de recolha e o local de destino dos resíduos, ou entre infraestruturas de resíduos, por exemplo da estação de triagem para aterro ou para uma indústria recicladora.

Os meios de transporte de resíduos podem ser **rodoviário** (opção mais generalizada), **fluvial** (caso do sistema existente em Veneza), **ferroviário** ou **marítimo**.

Quando as distâncias de transporte rodoviário são reduzidas, este trajecto é efectuado pelas próprias viaturas de recolha. Mas quando as distâncias são grandes é necessário recorrer à transferência dos resíduos. Considera-se **distância crítica de transporte** a distância a partir da qual deixa de ser económico o transporte directo dos resíduos pelas viaturas afectas à recolha. Nestes casos é preferível fazer o transbordo dos resíduos para veículos de maior capacidade em estações de transferência.

As estações de transferência são instalações onde os resíduos são descarregados com o objectivo de os preparar para serem transportados para o local de tratamento, valorização ou eliminação. As vantagens das estações de transferência são:

- Redução dos custos de transporte;
- Rentabilização da equipa de recolha, pois evita-se a sua inactividade durante a deslocação para despejo da viatura e retorno;
- Possibilidade de um maior aproveitamento dos veículos de recolha, por diminuição das distâncias percorridas;
- Permite a utilização de veículos mais pequenos em meios urbanos;
- Possibilidade de servir várias comunidades;
- Redução do volume dos resíduos (quando são utilizados contentores compactadores, ou recuperação de algumas componentes, quando existe triagem)

### **3.5 Triagem**

Esta operação consiste na separação dos componentes constituintes dos resíduos mediante processos manuais ou mecânicos, sem alteração das suas características, com vista ao seu tratamento.

Pode ocorrer no local onde os resíduos são gerados de forma manual (sendo designada por separação na fonte – ver seção 3.2, ou por triagem preliminar) ou ocorrer noutras etapas (na estação de transferência, nas unidades de valorização).

Numa instalação de triagem podem ser separados muitos plásticos diferentes, de valor económico diferente, de forma automatizada, ou separados os metais ferrosos dos não ferrosos e do alumínio (ver seção seguinte). Os fluxos de materiais a separar são variados e a sua escolha e afinação do processo depende da possibilidade de valorizar cada um dos materiais e da necessidade de não-contaminação de um determinado resíduo com outro.

### 3.6 Valorização

Designa-se por “valorização” qualquer operação de tratamento de resíduos cujo resultado principal seja a utilização, com ou sem transformação, dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico. A valorização também inclui a preparação dos resíduos para o mesmo fim.

No caso da valorização não ter por finalidade nem a produção de energia, nem a produção de combustíveis ou de outros meios de produzir energia, então é designada “valorização material”. Inclui, entre outros, a preparação para reutilização a reciclagem e o enchimento.

As operações de valorização incluem as seguintes operações específicas:

- **Utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia.** Inclui instalações de incineração dedicadas ao processamento de resíduos sólidos urbanos a desde que a sua eficiência energética seja acima de um determinado valor.
- **Recuperação/regeneração de solventes.**
- **Reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas** não utilizadas como solventes, incluindo: compostagem e a digestão anaeróbia, a gaseificação e pirólise que utilizem os componentes como produtos químicos, a reciclagem/recuperação de plásticos, de papel, de madeira e de óleos alimentares usados, a valorização de materiais orgânicos em operações de enchimento e a valorização associada a um Fim de Estatuto de Resíduos.
- **Reciclagem/recuperação de outros materiais inorgânicos**, incluindo a preparação para reutilização de resíduos inorgânicos, a reciclagem de materiais de construção inorgânicos, a reciclagem de resíduos de vidro para a fabricação de vidro, a valorização de materiais inorgânicos em operações de enchimento, a remediação de solos para efeitos da sua valorização, a incorporação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em obra, a valorização associada a um Fim do Estatuto de Resíduos, a reciclagem de resíduos inorgânicos em substituição de matérias-primas para a fabricação de cimento ou para outros processos de fabrico.
- Regeneração de ácidos ou bases.

