

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DQ DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SOFIA TAMÁCIA THIM

**RESÍDUOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS: O CENÁRIO BRASILEIRO E PERSPECTIVAS  
FUTURAS.**

SÃO CARLOS - SP  
2025

SOFIA TAMÁCIA THIM

RESÍDUOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS: O CENÁRIO DAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS  
E PERSPECTIVAS FUTURAS

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento de  
Química da Universidade Federal de  
São Carlos para a obtenção do título  
de Bacharel em Química Tecnológica.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta  
Cerasi Urban.

São Carlos

2025

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS****DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET**

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 11/2025/DQ/CCET

**Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso****Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)****FOLHA DE APROVAÇÃO****SOFIA TAMACIA THIM****RESÍDUOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS: O CENÁRIO BRASILEIRO E PERSPECTIVAS FUTURAS****Trabalho de Conclusão de Curso****Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos**

São Carlos, 06 de fevereiro de 2025

**ASSINATURAS E CIÊNCIAS**

<b>Cargo/Função</b>	<b>Nome Completo</b>
Orientador	Profa Dra. Roberta Cerasi Urban
Membro da Banca 1	MSc. Gabriel Marcondes Ferraz
Membro da Banca 2	Dr. Jonatas Schadeck Carvalho



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Samuel Schwab, Professor(a)**, em 17/02/2025, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1749379** e o código CRC **B307B9FF**.

**Referência:** Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.001933/2024-38

SEI nº 1749379

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

Dedico este trabalho à minha mãe, que em nenhum momento desta trajetória, ou da minha vida, duvidou de qualquer coisa que eu pudesse ser, ou de qualquer objetivo que eu quisesse atingir.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente e profundamente a minha mãe, Nidinalva, que acompanhou a minha trajetória do começo ao fim e sempre me deu total apoio para que eu pudesse realizar essa trajetória. Ao meu irmão Arthur e ao meu pai, Gilmar, que sempre me apoiaram nessa jornada.

Gostaria de agradecer também a duas amigas especiais que o curso de Química na UFSCar me proporcionou: Heloisa Fernanda e Isabelle Faustino. Tenho total certeza que essa trajetória não teria sido a mesma. Elas foram capazes de deixar a vida em São Carlos, dentro e fora da sala de aula, mais leve.

A República Peça Rara, que foi a minha casa pelo meu período em São Carlos. Foi um prazer passar tantos momentos, dividir sonhos, ambições, medos, com várias gerações de meninas e foi um privilégio ter feito parte dessa família.

Aos meus projetos de extensão, Atom Jr., C.A.Quí e Núcleo São Carlos de Empresas Júniores que me prepararam para o mundo real, me propuseram espaços em que me foi permitido errar e aprender com esses erros e, especialmente, onde pude cultivar diversas amizades. Gostaria de agradecer aos meus tios, Silvio e Isabel, que foram um pilar essencial no final da minha graduação, que sem eles não seria possível terminar essa trajetória.

Agradeço à UFSCar, um lugar que carrego muito orgulho de ter sido parte, por todo o conhecimento e ter me proporcionado com certeza os melhores anos da minha vida, um período que nunca esquecerei. Agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Roberta Cerasi Urban por todo o apoio durante esse trabalho final.

Por fim, gostaria de agradecer à Rhodia, mais especificamente à Kelly Bertucci e toda a equipe de Inovação Operacional, onde fui capaz de aprender tanto, realizando um estágio em uma área tão importante quanto a de Inovação Operacional dentro de uma indústria química.

## RESUMO

O tópico de resíduos sólidos industriais se tornou um tema de extrema importância nos últimos anos, devido à necessidade de sustentabilidade no meio industrial. Com o avanço das revoluções industriais, a relação entre as sociedades, produções de bens e consumo se tornou mais próxima do que nunca. Mediante a chegada da Quarta Revolução Industrial e o início da escassez de matérias primas não renováveis, como combustíveis fósseis, as indústrias se viram compelidas a olhar o conceito de “Economia Circular” com outros olhos. O objetivo deste trabalho foi analisar inicialmente a posição atual do governo brasileiro referente à produção, gerenciamento e disposição de resíduos industriais, através de dados disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente. Também foi analisada algumas das principais formas de disposição de resíduos, como incineração, coprocessamento e o aterramento, suas vantagens e desvantagens do ponto de vista de saúde pública e de contaminação de fauna e flora. Por fim, foram destacados ações e projetos de grande importância na circularidade de resíduos sólidos por duas empresas do segmento químico e petroquímico, a ICL e a brasileira Braskem. Esse trabalho conclui que, apesar da grande evolução já ocorrida na legislação brasileira, ainda existe muito espaço para melhoria, além de destacar, a necessidade de um trabalho compartilhado entre indústrias, esferas governamentais e consumidores para cada vez mais a circularidade ser algo posto em prática.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos industriais. Economia circular. Reciclagem. Indústrias. Meio-ambiente.

## **ABSTRACT**

The topic of industrial solid waste has become of utmost importance in recent years due to the growing focus on sustainability in the industrial sector. With the progress of the Industrial Revolutions, the relationship between societies, goods production, and consumption has become closer than ever. With the advent of the Fourth Industrial Revolution and the beginning of the scarcity of non-renewable raw materials, such as fossil fuels, industries have found an increasing need to look at the concept of the "Circular Economy" with renewed attention. The objective of this work was to analyze, initially, the current position of the Brazilian Government regarding the production, management, and disposal of industrial waste, based on data provided by the Ministry of the Environment. It also examined some of the main waste disposal methods, such as incineration, co-processing, and landfilling, assessing their advantages and disadvantages from the perspectives of public health and the contamination of fauna and flora. Finally, the study highlighted significant actions and projects in solid waste circularity carried out by two companies in the chemical and petrochemical sectors, ICL and the Brazilian company Braskem. This study concludes that, despite substantial advancements in Brazilian legislation, there is still ample room for improvement and emphasizes the need for collaborative efforts among industries, government bodies, and consumers to make circularity increasingly practiced.

**Keywords:** Industrial solid waste. Circular economy. Recycling. Industries. environment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Estrutura molecular da Tetra-Cloro-Dibenzeno-Dioxina	18
<b>Figura 2</b> - Estrutura molecular de um furano.	18
<b>Figura 3</b> - Aterro do Gramacho - Rio de Janeiro	23
<b>Figura 4</b> - Hierarquia dos Resíduos Industriais em formato de pirâmide invertida.	25
<b>Figura 5</b> - Framework “Dois Triângulos”	26
<b>Figura 6</b> - Tipos de indústrias mais geradoras de resíduos em diferentes unidades. <b>A)</b> Indústrias mais geradoras de resíduos em m <sup>3</sup> <b>B)</b> Indústrias mais geradoras de resíduos em toneladas <b>C)</b> Indústrias mais geradoras de resíduos em unidades	28
<b>Figura 7</b> - As 5 destinações de resíduos mais comumente utilizadas por ano para resíduos industriais não perigosos. <b>7.A)</b> Ano de 2013 <b>7.B)</b> Ano de 2014 <b>7.C)</b> Ano de 2015 <b>7.D)</b> Ano de 2016	33
<b>Figura 8</b> - As 5 destinações de resíduos mais comumente utilizadas por ano para resíduos industriais perigosos. <b>8.A)</b> Ano de 2013 <b>8.B)</b> Ano de 2014 <b>8.C)</b> Ano de 2015 <b>8.D)</b> Ano de 2016	37
<b>Figura 9</b> - Fluxograma da geração de opções de Produção Mais Limpa	40
<b>Figura 10</b> - Ações que podem ser consideradas como P2.	41
<b>Figura 11</b> - Estrutura molecular do hexabromociclododecano.	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Empresas com Atividades Industriais Potencialmente Poluidoras no Brasil de 2013 a 2016	27
<b>Tabela 2</b> - Geração de resíduos no Brasil de 2013 a 2016 em metros cúbicos, toneladas e unidades.	27
<b>Tabela 3</b> - Quantidade de resíduos, perigosos e não perigosos, gerados no Brasil entre 2013 e 2016	29
<b>Tabela 4</b> - Destinação de resíduos não perigosos no Brasil de 2013 a 2016	30
<b>Tabela 5</b> - Destinação de resíduos perigosos no Brasil de 2013 a 2016	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais
CETESP	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
HBCD	Hexabromociclododecano
NBR	Norma Brasileira
TNO	Organização Holandesa de Pesquisa Científica Aplicada
PSL	PolyStyrene Loop
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes
P2	Prevenção à Poluição
P+L	Produção Mais Limpa
SBP	<i>Solvent-based Purification</i> (Purificação à base de solvente)
SVHC	<i>Substances of Very Concern</i> (Substâncias Muito Preocupantes)
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. MOTIVAÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>13</b>
<b>4. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E OS RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>13</b>
<b>5. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>15</b>
<b>6. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS).....</b>	<b>16</b>
<b>7. POSSÍVEIS DESTINAÇÕES DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>17</b>
7.1. Incineração.....	17
7.2. Coprocessamento.....	21
7.3. Aterros Industriais.....	23
<b>8. HIERARQUIA DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>25</b>
<b>9. DADOS HISTÓRICOS RECENTES SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO BRASIL.</b>	<b>28</b>
<b>10. ALTERNATIVAS POSSÍVEIS.....</b>	<b>39</b>
10.1. Produção Mais Limpa (Cleaner Production).....	39
10.2. Prevenção à Poluição (P2).....	42
<b>11. CASOS DE SUCESSO NA INDÚSTRIA QUÍMICA.....</b>	<b>43</b>
11.1. ICL (Israel Chemical Ltd.).....	43
11.2. Braskem.....	45
<b>12. CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Setores industriais são pilares cruciais no crescimento econômico, modernização e desenvolvimento social de cidades, estados e países (BHATTACHARYA, 2021). Ao mesmo tempo que os setores industriais são capazes de trazer prosperidade econômica e social, existe um grande problema ambiental: a geração de resíduos industriais (HAPPEN VENTURES, 2023). As revoluções industriais moldaram as dinâmicas das indústrias e a mudança do meio ambiente nos últimos 100 anos, é talvez, a maior manifestação do dinamismo industrial (STEINBERG, 1986). Nos últimos anos, o problema dos resíduos industriais se tornou uma responsabilidade compartilhada: diversos países já possuem estratégias nacionais para lidar com os resíduos industriais que produzem, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criada pelo governo brasileiro em 2010 (ALBITAR; NARSALLAH; HUSSAINEY, 2024). Resíduos industriais, caso sejam descartados de forma incorreta, podem levar a contaminações, podendo ocasionar mudanças fisiológicas, morfológicas e até morte de fauna, flora e seres humanos que entrem em contato com água e/ou comida contaminada (GUAR; SHARMA; SIROHI, 2020).