- Valorização de componentes utilizados na redução da poluição.
- Valorização de componentes de catalisadores.
- Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos, incluindo a regeneração de óleos minerais usados para obtenção de óleos base lubrificantes; a reciclagem de óleos minerais usados para outros usos e a produção de combustíveis.
- Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental, especificamente para cobertura e/ou regularização de caminhos nos aterros, enchimento de vazios de escavação, valorização de resíduos para a recuperação de solos degradados, e utilização de resíduos como matérias-primas subsidiárias
- Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações listadas: Triagem: Mistura de resíduos; tratamentos químicos, produção de combustível derivado de resíduos, despoluição e desmantelamento de veículos em fim de vida, incluindo a remoção das substâncias perigosas, Desmantelamento dos resíduos de equipamento elétrico e eletrónico, incluindo a remoção das substâncias perigosas e outros desmantelamentos, reembalamento ou compactação, desde que isso dê origem a uma alteração de Lista Europeia de Resíduos (LER), secagem e evaporação prévia à valorização dos resíduos, estabilização biológica aeróbia e estabilização biológica anaeróbia, peletização, valorização de RCD caracterizados de acordo com normas ou especificações técnicas.

### **3.7 Eliminação de resíduos**

A eliminação de resíduos inclui operações diversas. As mais comuns são:

- **Depósito** no solo, em profundidade ou à superfície, por exemplo em **aterros**. Os aterros devem estar preparados para recolher os lixiviados (prevenindo a contaminação das águas subterrâneas) e para captar o biogás resultante da degradação da matéria orgânica no interior do aterro. O biogás contém metano, gás com elevado potencial de aquecimento global, que deve ser captado evitando a sua libertação para a atmosfera.
- **Incineração em terra** (a incineração no mar é proibida pela legislação da UE e por convenções internacionais). A incineração permite reduzir o volume e mais de 90% e é um processo utilizado com resíduos urbanos, mas também se adequa a outros resíduos. As principais preocupações com esta operação são a emissão de gases poluentes, incluindo com dioxinas e furanos, mercúrio e metais pesados, sendo por isso importante que estejam equipadas com sistemas de depuração de gases.
- **Tratamento no solo**: os processos físico-químicos e biológicos que naturalmente ocorrem na superfície do solo são utilizados para tratar resíduos biodegradáveis

colocados na parte superior do solo (por exemplo, biodegradação de efluentes líquidos ou de lamas de depuração nos solo).

- **Injeção em profundidade**, como por exemplo, injeção de resíduos por bombagem em poços, cúpulas salinas ou depósitos naturais, formações rochosas porosas, etc.. é utilizada para a eliminação de líquidos provenientes dos resíduos.

Além destas, são também consideradas operações de eliminação:

- **Lagunagem** (por exemplo, descarga de resíduos líquidos ou de lamas de depuração em poços, lagos naturais ou artificiais).
- **Depósitos subterrâneos** especialmente concebidos, como por exemplo a deposição em alinhamentos de células que são seladas e isoladas umas das outras e do ambiente
- **Descarga para massas de água**, incluindo a descarga para mares e/ou oceanos e a inserção nos fundos marinhos.
- **Tratamento biológico** não especificado em qualquer outra operação desta lista e que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer das operações listadas. Inclui-se aqui o Tratamento biológico aeróbio e o Tratamento biológico anaeróbio.
- **Tratamento físico-químico** não especificado em qualquer outra operação desta lista que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer das operações listadas. Inclui-se aqui o **tratamento físico-químico de resíduos líquidos, sólidos e pastosos** (incluindo filtração, rastreio, coagulação/floculação, oxidação/redução, precipitação, decantação/centrifugação, neutralização, destilação, extração), a **imobilização** (incluindo estabilização físico-química e solidificação), a **descontaminação**, a **evaporação**, a **secagem térmica**, a **dessorção térmica**.
- **Armazenagem permanente** (por exemplo, armazenagem de contentores numa mina, etc.).

## 4. Operações unitárias

O processamento de resíduos (triagem, compactação, reciclagem, etc.) requer sistemas de engenharia complexos, que podem potencialmente ter de ser associados a políticas e regulamentos. Estes sistemas apresentam custos muito diversos, dependendo da sua ambição e quantidade de resíduos a processar, mas são sempre construídos com base num conjunto de técnicas de engenharia elementares, designadas operações unitárias. Estas operações unitárias podem ser utilizadas individualmente ou numa qualquer combinação, dependendo dos objetivos a atingir.

De entre todas as operações unitárias, salientam-se algumas como particularmente relevantes, descritas em seguida.

#### ***4.1 Separação por dimensão***

A crivagem é uma operação unitária utilizada para separar misturas de materiais de diferentes dimensões, em uma ou mais fracções, em função do seu tamanho e através de uma ou mais superfícies de crivagem. O tipo de crivos mais utilizados na separação mecânica dos RU são o crivo vibratório, o crivo de tambor rotativo e o crivo de disco.

#### ***4.2 Separação por corrente de ar***

A separação por corrente de ar, operação unitária também designada por elutriação, é utilizada para separar os materiais menos densos (leves) dos mais pesados. Isto consegue-se introduzindo os materiais num fluxo de ar, que arrasta os materiais mais leves deixando os mais pesados.

Nas estações de triagem a classificação por ar é utilizada para separar o material orgânico, normalmente designado por fracção leve, da fracção inorgânica (metais ferrosos e o vidro) mais pesada. Pode ser utilizada também para separar misturas de vidro e de plástico, ou ainda para separar o papel e o cartão dos metais ferrosos e do vidro.

#### ***4.3 Separação magnética***

A separação magnética é uma operação unitária que visa a recuperação de metais ferrosos do fluxo dos resíduos, utilizando as suas propriedades magnéticas. Os metais ferrosos são separados dos restantes usando grandes magnetes, podendo depois ser reutilizados na indústria de metais.

#### ***4.4 Separação electromecânica***

As latas e outras embalagens de alumínio não são separadas pelos processos magnéticos, porque o alumínio é um metal não ferroso. Mas quando se submete o alumínio a um campo elétrico, o alumínio é repelido. Os sistemas que promovem a separação do alumínio são chamados separador de corrente eddy e nestes fazem-se atravessar as embalagens de alumínio por um campo elétrico, dando estas um "salto", permitindo a separação do alumínio dos outros metais (ver vídeo: <https://youtu.be/K2KKmh-CYtg>).

#### **4.5 Separação ótica e por infravermelhos**

Diferentes materiais interagem de forma diferente com a radiação de diferentes comprimentos de onda. Este princípio é utilizado para distinguir materiais usando radiação na zona do visível (em que a cor é o elemento diferenciador), os chamados separadores óticos, ou usando radiação na zona do infravermelho.

Um exemplo é a separação ótica do vidro recolhido no ecoponto em diferentes fluxos: vidro transparente, vidro verde e vidro castanho. Noutro exemplo, uma embalagem de polietileno de alta densidade (PEAD), de detergente da roupa é separada da tampa desse mesma embalagem, feita de polipropileno (PP) num separador de infravermelhos.

#### **4.6 Trituração**

A trituração é um termo utilizado para descrever o processo mecânico pelo qual as dimensões dos resíduos são reduzidas mecanicamente a partículas mais pequenas e uniformes.

A redução do tamanho aumenta a homogeneidade e o peso específico dos resíduos. O aumento da densidade resulta num transporte mais eficiente e na necessidade de menor espaço em aterro sanitário. Também permite dividir os resíduos e triar diferentes constituintes.

Nos videos seguinte é mostrado um triturador usado para reduzir o tamanho de resíduos de equipamento eléctrico e electrónico, permitindo a posterior separação de plásticos e metais através de outras operações unitárias descritas nesta seção.