Assim, o tópico de Economia Circular está cada vez mais em destaque dentro das indústrias, sendo capaz de transformar a relação entre o meio ambiente e sistemas econômicos (OLIVEIRA; MIGUEL; LANGEN, 2021). Grandes empresas do setor químico e petroquímico estão seguindo a tendência da circularidade nos seus processos produtivos, como recuperação de recursos, inserção de resíduos, próprios ou de outras indústrias, em outros processos produtivos e a inovação de processos, visando a não geração de resíduos (BAIN & COMPANY, 2023).

## **2. MOTIVAÇÃO**

A escolha do tema deste trabalho ocorreu principalmente pelo meu atual estágio, na Rhodia, uma empresa do Grupo Solvay. Durante meio período de estágio, tive a oportunidade de trabalhar em um grupo, que internamente chamamos de Wasteminator, que tem como objetivo atingir a marca de zero aterro para os nossos resíduos, sejam eles industriais ou não.

Um aspecto importante que aprendi com esse grupo de trabalho é a responsabilidade que temos sob o resíduo que nós produzimos, assim, é de grande importância encontrarmos maneiras inovadoras de lidar com os resíduos de forma cada vez mais responsável e inteligente. Na Rhodia, são feitos constantemente trabalhos de pesquisa, busca no ecossistema para uma circularidade de resíduos, para inovações nos nossos processos industriais visando eliminar resíduos diretamente na fonte.

Com a situação atual de crises ambientais, tanto em âmbito nacional quanto internacional, pude observar a necessidade de termos cada vez mais propostas industriais que visem não somente o descarte correto dos resíduos, mas também, o seu tratamento, seu reaproveitamento e sua eliminação diretamente na indústria em que é produzido.

### **3. OBJETIVO**

O objetivo principal deste trabalho é analisar formas de gerenciamento, disposições e possibilidades de mudança nos cenários de geração de resíduos industriais, principalmente químicos e petroquímicos, no Brasil. Como objetivos secundários tem-se:

- Analisar a relação entre as revoluções industriais ao aumento de produção de resíduos industriais;
- Analisar algumas das formas de destinações de resíduos mais comuns e as suas vantagens e desvantagens;
- Observar dados recentes, de 2013 a 2016, da produção e disposição de resíduos industriais no Brasil;
- Analisar teorias consolidadas que tem como propósito a mudança estrutural de processos produtivos industriais;
- Observar políticas e projetos de sucesso na gestão de resíduos e de economia circular em empresas dentro e fora do Brasil.

### **4. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E OS RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

A Primeira Revolução Industrial, que teve o seu início no final do Século XVIII na Inglaterra, trouxe mudanças significativas nos processos de manufatura, transportes e de desenvolvimento de novas tecnologias. Enquanto o começo da industrialização melhorou a qualidade de vida e aumentou o crescimento econômico das sociedades, teve um impacto negativo no meio ambiente (MALIK; SHARMA; BARTA, 2024). A Primeira Revolução Industrial foi a transição da força de trabalho humana e animal para o início da utilização das máquinas, nova fabricação de produtos químicos, processos de produção de ferro e o início da utilização do poder da água, em forma de vapor, para fornecer energia (HARADHAN, 2019). Um exemplo do impacto inicial que a primeira Revolução Industrial trouxe ao meio ambiente foi a construção de barragens mais altas que prejudicaram a migração de alguns peixes (MONTRIE, 2018). A Segunda Revolução Industrial, conhecida como a Revolução da Eletricidade, ocorreu quando novas tecnologias foram introduzidas no meio industrial, como o telegrama e o telefone. A Terceira Revolução Industrial, deu início a automação parcial e a utilização de computadores e, por fim, a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, é caracterizada pela aplicação de informação e tecnologias de comunicação (GROUMPOS, 2021).

Apesar de toda e qualquer tipo de atividade humana ser geradora de algum tipo de resíduo, no entanto, em atividades realizadas pré revoluções industriais, como a quantidade era ínfima e os resíduos eram compostos orgânicos, a sua decomposição em geral era mais fácil e mais rápida (SENKO; BOVO, 2013).

A produção de bens e as práticas de consumo cresceram de maneira exponencial, criando assim um vínculo humano com o processo de produzir, vender e consumir mercadorias. E esse constante ciclo se torna extremamente predatório, causando um desequilíbrio entre ser humano e natureza. E o crescimento desse contexto predatório, a industrialização e o comércio tiveram um papel de destaque levando ao aumento da produção o que se tornou inevitável e indispensável para manter essa configuração socioeconômica (NOGUEIRA; MANSANO, 2021).

Atualmente, na era da Indústria 4.0, ou a Quarta Revolução Industrial, a utilização de práticas de Economia Circular se tornam mais tangíveis do que nas outras Revoluções, já que as tecnologias emergentes podem ser capazes de moldar, facilitar e

aprimorar os princípios da circularidade, como reuso, reciclagem, regeneração e redução (SÁNCHEZ-GARCÍA; MARTÍNEZ-FALCÓ; MARCO-LAJARA, 2024). Anteriormente, no modelo de economia linear, ou seja, produção-uso-descarte, o modelo de crescimento e produção era favorecido pela alta disponibilidade de recursos. Porém, com a chegada de um momento em que a produção linear não é mais viável devido à escassez de recursos naturais, por exemplo, metais, minerais e combustíveis fósseis, a Economia Circular surge como uma alternativa plausível. Através de mudanças que quebraram a necessidade de produtos escassos, como a manufatura de produtos que possam ser reutilizados, reprocessados ou renovados, diminuindo, assim, a geração de novos produtos e resíduos (RAMAKRISHNA; NGOWI; AWUZIE, 2020).

Outro ponto relevante da relação de simbiose entre a Indústria 4.0 e Economia Circular é a disseminação da informação aos consumidores (CULOT; ORZES; SATOR, 2020). A Indústria 4.0 cria um fluxo de informações e aumenta o nível de conhecimento de todas as partes envolvidas no processo industrial, consumidores, investidores, produtores, fazendo com que as partes façam escolhas mais conscientes, escolhendo, por exemplo, um produto que possua uma certificação eco em detrimento a um que não possua (BIGERNA; MICHELI; POLINORI, 2021).

## **5. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

O gerenciamento de resíduos industriais é um processo complexo devido a sua diversidade de características físico-químicas e tais características estão diretamente relacionadas ao processo produtivo que originou o resíduo.

Assim, no Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) padronizou a classificação de resíduos industriais de acordo com o seu potencial de risco ao meio ambiente e à saúde pública por meio da Norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). A NBR 10.004 agrupa os resíduos industriais em 3 tipos:

- Resíduos Classe I: Perigosos
  - Materiais contaminantes, que podem ter características reativas, patogênicas, inflamáveis, corrosivas e tóxicas, apresentando algum tipo de periculosidade e/ou risco ao meio ambiente e à saúde pública.
- Resíduos Classe II: Não perigosos

- Resíduos Classe II A - Não inertes: Resíduos possivelmente contaminantes, que não contêm ou podem conter baixa periculosidade, e não possuem tendência a sofrerem reações químicas. Apresentam características como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos Classe II B - Inertes: Dejetos não contaminantes, com baixa capacidade de reação, que não conseguem alterar a potabilidade da água e podem ter grande potencial de reciclagem.

De forma geral, a classificação dos resíduos é feita levando em consideração as suas propriedades físicas, químicas e/ou infectocontagiosas e com base na identificação de possíveis contaminantes em sua massa (CETESB, 1993). Logo, para a classificação do resíduo é imprescindível o conhecimento de todo o processo industrial que gerou o resíduo em primeiro lugar, para que seja possível a identificação de substâncias presentes.

## **6. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)**

É importante ressaltar a evolução da legislação ambiental brasileira referente a gestão de resíduos. Em agosto de 2010 foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. A PNRS é complementar à Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981) e à Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007). Todas elas são instrumentos legais importantes para que em território nacional ocorra a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, sejam eles urbanos ou industriais e, por fim, sua disposição ambientalmente adequada (VELOSO, 2014)

A existência da PNRS institui a responsabilidade compartilhada de todos os agentes envolvidos (governos municipais, estaduais e federal, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e os consumidores finais), no destino final do resíduo. E teve como grande meta a eliminação de todos os aterros clandestinos, conhecidos como lixões, até 2014 (BRASIL, 2010). A atuação na forma de gestão compartilhada é uma resposta para diversos problemas na aplicação de fato da PNRS

como, por exemplo, o baixo orçamento de diversos atores, fraca capacidade institucional e baixa capacidade de gerenciamento de resíduos de diversos municípios brasileiros, principalmente os menores (HEBER; DA SILVA, 2014).

Em 2022, foi instaurado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), por meio do Decreto nº 11.043 de 13 de abril de 2022, que é um instrumento dentro da PNRS que tem como funcionalidade criar diretrizes e objetivos a longo prazo para que a PNRS de fato seja colocada em prática. Sendo que uma das metas principais ainda é acabar com os lixões no território nacional, meta que deveria ter sido cumprida há 8 anos de acordo com a PNRS.

Outra meta ambiciosa no Planares é o aumento da taxa de recuperação de resíduos no Brasil, que em 2022 era de apenas 2,2%, para 50% em 2042. De acordo com o Planares a recuperação de resíduos pode ser feita através da reciclagem, compostagem, biodigestão e recuperação energética (BRASIL, 2024).

## **7. POSSÍVEIS DESTINAÇÕES DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

### **7.1. Incineração**

A incineração de resíduos, que pode ser utilizada tanto para resíduos industriais quanto para resíduos urbanos, é um processo que é baseado na destruição térmica por oxidação, em temperaturas elevadas, que podem variar de 900 °C até 1250°C (MALLICK; DEV SHARMA; KUSHWAHA, 2022). Para a realização da incineração de resíduos é necessário que o processo siga os devidos controles e as normas de segurança operacional (CONAMA, 2022; ANDRADE; COLTRO, 2005).

De acordo com Tocchetto (2005) a incineração tem como objetivos principais: a destruição de resíduos, inertizando-os na forma de cinzas, a redução drástica do volume do resíduo e a possível geração de energia, considerando resíduos combustíveis.

Durante o processo de incineração, o oxigênio reage com os componentes combustíveis presentes nos resíduos como, por exemplo, carbono e enxofre, sendo que nesse processo ocorre a conversão de energia química em calor (DA SILVA; DOS SANTOS; MENSAH, 2020). Logo, pode-se dizer que a composição química do resíduo

a ser incinerado irá influenciar o comportamento da combustão, assim como a possível geração de produtos tóxicos e indesejáveis como por exemplo, a formação do fosfogênio ( $\text{COCl}_2$ ), que é um gás tóxico (TOCCHETTO, 2005).

O processo de incineração possui como etapas principais

1. Preparo do resíduo para a queima;
2. Combustão do resíduo;
3. Tratamento dos gases de saída;
4. Tratamento dos efluentes líquidos;
5. Acondicionamento e disposição dos resíduos sólidos gerados no processo de queima e nos equipamentos de controle de poluição do ar (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000).

A incineração possui três principais variáveis para o processo: temperatura, turbulência, tempo de residência (3 T's) e a disponibilidade de oxigênio (HE; WANG; PENG, 2023). A temperatura fornece o calor necessário para sustentar o processo, o tempo de residência é importante para que as reações de detoxificação ocorram, a turbulência é essencial para garantir a mistura com o oxigênio para que ocorra a queima completa (TOCCHETTO, 2005).

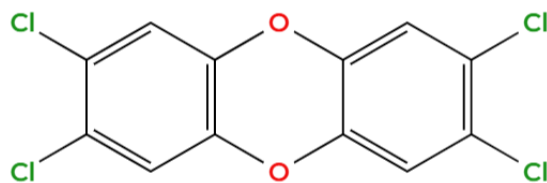
Um dos maiores problemas associados ao processo de incineração é a emissão de gases. As emissões provenientes do processo de incineração constituem-se de: gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e material particulado (MP). E em menor concentração, tem-se o ácido clorídrico (HCl), o ácido fluorídrico (HF), chamados de gases ácidos e produtos da combustão incompleta como o monóxido de carbono (CO) (CAIXETA, 2005).

Quando o resíduo a ser incinerado possui metais como arsênio, mercúrio, cromo e chumbo em sua composição, esses metais permanecem nas cinzas do processo, pois não são destruídos. Nesse caso, é necessário fazer a remoção dos metais, que usualmente ocorre através de precipitadores eletrostáticos e filtros industriais. Já a destinação das cinzas deve ser feita em aterros para resíduos perigosos (TOCCHETTO, 2005).

Outro ponto importante referente a emissão de gases no processo de incineração é a formação e emissão de dioxinas e furanos, que são substâncias

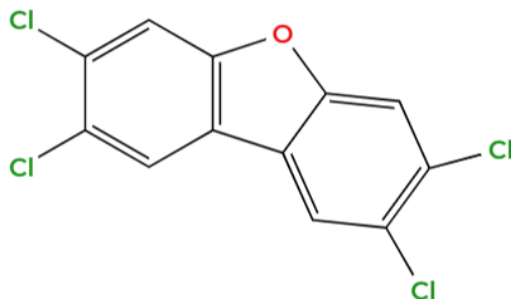
organocloradas, que podem ser tóxicas. Essas substâncias podem estar presentes no resíduo em si ou podem ser formadas no processo de incineração em certas condições durante o resfriamento dos gases (temperaturas de aproximadamente 300°C) ou com irregularidades operacionais no processo (CAIXETA, 2005; CEMPRE, 2018). A formação de dioxinas geralmente está associada à combustão em baixas temperaturas dos plásticos, queimas de pesticidas, papel branqueado e substâncias utilizadas para conservação de madeira (TOCCHETTO, 2005).

A estrutura geral de uma dioxina possui dois anéis benzênicos que são ligados por dois oxigênios e com um número variado de átomos de cloro, que podem estar ligados em oito posições diferentes. Existem, no total, 75 dioxinas cloradas, algumas completamente inofensivas e outras tóxicas, sendo a mais tóxica a 2,3,7,8-TCDD (Tetra-Cloro-Dibenzeno-Dioxina) (FIGURA 1), que possui quatro átomos de cloro nas posições, 2,3,7 e 8 (WHITE; BIRNBAUM, 2009).



**FIGURA 1:** Estrutura molecular da Tetra-Cloro-Dibenzeno-Dioxina

Os furanos possuem estruturas semelhantes às dioxinas (FIGURA 2), se diferenciando por possuírem um átomo de oxigênio a menos e um anel de 5 membros ao invés de 6 membros. (TOCCHETTO, 2005).



**FIGURA 2:** Estrutura molecular de um furano.

As dioxinas estão no grupo de substâncias POP: Poluentes Orgânicos Persistentes (*Persistent Organic Pollutants*, em inglês), que é um conjunto de substâncias químicas, dividido em doze grupos, e que são consideradas tóxicas tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, sendo bioacumulativas (F. PINTO; FERREIRA PINTO; FILHO, 2007). De acordo com estudos epidemiológicos, as dioxinas podem ser substâncias cancerígenas, de acordo com critérios definidos pela Agência Internacional de Pesquisa ao Câncer (CALCOSINSKI; ROSINCZUK-TONDERERYS; BAZAN, 2014). Além disso, a exposição a dioxinas pode causar doenças metabólicas e neurológicas (NISHIJO, 2023).

Por exemplo, em Da Nang, Vietnã, local onde houve uma alta contaminação por dioxinas devido à utilização do herbicida “Agente Laranja” há mais de 50 anos (ÉL PAÍS BRASIL, 2019), estudos revelaram que ainda há níveis elevados de dioxinas no leite materno de mães da região. Esses níveis chegam a ser até 4 vezes maiores do que o determinado em leite materno de mães fora da área de exposição. Além disso, a elevada exposição à toxina mostrou efeito em crianças de 4 meses até 8 anos, como dificuldades de fala, alterações motoras e cognitivas. O aumento de crianças autistas na região também pode estar relacionado à exposição a dioxinas (PHAM-TH; NISHIJO; PHAM, 2022; TRAN; PHAM-THE; PHAM, 2023).

Existem alguns estudos que propõem metodologias para a diminuição da formação e da emissão de dioxinas e furanos. Existem, de forma geral, três categorias de inibidores de formação de dioxinas. A primeira categoria inclui inibidores contendo enxofre, como sulfato de amônia, pirita e o tiosulfato de sódio (HUNSINGER; SEIFRET; JAY, 2007; WU; et al, 2012; YAN; et al, 2006). A segunda categoria é referente aos inibidores com nitrogênio, como por exemplo, a etanolamina, monoetanolamina, ureia, amônia, trietanolamina e a tioureia. (REN; et al, 2021). Os estudos sugerem que os compostos nitrogenados são capazes de inibir mais do que 95% da formação de dioxinas. (ZHAO; HU; LU, 2022). Por fim, o último grupo corresponde aos compostos de cloradores alcalinos, como por exemplo, CaO, CaCO<sub>3</sub> e NaOH. Os compostos de cloradores alcalinos reagem com substâncias cloradas voláteis e a maior parte do cloro gasoso é transferido para a pasta residual sólida assim,

reduzindo a formação no forno de incineração e impedindo a ressíntese da dioxina (ZHAO; HU; LU, 2022).

Também existem tecnologias de controle de dioxinas após a combustão dos resíduos. A utilização conjunta de injeções de carvão ativado e filtros especiais são reconhecidas como o processo de purificação de dioxinas mais eficiente. O mecanismo de ação, de forma geral, consiste na filtração mecânica pelo filtro especial nas cinzas flutuantes e o carvão ativado é utilizado nas suspensões gasosas. É importante ressaltar que o carvão ativado não pode ser reciclado ou regenerado e precisa ser eliminado como resíduo perigoso (ZHAO; HU; LU, 2022).

Por fim, é necessário realizar a disposição correta dos resíduos sólidos restantes (cinzas) após o processo de incineração. Assim como o resíduo inicial, as cinzas também precisam ter a sua composição analisada para que assim seja possível determinar qual será a melhor forma de disposição, sendo o mais comum, aterros industriais.

## **7.2. Coprocessamento**

O coprocessamento é o nome dado a técnica de incorporação de resíduos no processo de fabricação de clínquer (cimento) resultando assim na destruição térmica eficiente e segura, sob o ponto de vista operacional e ambiental (SIMÃO, 2011).

Inicialmente para que um resíduo possa ser considerado apto para ser coprocessado no Brasil ele precisa, necessariamente, seguir critérios básicos que são estabelecidos pelo CONAMA, na Resolução N° 264, de 26 de agosto de 1999, sendo eles:

- O resíduo pode ser utilizado como substituto matéria prima desde que apresente características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer, incluindo neste caso os materiais mineralizadores e/ou fundentes.
- O resíduo pode ser utilizado como substituto de combustível, para fins de reaproveitamento de energia, desde que o ganho de energia seja comprovado.

Assim, de acordo com o CONAMA, são possíveis duas classes de resíduos em processos industriais que podem ser coprocessados: os resíduos que podem substituir

em parte a matéria prima, caso tenham características similares e os resíduos que possam ser utilizados como combustíveis secundários (ROCHA; LINS; SANTO, 2011).

Após a resolução do CONAMA citada acima, foi regulamentado o tipo de resíduo e os procedimentos necessários para o coprocessamento de resíduos industriais. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) são resíduos passíveis de coprocessamento para serem utilizados como forma de energia: solos contaminados com óleo, resíduos petroquímicos, diversos polímeros como polipropileno, polietileno, PVC, corantes, tintas, vernizes, embalagens de produtos químicos, lodo de esgoto, restos de solventes, entre outros. É importante ressaltar também que pneus são os principais resíduos coprocessados já que o coprocessamento é a melhor alternativa para destruição definitiva desse material. Já para a substituição de matéria prima, pode-se utilizar: lama com alumina, lamas siderúrgicas, resíduos da fabricação de vidros, cinzas etc. (BATTAGIN; CARDOSO, 2018).

É recomendado o uso de resíduos que possuam um alto poder calorífico, que sejam isentos de flúor e/ou cloro, já que esses elementos podem prejudicar o maquinário utilizado no processo, com teores de metais pesados relativamente baixo e que tenham uma fração mineral que possa ser absorvida pela cal ou pelo cimento (SIMÃO, 2011).

A prática do coprocessamento além de eliminar o possível impacto ambiental causado por resíduos industriais também é capaz de substituir o uso tradicional de energias não renováveis na fabricação de cimento, como por exemplo coque de petróleo, óleo combustível e carvão. A indústria do cimento é tradicionalmente conhecida como uma indústria que consome alta quantidade de energia, já que altas temperaturas são necessárias na produção de cimento (KIM; PHAE, 2022).

Um ponto que deve ser levado em consideração é qual o resíduo que está sendo utilizado para o coprocessamento, podendo haver contaminação de metais pesados no cimento produzido (QUEIROZ LAMAS; PALAU; DE CAMARGO, 2012). Além disso, caso sejam usados resíduos plásticos, têxteis e madeira, existe o risco de emissões de dioxinas, furanos, metais pesados e ácido clorídrico, sendo perigos similares ao do processo de incineração (CHEN; MA; ZHAN, 2019).

Apesar de ser uma técnica relativamente nova e ainda pouco explorada no Brasil, o coprocessamento é extensivamente utilizado na Europa, Estados Unidos e no Japão já que é uma opção segura para a destinação definitiva de resíduos e outros materiais que possam causar algum tipo de dano ambiental (TELES COUTINHO, DE MOURA, LOPES FILHO, et al. 2023). Atualmente, 43% da energia nas indústrias de cimento da União Europeia já é obtida através do coprocessamento (UNIÃO EUROPEIA, 2019).

### **7.3. Aterros Industriais**

Normalmente podem ser encontrados ao redor de grandes centros urbanos, aterros sanitários, aterros industriais e os lixões/aterros clandestinos. Na teoria, os aterros sanitários e industriais permitem um descarte seguro em termos de contaminação ambiental e de saúde pública dos resíduos urbanos e industriais (TOCCHETTO, 2005). A disposição de resíduos industriais em aterros é a prática mais comum de disposição de resíduos sólidos, isso devido a algumas vantagens como a sua praticidade em relação a altas quantidades de volume que é possível dispor de uma única vez e ao seu baixo custo quando comparado a outras formas de disposição (OGUNWUMI, SALAMI, 2023).

Em comparação aos aterros sanitários, os aterros industriais requerem uma maior sofisticação em quesito de planejamento, execução e manutenção do espaço muito por conta do tipo de resíduos que irão receber, especialmente quando se trata de resíduos perigosos e tóxicos. Na construção de um aterro industrial é imprescindível uma impermeabilização rigorosa da sua base, mantas plásticas especiais e também uma cobertura para o que já foi depositado no aterro, controlando assim, possíveis infiltrações de água de chuva e emissões gasosas (TOCCHETTO, 2005).

Apesar de ser a forma mais comum de disposição de resíduos industriais, é uma das formas mais danosas para o meio ambiente e para possíveis comunidades ao redor do aterro. Um dos maiores impactos para as comunidades está a proliferação de mosquitos, baratas, ratos etc...que são os vetores de transmissão de diversas doenças como disenterias e febre tifoide. Ainda existe a presença de animais domésticos, como cachorros e gatos que também podem transmitir doenças (ROUQUAYROL; DA SILVA,

2018). A construção de aterros é extremamente prejudicial à biodiversidade local, que ao se desenvolver um aterro de 30 a 300 espécies, entre fauna e flora, são perdidas por hectare construído (SIDDIQUA; HAHLADAKIS; AL-ATTIYA, 2022).

Um exemplo de aterro industrial construído em área imprópria é o aterro de Gramacho no Rio de Janeiro (FIGURA 3), pois ele foi construído próximo a cursos de água, isso prejudicou o desenvolvimento populacional, da fauna e flora da região (SISINNO, 2003).



**FIGURA 3:** Aterro do Gramacho - Rio de Janeiro

Fonte: O GLOBO, 2013

De acordo com um estudo realizado por Sisino (2003), ao se recuperar e analisar 21 amostras de resíduos industriais de indústrias de diferentes segmentos (químico, petroquímico, alimentícia, etc.) que iriam para aterro industrial do Gramacho no Rio de Janeiro pode-se detectar concentrações superiores às recomendadas de fenol, alumínio e manganês.

O consumo humano de águas contaminadas por fenol pode levar a distúrbios gastrointestinais, já que é rapidamente absorvida pelo trato gastrointestinal e também pode ser rapidamente absorvido quando em contato com a pele, sendo que uma dose entre 80 a 1300 mg kg<sup>-1</sup> é letal para humanos (JARVIS, STRAUBE, WILLIAMS, A.L, et. al., 1985). Dentre as fontes de fenol uma das principais são os desinfetantes, que são muito utilizados em segmentos industriais (SIDDIQUA, HAHLADAKIS, AL-ATTIYA, 2022)

A curto prazo, a contaminação por alumínio, em seres humanos pode levar a náuseas, úlceras e dores nas articulações. Alguns estudos também indicam que a longo prazo a contaminação por alumínio pode causar o desenvolvimento e/ou a aceleração de Alzheimer e outros tipos de demências (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1998) (RONDEAU; COMMENGES; JACQUIM-GADDA, 2000).

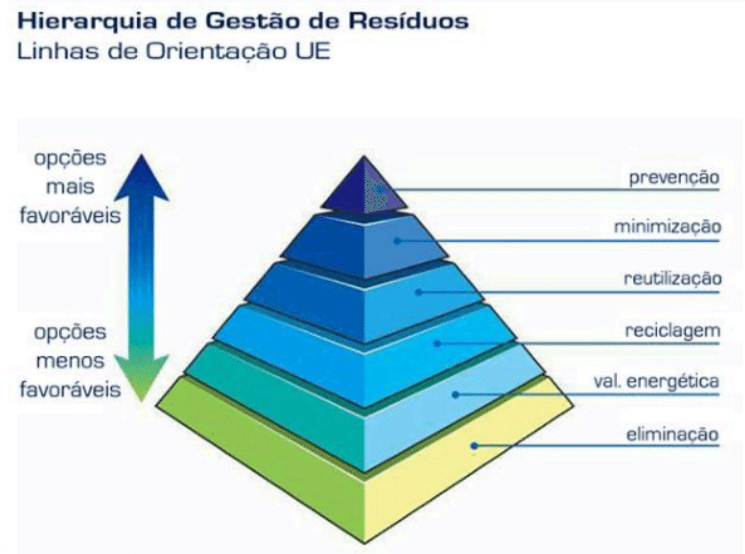
O consumo de águas contaminadas com manganês, em adultos, pode causar sequelas neurológicas, produzindo sintomas similares aos do mal de Parkinson (KONDAKIS; MARKIS; LEOTSINIDIS; et al, 1989). A exposição infantil a altas concentrações de manganês é mais perigosa do que em adultos, já que crianças são mais vulneráveis a esse metal devido ao manganês ser vital no processo de desenvolvimento, e por conta do seu sistema homeostático ainda não totalmente desenvolvido. A exposição a grandes concentrações de manganês em crianças pode causar decaimento nas funções cognitivas e outros malefícios neurocomportamentais (IYARE, 2019).

Além das substâncias em maior concentração que foram encontradas no estudo realizado no aterro do Gramacho no Rio de Janeiro, vale mencionar outras também encontradas nos resíduos analisados no mesmo estudo, como: concentrações elevadas de ferro, comumente utilizado no tratamento de água e efluentes industriais, e de surfactantes provavelmente encontradas em detergentes utilizados para limpezas industriais (SISINNO, 2003).

## **8. HIERARQUIA DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

O conceito de "Hierarquia dos Resíduos Industriais não Perigosos" foi inicialmente introduzido na legislação da União Europeia em novembro de 2008. A Hierarquia molda a prioridade da relação das empresas, dos governos com os resíduos industriais gerados. A ordem de prioridade é: prevenção; redução; reciclagem; outro tipo de recuperação e disposição final (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Atualmente, a forma mais tradicional de representação da Hierarquia dos Resíduos Industriais é através de uma pirâmide, tal qual mostrada na FIGURA 4.



**FIGURA 4:** Hierarquia dos Resíduos Industriais em formato de pirâmide invertida.

Fonte: SILVA, ROZA, RATHMANN, 2012

Os cenários ideais são a prevenção da formação ou a redução na quantidade de resíduo formado. Esses dois cenários englobam ações que visam a eliminação do resíduo, mesmo que de forma parcial, diretamente na fonte geradora, ou seja, nas indústrias. Em terceiro lugar de preferência na Hierarquia dos Resíduos Industriais está a reciclagem: a reciclagem inclui, por exemplo, a compostagem ou a digestão anaeróbica. Por fim, as duas últimas alternativas menos favoráveis seriam por métodos de recuperação e métodos de disposição, respectivamente. Um exemplo de método de recuperação seria o coprocessamento e um de disposição seriam, por exemplo, os aterros industriais.

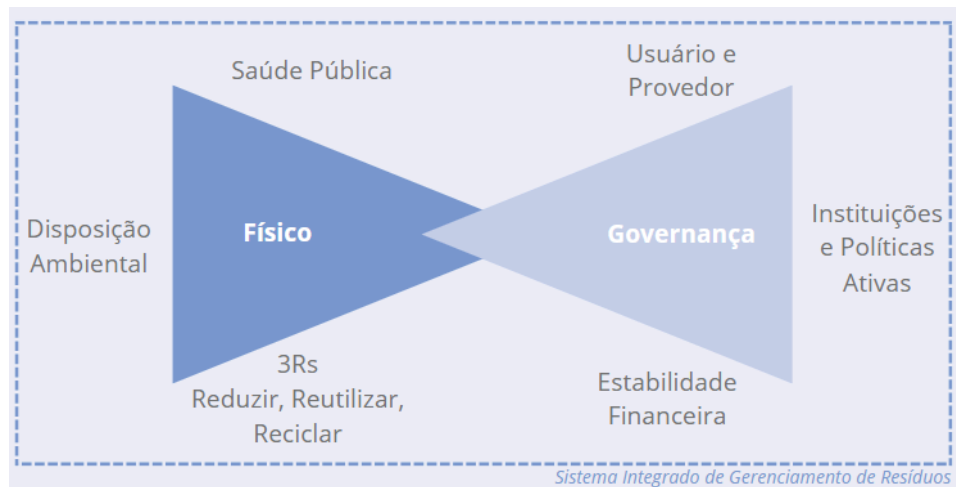
A hierarquia de cinco níveis provém do conceito já amplamente conhecido e estabelecido dos 3R's: reutilizar, reduzir e reciclar (BRASKEM, 2024). Essa nova abordagem é capaz, na teoria, de fazer toda a gestão de resíduos industriais na própria planta industrial. (ZHANG; HU; DI MAIO, 2022).

A hierarquia é capaz de modificar todo o ciclo de vida do produto, incluindo os seus resíduos produzidos. O ciclo de vida é composto por etapas como *design*, manufatura, distribuição e a utilização do produto. Em cada etapa do ciclo de vida é passível de mudanças de acordo com a hierarquia, com o *redesign* da forma de

produção visando a produção de menos resíduos, modificação do produto e possibilidade de recuperação de resíduos durante a produção (UNEP, 2013).

A Comissão da União Europeia, em 2023, fez uma proposta de adição à Legislação da Hierarquia de Resíduos, dando foco em dois tipos de indústrias: as indústrias de alimentos e bebidas e as indústrias têxteis. Isso porque esses dois tipos de indústrias são a primeira e a quarta, respectivamente, a não respeitarem completamente a Hierarquia de Resíduos apresentada. Além de serem setores industriais que causam danos significativos ao meio ambiente, gerando dificuldades na transição de carbono zero e na transição para a economia circular dentro da União Europeia (UNIÃO EUROPEIA, 2023).

Um outro mecanismo desenvolvido para a UN-Habitat, o programa das Nações Unidas voltada para construção de cidades e comunidades cada vez mais inclusivas, seguras e sustentáveis, foi o *framework* dos “Dois Triângulos” (FIGURA 5) (UN-HABITAT, 2024).



**FIGURA 5:** *Framework* “Dois Triângulos”

Fonte: WILSON, RODIC, SCHEINBERG, et al, 2012

Enquanto a Hierarquia dos Resíduos foca no tratamento e disposição dos resíduos, o *framework* inclui aspectos envolvendo governança de comunidades, como saúde pública, sustentabilidade financeira e inclusão, tanto dos provedores de serviços quanto dos usuários (UNEP, 2013).

O diagrama “Dois Triângulos” se assemelha à proposta da PNRS sobre uma responsabilidade conjunta sobre o desafio dos resíduos sólidos urbanos e industriais.

## 9. DADOS HISTÓRICOS RECENTES SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO BRASIL

De acordo com a PNRS, os resíduos industriais “são os resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais” que podem ou não ser considerados perigosos (BRASIL, 2022).

Pessoas físicas e jurídicas que exerçam atividades sob controle ambiental têm obrigação de se inscrever no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) conforme é previsto pelo Ibama na Instrução Normativa nº 13, de 23 de agosto de 2021 (BRASIL, 2024).

Na TABELA 1, são apresentadas a quantidade de empresas com atividades industriais potencialmente poluidoras e/ou que são utilizadoras de recursos ambientais, por ano, de 2013 a 2016, de acordo com o CTF/APP.

**TABELA 1:** Empresas com Atividades Industriais Potencialmente Poluidoras no Brasil de 2013 a 2016

Ano	Empresas com Atividades Industriais Potencialmente Poluidoras
2013	450
2014	548
2015	521
2016	606

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

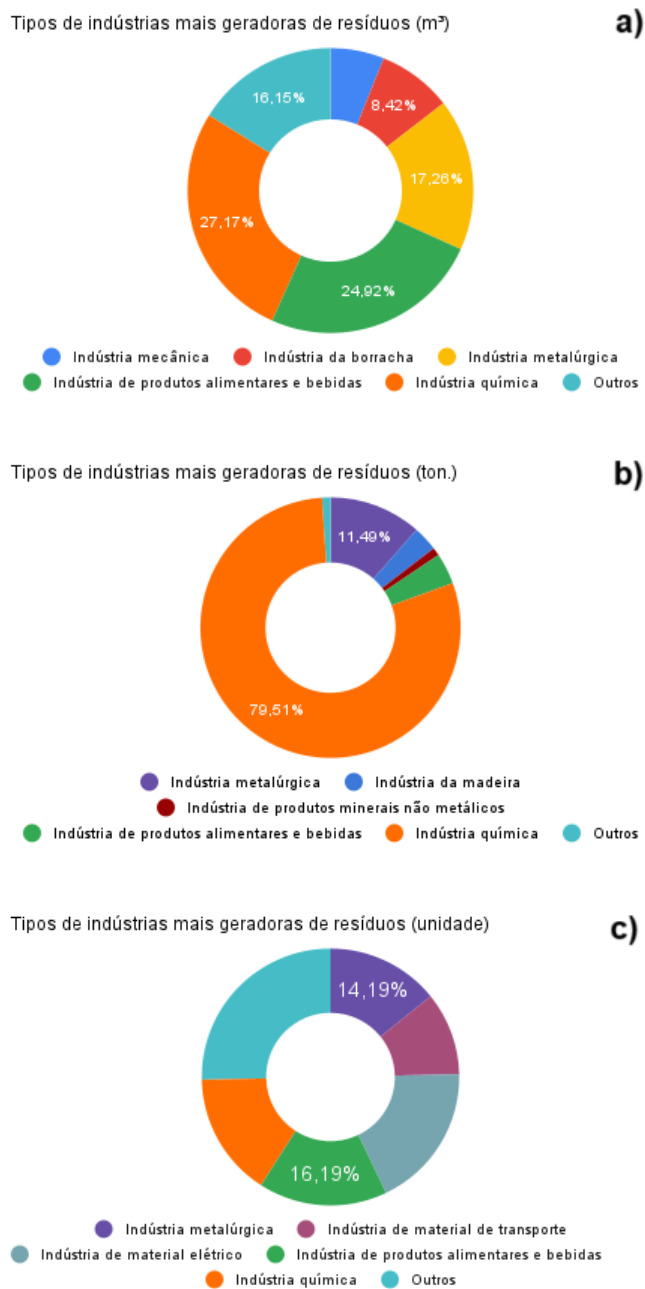
Durante os anos de 2013 a 2016 essas empresas foram responsáveis pela produção de mais de 1 bilhão de toneladas de resíduos industriais, com exceção do ano de 2015 (TABELA 2).

**TABELA 2:** Geração de resíduos no Brasil de 2013 a 2016 em metros cúbicos, toneladas e unidades.

Unidade de medida	Ano			
	2013	2014	2015	2016
Metros cúbicos	1.373.01	2.554.629	2.400.931	490.650
Toneladas	1.448.998.929	1.600.226.578	457.244.493	1.276.199.686
Unidades	2.474.546	3.151.980	3.703.06	3.141.512

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

Abaixo estão três gráficos, FIGURA 6 (A, B e C), que mostram, de acordo com a CTF/APP, quais são os cinco tipos de indústrias que mais produzem resíduos em três tipos de unidades diferentes: metros cúbicos, toneladas e por unidade, utilizando o ano de 2016 como o ano base para essa análise.



**FIGURA 6:** Tipos de indústrias mais geradoras de resíduos em diferentes unidades, sendo **A)** Indústrias mais geradoras de resíduos em m<sup>3</sup>, **B)** Indústrias mais geradoras de resíduos em toneladas e **C)** Indústrias mais geradoras de resíduos em unidades

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

Pode-se observar pelos gráficos acima que dois tipos de indústrias são responsáveis pela maior geração de resíduos, tanto em volume quanto em massa: as indústrias químicas e as indústrias de alimentos e bebidas (BRASIL, 2022). É

importante ressaltar também, o papel da indústria química na produção de resíduo industrial, sendo responsável por quase 80% do resíduo industrial pesado em 2016.

Outro ponto importante a ser analisado é a quantidade de resíduos industriais perigosos e não perigosos produzidos nos anos de 2013 a 2016. Na TABELA 3 é possível analisar a quantidade de resíduos perigosos e não perigosos declarados ao CTF/APP em três medidas diferentes: metros cúbicos, toneladas e unidades e tanto em Classe I quanto Classe II, descrita pela NBR 10.004/2004 da ABNT.

**TABELA 3:** Quantidade de resíduos, perigosos e não perigosos, gerados no Brasil entre 2013 e 2016

Unidade de medida	Classificação dos resíduos		2013	2014	2015	2016
	m <sup>3</sup>	Perigosos	Classe I	436.813,54	742.250,06	467.524
Não Perigosos		Classe II	88.242,73	1.787.543,87	1.919.631	77.462
TOTAL		525.056,27	2.529.793,93	2.387.155,03	386.297,34	
Ton.	Perigosos	Classe I	5.880.870,93	8.809.388,50	7.078.285	3.620.360
	Não Perigosos	Classe II	1.148.946.493,68	945.469.381,28	403.216.657	1.232.721.752
	TOTAL		525.056,27	954.278.769,78	410.294.941,70	1.236.342.111,79
Unidade	Perigosos	Classe I	2.439.738,60	3.117.598,79	3.663.943	3.094.641
	TOTAL		2.439.738,60	3.117.598,79	3.663.943,00	3.094.641

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

Um ponto importante para se destacar nos dados apresentados na TABELA 3 são os dados de resíduos perigosos na unidade de metros cúbicos que apresentam uma variação significativa quando se compara com os resíduos não perigosos que quando se compara com os dados reportados ao CTF/APP do ano de 2016, por possíveis erros de declaração nos anos de 2013 a 2015, ou seja um erro humano, quase 80% desses resíduos reportados como perigosos podem se tratar de efluentes líquidos que precisam de um tratamento antes do seu descarte (BRASIL, 2022).

A destinação dos resíduos também é um tópico de relevância. Na TABELA 4 estão as quantidades, em toneladas, das possibilidades de destinação de resíduos industriais não perigosos, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, dos anos de 2013 a 2016.

**TABELA 4:** Destinação de resíduos não perigosos no Brasil de 2013 a 2016

(continua)

Tipo de Destinação	Anos			
	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)
D02 - Tratamento em solo	-	7159,138	361,88	0,005
D05 - Aterramentos especialmente projetados (aterro Classe I)	2.374,90	1.623,29	131,35	339,10
D08 - Tratamento biológico não especificado	-	8,94	14582,1	2850,03028
D09 - Tratamento físico-químico não especificado	0,935	3209,718	-	-
D10 - Tratamentos térmicos, sem reaproveitamento energético	54767,625	498,37682	218,16929	1,643
D13 - Combinação ou mistura antes de se efetuar quaisquer das operações de tratamento e de disposição	26216,1386	121,10293	3588,44395	72,60541
D14 - Reempacotamento antes de se efetuar quaisquer das operações de tratamento e de disposição	32,72	1,0265	134,441	0,02
D15 - Armazenagem no decorrer de quaisquer das operações de tratamento e disposição	2768,7985	946,9292	470,08139	379,35366
R01 - Utilização de resíduo como combustível ou outros meios de gerar energia	22438,0845	3448,3386	2608,398	35012,84411

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

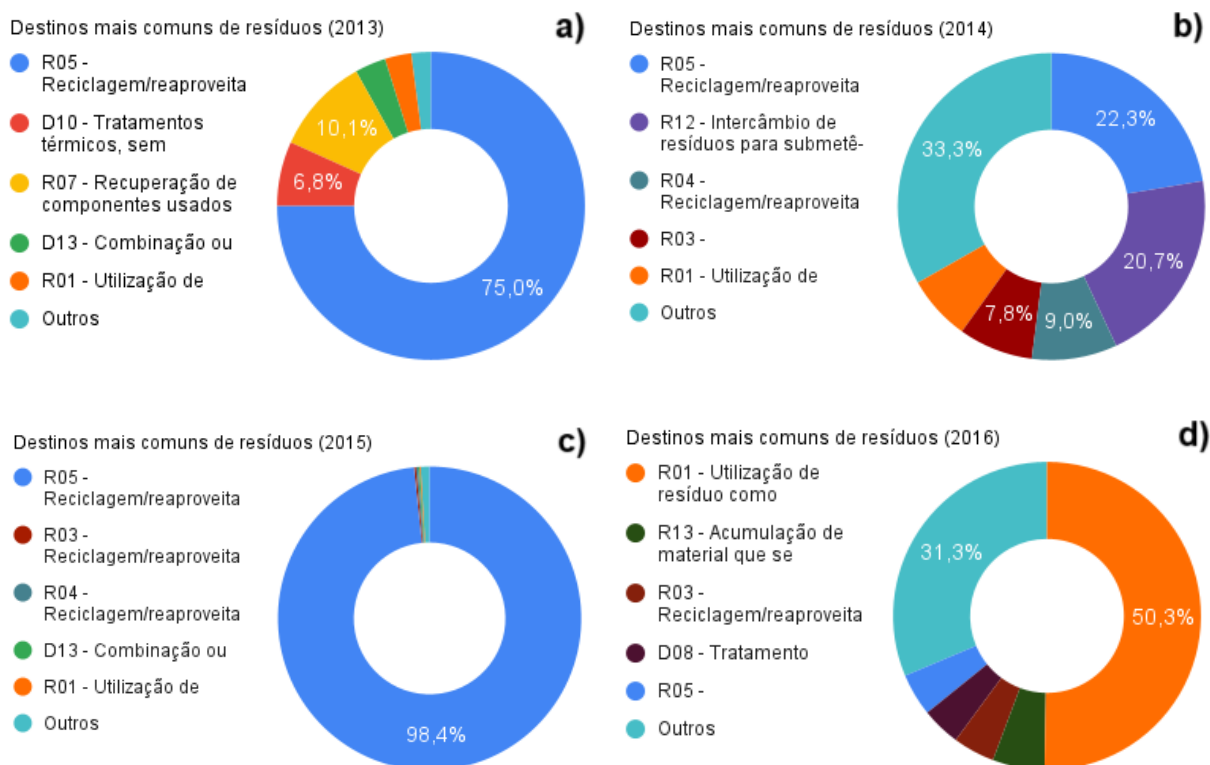
**TABELA 4:** Destinação de resíduos não perigosos no Brasil de 2013 a 2016

(conclusão)

Tipo de Destinação	Anos			
	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)
R02 - Reaproveitamento/regeneração de solventes	7,17	0	917,71	33,331
R03 - Reciclagem/reaproveitamento de substâncias orgânicas (compostagem, digestão anaeróbia, etc)	1924,323	3936,91968	4599,65074	3052,69075
R04 - Reciclagem/reaproveitamento de metais e compostos metálicos	2013,1539	4511,99925	4953,5022	10571,56879
R05 - Reciclagem/reaproveitamento de outros materiais inorgânicos	605666,3686	11220,57315	2199119,899	3110,14822
R07 - Recuperação de componentes usados na redução da poluição	81988,35	0	0	0,08
R09 - Rerefino de petróleo usado ou outras reutilizações de petróleo	0	0,66	0	0
R10 - Tratamento de solo que produza benefícios para a agricultura ou melhoras ambientais (fertilização, etc.)	36	0,38	0	369,1
R11 - Utilização de materiais residuais (uso agrícola, uso em alimentação animal, etc.)	3517,343	426,64218	7	0
R12 - Intercâmbio de resíduos para submetê-los a qualquer das operações relacionadas de R1 a R11	7,004	10416,88	1061,006	364,9991
R13 - Acumulação de material que se pretenda submeter a qualquer das operações de reciclagem	4028,53082	2714,53469	3030,48063	3804,87682

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

É interessante observar a partir dos dados fornecidos pelo CTF/APP na TABELA 4 que as destinações mais populares para os resíduos industriais não perigosos são opções que envolvem alguma forma de reciclagem ou reaproveitamento energético. As cinco maiores destinações dos resíduos industriais não perigosos nos anos de 2013 a 2016 são apresentadas nas FIGURA 7 (A, B, C e D):



**FIGURA 7:** As 5 destinações de resíduos mais comumente utilizadas por ano para resíduos industriais não perigosos, sendo **A)** Ano de 2013, **B)** Ano de 2014, **C)** Ano de 2015 e **D)** Ano de 2016

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

Nos anos de 2013 a 2016, a modalidade de destinação “R05 - Reciclagem/reaproveitamento de outros materiais inorgânicos” foi uma destinação extremamente utilizada, porém o dado apresentado pelo CTF/APP no ano de 2015 apresenta incoerências registrando que 98,4% dos resíduos industriais nacionais receberam essa mesma destinação. Esse dado provavelmente está incorreto, já que durante o ano de 2015, quase 95% dos resíduos industriais não perigosos produzidos no Brasil, um país de tamanho continental, tenha recebido o mesmo tratamento de

disposição. A causa do provável erro pode estar relacionada na passagem de dados das indústrias para o CTF/APP, na análise realizada ou na disponibilização dos dados também pelo mesmo órgão.

Ainda assim, é impressionante que nos 4 anos analisados, processos de reutilização, reuso e/ou reaproveitamento energético tenham tamanha posição de destaque no cenário nacional.

Na TABELA 5 abaixo estão os dados de destinação para resíduos industriais perigosos, em toneladas, nos anos de 2013 a 2016.

**TABELA 5:** Destinação de resíduos perigosos no Brasil de 2013 a 2016

(continua)

Tipos de destinação	Anos			
	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)
D02 - Tratamento em solo	27,42	0,00	2,20	5,44
D05 - Aterramentos especialmente projetados (aterro Classe I)	63,93	285,34	351,08	79,95
D08 - Tratamento biológico não especificado	0,148	0,0045	4,50	15,98
D09 - Tratamento físico-químico não especificado	8449,075	0,9156	10,4	1,0993
D10 - Tratamentos térmicos, sem reaproveitamento energético	1474,7678	2087,30869	1566,37818	52,28714
D12 - Armazenamento permanente	0	0	0	0,07
D13 - Combinação ou mistura antes de se efetuar quaisquer das operações de tratamento e de disposição	0,005	5,13139	22,45298	28,24656

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

**TABELA 5:** Destinação de resíduos perigosos no Brasil de 2013 a 2016

(continua)

Tipos de destinação	Anos			
	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)
D14 - Reempacotamento antes de se efetuar quaisquer das operações de tratamento e de disposição	-	-	8,33	0,00433
D15 - Armazenagem no decorrer de quaisquer das operações de tratamento e disposição	52,97287	478,41398	47,56762	70,0863
R01 - Utilização de resíduo como combustível ou outros meios de gerar energia	25063,096	629,27273	8714,24794	32409,51316
R02 - Reaproveitamento/regeneração de solventes	2415,31796	9511,6823	4714,6198	2216,04998
R03 - Reciclagem/reaproveitamento de substâncias orgânicas (compostagem, digestão anaeróbia, etc)	582,332	769,00057	0	0
R04 - Reciclagem/reaproveitamento de metais e compostos metálicos	59,5946	1041,09538	4953,5022	4390,76075
R05 - Reciclagem/reaproveitamento de outros materiais inorgânicos	0,7197	13,6866	0,388	20,3568
R07 - Recuperação de componentes usados na redução da poluição	904,398	875	1,853	0,994

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

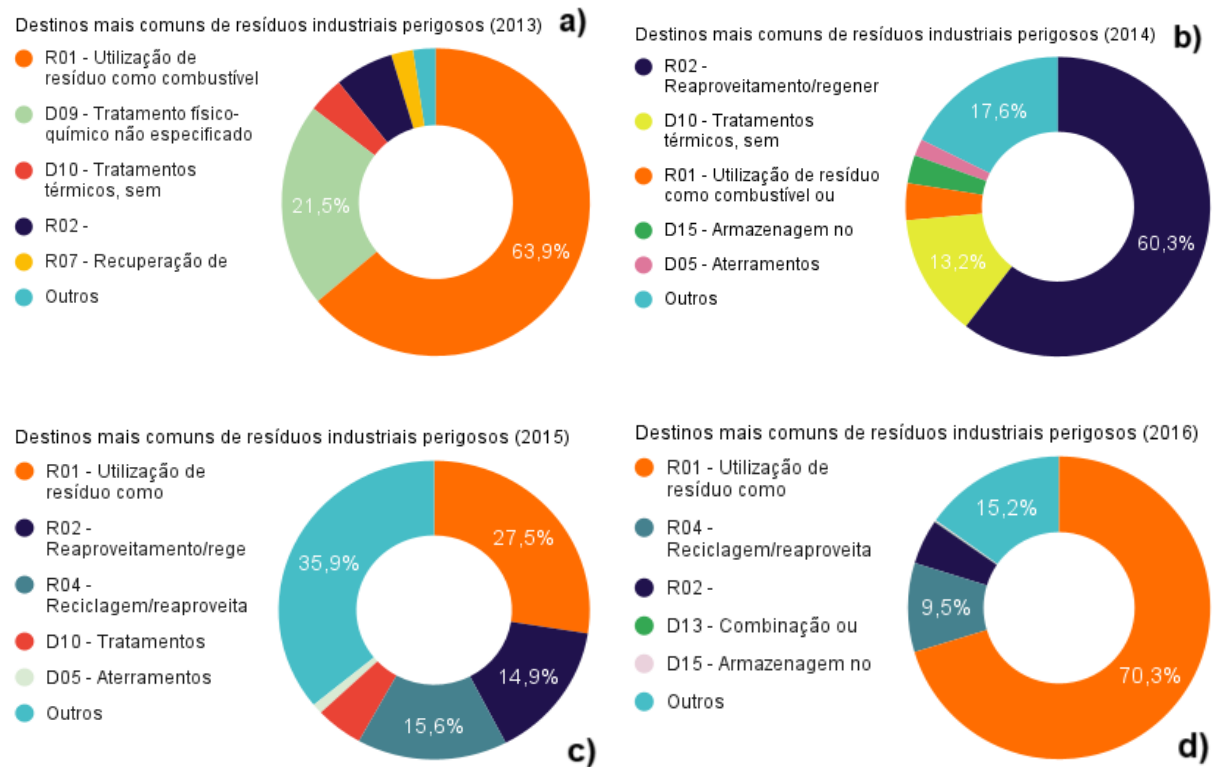
**TABELA 5:** Destinação de resíduos perigosos no Brasil de 2013 a 2016

(conclusão)

Tipos de destinação	Anos			
	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)
R09 - Rerefinação de petróleo usado ou outras reutilizações de petróleo	0	0	0	0
R11 - Utilização de materiais residuais (uso agrícola, uso em alimentação animal, etc.)	-	-	11,4495	8,4325
R12 - Intercâmbio de resíduos para submetê-los a qualquer das operações relacionadas de R1 a R11	0	0,132	0	0,01705
R13 - Acumulação de material que se pretenda submeter a qualquer das operações de reciclagem	147,96313	76,28877	35,47798	186,248

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

De forma similar ao que pode ser observado nos resíduos industriais não perigosos, nos resíduos considerados perigosos, os processos de destinação que envolvem reciclagem e/ou reaproveitamento possuem um papel importante de destinação. Os gráficos abaixo (FIGURA 8, A, B, C e D), demonstram as destinações para esse tipo de resíduo, para os anos de 2013 a 2016, em todos os anos analisados, destinações de reciclagem e/ou reaproveitamento representam mais de 60% das possibilidades de destinações.



**FIGURA 8:** As 5 destinações de resíduos mais comumente utilizadas por ano para resíduos industriais perigosos, sendo **A)** Ano de 2013, **B)** Ano de 2014, **C)** Ano de 2015 e **D)** Ano de 2016

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da CTF/APP

A forma de disposição mais comumente utilizada para os resíduos industriais perigosos no cenário nacional é a opção de “R01 - Utilização de resíduo como combustível ou outros meios de gerar energia”, uma opção não muito utilizada no caso dos resíduos industriais não perigosos. Um exemplo da destinação “R01 - Utilização de resíduo como combustível ou outros meios de gerar energia” é o processo de coprocessamento e incineração com recuperação energética. É importante destacar que no ano de 2016 aproximadamente 70% dos resíduos perigosos industriais receberam essa destinação.

Outro ponto importante de ser destacado é a presença da modalidade de “R02 - Reaproveitamento/regeneração de solventes” que foi bastante utilizada nos anos destacados principalmente no ano de 2014 com aproximadamente 60% dos resíduos industriais perigosos do ano recebendo essa destinação. Comparando com as informações fornecidas sobre os resíduos sólidos industriais não perigosos (TABELA 4)

essa modalidade não recebe o mesmo destaque, sendo praticamente não utilizada nos 4 anos analisados para os resíduos industriais não perigosos com somente 958,21 toneladas em 4 anos enquanto para os resíduos perigosos esse número aumenta para 18.857,64 toneladas, um número aproximadamente 19 vezes maior.

## **10. ALTERNATIVAS POSSÍVEIS**

### **10.1. Produção Mais Limpa (*Cleaner Production*)**

O conceito de Produção Mais Limpa (P+L, *Cleaner Production* em inglês, ou somente CP) foi introduzido pela primeira vez em 1989 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme* em inglês, UNEP) como uma abordagem inovadora para conservação de recursos e para gestão ambiental para processos, produtos e serviços (UNEP, 2001).

As indústrias brasileiras se familiarizaram com o termo de Produção Mais Limpa somente após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio 92 (GOUVEIA, 2012).

O conceito de Produção Mais Limpa deve ser entendido como uma contínua aplicação de uma estratégia preventiva que envolve processos, produtos e serviços, alcançando assim benefícios além de ambientais, mas também socioeconômicos e para a saúde humana (BARBIERI, 2012).

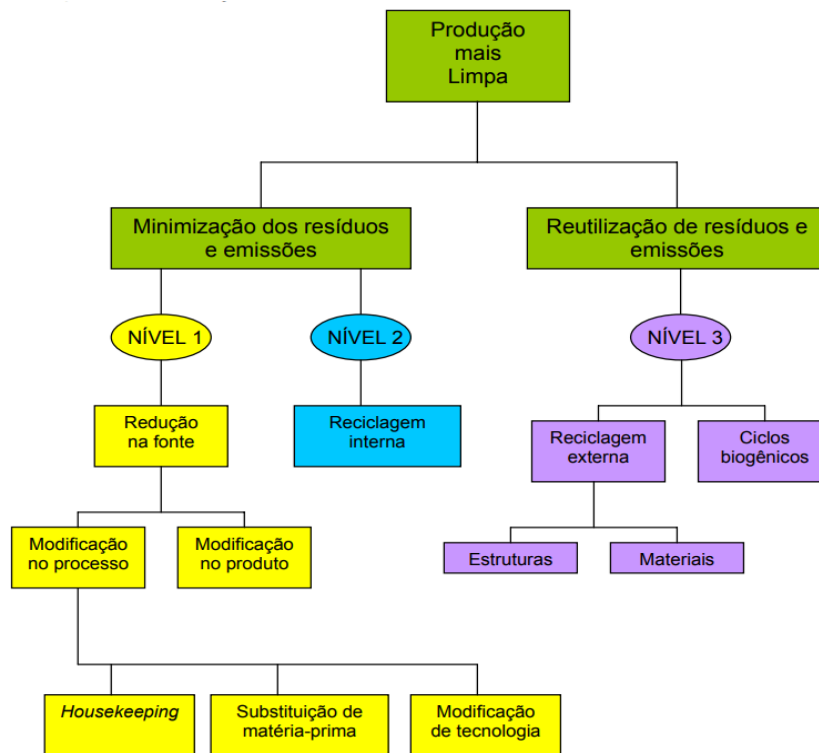
Ao se aplicar técnicas de P+L em processos industriais é esperado a conservação de matérias primas e fontes energéticas, destinação correta de substâncias residuais tóxicas e a redução na quantidade de produção dessas substâncias. Para indústrias, as técnicas de P+L podem refletir em um ganho financeiro, já que essas técnicas auxiliam na eficiência de processos industriais, porém para, iniciar tais procedimentos é necessário um alto conhecimento do processo em questão, a aplicação de tecnologias cada vez mais inovadoras e o aumento da conscientização de pessoas, internas e externas a indústria, da importância da P+L (EL-HAGGAR, 2007).

Enquanto tradicionalmente as indústrias trabalham principalmente no tratamento de resíduos e na emissão dos gases produzidos no processo produtivo, técnicas

conhecidas como técnicas de fim-de-tubo (ou *end-of-pipe*, em inglês) (CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2003). As técnicas fim-de-tubo podem ser entendidas como técnicas de controle, que estão relacionadas com o fim de uma cadeia produtiva, que tem como objetivo a modificação, seja ela física ou química, dos resíduos do processo para resultar em resíduos menos danosos para o meio ambiente e para a saúde humana e pensando em um cenário econômico essas técnicas podem ser mais danosas pelo alto custo na disposição de resíduos (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2006).

As técnicas de Produção Mais Limpa podem ser definidas como soluções *processs-integrated* já que essas técnicas são baseadas na reciclagem, na modernização de processos já existentes, e na melhora de medições (ZOTTER, 2004). Essas técnicas têm como ponto focal a diminuição de uso de recursos, sejam eles energéticos ou matérias primas utilizadas no processo, mas também a diminuição e/ou eliminação na produção de resíduos no processo produtivo.

No conceito de P+L existem níveis de prioridade estabelecidos que são demonstrados na FIGURA 9.



**FIGURA 9:** Fluxograma da geração de opções de Produção Mais Limpa  
 Fonte: CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - SENAI/RS, 2003

A maior prioridade no P+L é evitar a produção de resíduos diretamente no processo produtivo, que é representado pelo Nível 1 (FIGURA 9). Caso tanto a modificação na fonte quanto no produto não seja possível, deve ocorrer uma reintegração no processo produtivo, como demonstra o Nível 2. E por fim, caso nenhum dos dois níveis anteriores consigam ser cumpridos, medidas de reciclagem fora da empresa devem ser providenciadas, como está representado no Nível 3 (CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2003).

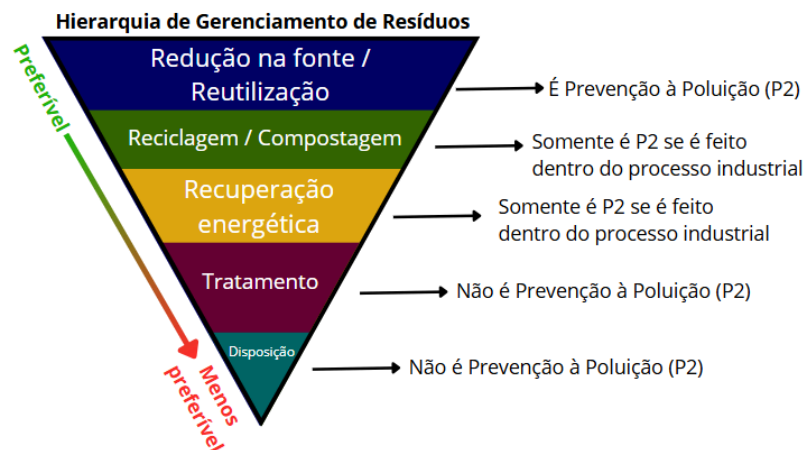
Porém, a implementação de uma mentalidade P+L nas indústrias é dependente de fatores econômicos, culturais, sociais e comportamentais de cada organização, que podem ser chamadas barreiras de implementação. Apesar de apresentar ganhos econômicos e ambientais, para que ocorra essa transição no meio industrial brasileiro, superando as barreiras de implementação são necessárias pressões dos órgãos ambientais e sociais do Brasil.

## 10.2. Prevenção à Poluição (P2)

O conceito de Prevenção à Poluição (P2) foi definido por Duncan como toda prática que reduz a quantidade e o impacto ambiental de qualquer poluente antes da sua disposição final. A P2 foca em 5 diferentes aspectos: água, ar, sólidos, tempo e energia (AMORIM RIBEIRO, 2017).

A P2 se baseia na pirâmide de hierarquia de resíduos, estabelecida pela União Europeia em 2008, ou seja, é baseada em redução na fonte e que é fundamentalmente diferente e mais desejável do que ações que visam a reciclagem, tratamento ou disposição.

Além disso, o Departamento da Gestão do Meio Ambiente de Indiana, nos Estados Unidos, deixa claro o que pode ser definido como P2 e o que não pode ser considerado. Por exemplo, a redução na fonte/o reuso pode ser considerado P2, mas tanto a reciclagem, compostagem e a recuperação energética, somente podem ser considerados P2 em casos específicos sendo necessário que sejam feitos dentro do processo ou *closed-loop*. Já o tratamento e a disposição de resíduos não podem ser considerados P2 em nenhuma circunstância (FIGURA 10) (INDIANA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2024).



**FIGURA 10:** Ações que podem ser consideradas como P2.  
Fonte: INDIANA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2024

Algumas metas da P2, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency*, EPA, em inglês), são: eliminar e/ou diminuir a produção de resíduos, a conservação de recursos naturais e materiais, prevenção às liberações acidentais e prevenção à perda de produtos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1998).

O conceito de P2 é altamente utilizado nos Estados Unidos já que em 1990 foi aprovado no Congresso Estadunidense o *Pollution Prevention Act (P2 Act)* (Lei de Prevenção à Poluição, em português). Essa lei dita que é obrigação da EPA estabelecer programas de redução de uso de matérias primas não renováveis e de utilização de energia. Além disso, ela é responsável tanto pela disseminação de informação quanto pelo repasse financeiro para a redução de impacto ambiental nos Estados dos Estados Unidos. (CONGRESS, 1990)

De acordo com a EPA, a maior diferença entre o conceito de Produção Mais Limpa e o conceito de P2 é que enquanto a P2 é um conceito de gerenciamento ambiental que pode ser aplicado em qualquer setor, a Produção Mais Limpa é uma técnica desenhada mais especificamente para setores industriais que possuem todo um processo de produção (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1998).

## **11. CASOS DE SUCESSO NA INDÚSTRIA QUÍMICA**

### **11.1. ICL (Israel Chemical Ltd.)**

O grupo ICL é um grupo multinacional, de origem israelita, é especializado no desenvolvimento, produção e comercialização de fertilizantes, metais e outros químicos de uso especial. A ICL atende principalmente três mercados: alimentício, agricultura e materiais de engenharia (GLOBES, 2013). Essa empresa é responsável por aproximadamente  $\frac{1}{3}$  da produção mundial de bromo e é a sexta maior produtora de *potash*, que são compostos de potássio utilizados como fertilizantes, principalmente o carbonato de potássio (BLOOMBERG, 2013).

O grupo criou internamente uma estratégia visando uma economia circular envolvendo os resíduos de seus processos produtivos e resíduos de outras empresas,

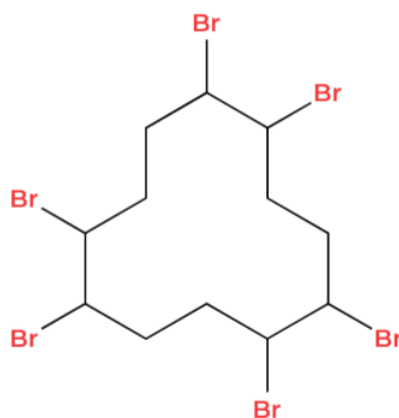
fechando assim o *looping* dos processos e produtos. Na planta industrial de Israel, alguns de seus subprodutos e fluxos de resíduos são reutilizados em outros processos produtivos e em algumas plantas industriais da Europa, são utilizados resíduos de outras indústrias como parte do processo produtivo da ICL (ICL, 2023).

No site industrial da ICL em Cajati, no estado de São Paulo, na planta de purificação do ácido fosfórico, 100% dos co-produtos gerados no momento de pré tratamento do resíduo de fosfato e na unidade de extração do ácido fosfórico, no momento da refinaria, são transformados para serem utilizados na produção de fertilizantes fosfatados. Além disso, toda a água residual gerada na unidade é tratada e passa por um processo de filtração, removendo assim sólidos e recuperando  $P_2O_5$  e o utilizando como complemento na produção dos fertilizantes fosfatados. Por fim, na unidade de tratamento de efluentes na unidade industrial de Cajati, aproximadamente 20% da água residual tratada é utilizada no processo visando diminuir o consumo de água. Assim, com a utilização de subprodutos em todo processo de purificação do ácido fosfórico, é adicionado valor na sua cadeia produtiva com produtos que poderiam ter ido para descarte, aumentando a economia circular da empresa (ICL, 2016).

Outro exemplo de como a ICL é capaz de praticar a Economia Circular é através do projeto *PolyStyrene Loop* (PSL), um projeto realizado nos Países Baixos (ICL, 2016). A corporativa PSL, também é composta por outras indústrias químicas como BASF e Lanxess, possui também o suporte do programa *LIFE* da União Europeia, que é o instrumento de fomento para ações ambientais e climáticas na UE (PSLOOP, 2015).

A PSL é capaz de contribuir com a Economia Circular e com Logística Reversa através da reciclagem de poliestireno (PS) que provém de resíduos de demolição que contém o retardante de chamas hexabromociclododecano (HBCD). O HBCD (FIGURA 11) é uma substância não aromática sendo classificado como um POP, é extremamente bioacumulativa tanto em fauna como em flora e possui uma alta meia vida em ambientes aquáticos (SZABO, 2014). Os seus efeitos adversos tanto no meio ambiente quanto para a saúde humana são devidos a acumulação ou devido a este ser um agente desregulador endócrino. Além disso, foi provado que o HBCD provoca efeitos no sistema neural, sistema cardiovascular, sistema renal, sistema reprodutivo e até mesmo dano no DNA humano (LOPES MARQUES; CAIRRAO, 2023). Em outubro de 2008, a

Agência Europeia dos Produtos Químicos (European Chemicals Agency, ECHA, em inglês) decidiu incluir o HBCD na lista de Substâncias de grande preocupação (*Substances of Very Concern, SVHC*, em inglês).



**FIGURA 11:** Estrutura molecular do hexabromociclododecano.

O projeto PSL criou um processo de separação do HBCD do PS, conhecido como *Solvent-based Purification (SBP)*, sendo possível assim, a reciclagem do poliestireno para ser usado em novos materiais de isolamento. Por fim, os átomos de bromo do HBCD são recuperados na unidade de Recuperação de Bromo (em inglês, *Bromine Recovery Unit, BRU*), após uma destruição segura do HBCD, assim, o bromo recuperado pode ser reutilizado na produção de novos retardantes de chamas poliméricos (ICL, 2016).

## 11.2. Braskem

A Braskem, uma empresa petroquímica de origem brasileira, é a maior petroquímica na América Latina e maior produtora de resinas plásticas das Américas (BRASKEM, 2021). De acordo com o *Chem Analyst*, plataforma de inteligência de mercado voltado para a indústria química, ela está na 22ª posição no ranking mundial de indústrias químicas, na categoria de vendas (CHEM ANALYST, 2024).

A Braskem criou um ecossistema dentro da sua corporativa chamado Wenew, um ecossistema focado em oportunidades de economia circular dentro da empresa, que

visa a recuperação de resíduos por meio do processo de reciclagem, seja ele química ou mecânica, realizando assim a transição da manufatura tradicional do plástico para a economia circular (BRASKEM, 2022). A Braskem obteve o segundo lugar no ranking realizado pela *Bloomberg New Energy Finance* (BloombergNEF), ranking que avalia as metas de economia circular de 40 petroquímicas mundiais (BRASKEM, 2024).

Os portfólios dos produtos Wenum, tanto resinas que são feitas a partir de resinas recicladas e feitas com fontes renováveis, quanto produtos químicos, são feitos com opções circulares como o solvente Hexano Circular e a Cáustica Circular (BRASKEM, 2022).

Em um processo de reciclagem mecânica, os resíduos plásticos são transformados em produtos secundários ou em matéria-prima sem mudar a sua estrutura química, ou seja, as cadeias poliméricas não são quimicamente rompidas (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2020). A Braskem obtém os plásticos de origem tanto doméstica quanto industrial, e esse material inicial é triturado e após serem lavados e então passam por um processo chamado extrusão, transformando-os em pequenos grânulos de resina, chamados de pellets. E por fim, esses pellets são utilizados para a produção de novos produtos (BRASKEM, 2022).

Já o processo de reciclagem química, que o termo pode ser usado com uma abrangência de tecnologias que usam calor (pirólise) e/ou processos químicos para a quebra da cadeia polimérica no plástico, ou seja, altera as características físico-químicas do resíduo (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2020). A reciclagem química amplia os horizontes da circularidade do plástico, já que é possível reciclar resíduos mais complexos, podendo produzir tanto resinas como produtos químicos.

A Braskem realizou um investimento de R\$ 2,7 milhões em um acordo de cooperação juntamente com a Fábrica Carioca de Catalisadores (FCC S.A.), o SENAI CETIQT (Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil) e o EngePol, o Laboratório de Engenharia de Polímeros da COPPE/UFRJ. Esse projeto tem como objetivo conjunto melhorar a eficiência da reciclagem química e melhorar a qualidade dos produtos produzidos através da reciclagem através do desenvolvimento de catalisadores (BRASKEM, 2020).

Mais uma ação voltada para economia circular, foi uma parceria realizada entre a Braskem e a Organização Holandesa de Pesquisa Científica Aplicada (TNO) cujo o principal objetivo é o estudo do processo de reciclagem por dissolução. (BRASKEM, 2024) O processo de reciclagem de plásticos por dissolução, como por exemplo, para o propileno (PP), é realizado a partir da dissolução do plástico em um solvente apropriado, em seguida ele é re-precipitado utilizando um não solvente, o material obtido é lavado e secado e por fim, os solventes são recuperados por destilação fracionada para reuso (POULASKIS; PAPASPYRIDES, 1997). A colaboração entre a Braskem e a Organização Holandesa busca desenvolver uma tecnologia baseada na dissolução de Möbius, uma solução exclusiva da TNO, que visa superar o desafio de encontrar um solvente que funcione de forma universal nos plásticos, independentemente do tipo de polímero utilizado, de aditivos presentes no material de partida (TNO, 2024). Estudos utilizando a dissolução de Möbius mostram que a tecnologia gera produtos com qualidade superior ao método comum de reciclagem mecânica e com emissões de carbono extremamente inferiores comparando-se com as emissões de carbono obtidas no processo de reciclagem química, principalmente no uso da pirólise (BRASKEM, 2024).

## **12. CONCLUSÃO**

É notável a evolução da política brasileira no quesito ambiental desde a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, e com a adição do Planares 2022 que conta com metas ambiciosas. Porém, para alcançar tais metas, é necessária uma grande mudança: a disponibilização de dados de forma mais eficaz pelo Ministério do Meio Ambiente. Por exemplo, no documento planares, um instrumento de 2022 extenso sobre a produção, gerenciamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos e industriais no Brasil, só são disponibilizados dados até 2016. Além disso, para o público, o Ministério do Meio Ambiente, através do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, só são disponibilizados dados até 2020. Existe muito espaço para melhora na veracidade dos dados disponibilizados pelo Governo, como por exemplo, já foi citado o possível erro referente a destinação dos resíduos industriais não perigosos em 2015 e

o erro, já mostrado pelo próprio Ministério do Meio Ambiente referente a quantidade de resíduos industriais perigosos, na unidade de metros cúbicos, em 2016. Isso gera uma falta de credibilidade no trabalho exercido pelo Ministério do Meio Ambiente brasileiro. Também é necessária uma postura mais rígida aplicada pelos Governos visando um maior controle e fiscalização de órgãos como indústrias e caso necessário, a aplicação de multas se as normas e leis não forem cumpridas.

Conclui-se também o papel fundamental que as indústrias, os atores geradores, possuem no tratamento dos seus resíduos produzidos. É necessário não somente dispor-se do resíduo produzido no processo industrial, mas também, analisar o processo industrial como um todo e procurar alternativas que visem, de maneira prioritária, a não produção dos resíduos. São encontrados casos de sucesso de manejo mais sustentável de resíduos, visando a sua reciclagem e sua usabilidade em outros produtos, porém não se encontram informações e casos de indústrias mudando o seu processo produtivo e/ou no seu produto para evitar a produção de resíduos. É necessário investimentos nas áreas de Pesquisa & Desenvolvimento e Desenvolvimento Industrial, somente assim, as empresas serão capazes realmente de diminuir e evitar a produção de resíduos nos seus processos.

Por fim, é essencial uma colaboração entre diversas esferas da sociedade: das indústrias, de diferentes esferas governamentais e os próprios consumidores. Cada uma das esferas pode contribuir e se beneficiar de uma menor geração e melhor destinação dos resíduos produzidos: as indústrias realizando práticas mais ambientalmente corretas, podendo gerar até lucro com a venda dos seus resíduos, conseguindo mais investimentos governamentais para melhorar suas práticas de transformação de resíduos, os governos podem ter menos problemas com aterros e outras formas não ideais de disposição de resíduos e por fim, os consumidores podem fazer escolhas mais conscientes sobre os produtos consumidos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT. **ABNT NBR 10.004**. 2004. Disponível em:  
<https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>

ADDINK, Rudd; PAULUS, Rudi H.; OLIE, Kess. **Prevention of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins/Dibenzofurans Formation on Municipal Waste Incinerator Fly Ash Using Nitrogen and Sulfur Compounds.** Environmental Science & Technology 1996 30 (7), 2350-2354 DOI: 10.1021/es9508075

ALBITAR, Khaldoon; NARSALLAH, Nohade; HUSSAINEY, Khaled, et al. **Eco-innovation and corporate waste management: The moderating role of ESG performance.** Review of Quantitative Finance and Accounting. Vol. 63. pg. 781 - 805 2024. doi: 10.1007/s11156-024-01281-5

AMORIM RIBEIRO, Rafael Augusto. **Prevenção à Poluição e Produção Mais Limpa na Indústria.** Apostila P2 e P+L. Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo. 2017 Disponível em:  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3124873/mod\\_resource/content/1/Apostila%20P2%20e%20P%20BL.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3124873/mod_resource/content/1/Apostila%20P2%20e%20P%20BL.pdf)

ANDRADE, João Paulo; COLTRO, Leda. **Incineração de resíduos.** Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. Vol. 17. nº 1. 2005. Disponível em:  
[https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v17n1/v17n1\\_artigo4.pdf](https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v17n1/v17n1_artigo4.pdf)

BAIN & COMPANY. **The Future