<https://youtu.be/erQZz9yBegI>

<https://youtu.be/90fpZn56ya8>

#### **4.7 Compactação e enfardamento**

A compactação (ou densificação) é uma operação unitária através da qual se promove o aumento de densidade dos materiais.

O enfardador, um dos equipamentos de processamento mais utilizados numa estação de triagem de RU, é utilizado habitualmente para o enfardamento de papel e cartão, dos plásticos, das latas e peças metálicas.

Este equipamento reduz o volume dos resíduos a armazenar, prepara-os para comercialização e aumenta a sua densidade, reduzindo deste modo os custos de transporte e de eliminação em aterro.

Podem-se encontrar no mercado diferentes tipos de enfardadores, mais ou menos automatizados, existindo tipos específicos em que se pretende que o mesmo enfardador seja utilizado para diferentes materiais.

## **5. Valorização de resíduos orgânicos**

### **5.1 Compostagem**

A compostagem é um processo de degradação biológica da matéria orgânica contida nos resíduos realizado na presença de oxigénio. Durante a compostagem a temperatura sobe, podendo atingir 70°C ao fim de alguns dias, desde que as condições sejam adequadas (teor de humidade e equilíbrio de nutrientes adequados).

À medida que o processo decorre no tempo e os compostos orgânicos vão sendo degradados, a temperatura desce lentamente, até atingir de novo a temperatura ambiente ao fim de alguns meses, resultando num produto final higienizado e estável, designado por composto.

O composto pode ser adicionado aos solos, funcionamento como corretivo orgânico, e apresentando várias vantagens. Entre estas salienta-se a melhoria da estrutura e arejamento do solo, a retenção de água, a correção do pH no caso de solos ácidos, e o aumento do teor de matéria orgânica, especialmente relevante em solos pobres.

A operação de compostagem pode ser realizada em pilha aberta, em contentor próprio (designado “compostor”) ou num sistema fechado (túnel) com ventilação forçada, dependendo da escala e rapidez desejada para a degradação. É um processo amplamente utilizado, tanto à escala doméstica como industrial.

### **5.2 Digestão anaeróbia**

A digestão anaeróbia é um processo de degradação biológica da matéria orgânica contida nos resíduos, realizado na ausência de oxigénio, tendo como produto final o biogás (mistura de

metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)) e os produtos da digestão (o que permanece após o processo de degradação).

Este processo ocorre em reatores específicos construídos para o efeito nas centrais de valorização de resíduos (figura 4), embora possa também ocorrer de forma natural no aterro.

O biogás tem um valor energético muito elevado e ao ser queimado em motores de combustão (grupo moto-gerador) consegue-se aproveitar a energia térmica gerada e transformá-la em energia elétrica.



**Figura 4:** Central de valorização orgânica (CVO) da Valorsul. Esta central recebe os resíduos depositados no contentor do lixo normal, provenientes dos concelhos servidos pela Valorsul e Valorsul e tem capacidade para tratamento de 50 000 t/ano de resíduos urbanos. Nesta imagem pode-se ver ao fundo à direita os 2 digestores anaeróbios (cubas metálicas) e à esquerda o reservatório de armazenamento de biogás proveniente dos digestores (reservatório na forma de uma cúpula de cor branca). Os contentores verdes contêm provavelmente os grupos moto-geradores, ondeé produzida electricidade a partir do biogás (Foto de: <http://www.valorlis.pt/tratamento-e-valorizacao/cvo/>).

## Bibliografia

APA, 2021. Dados sobre os resíduos urbanos. Sítio web da Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido à data de 28.nov.2022 em <https://apambiente.pt/residuos/dados-sobre-residuos-urbanos>

EarthWorks, 2022. Environmental Impacts of Gold Mining. <https://earthworks.org/issues/environmental-impacts-of-gold-mining/> acedido em 28 nov 2022.

REGULAMENTO (UE) Nº 1357/2014 DA COMISSÃO de 18 de dezembro de 2014, Jornal Oficial da União Europeia (PT) 19.12.2014 L365/89–96. Lista Europeia de Resíduos, LER, publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro.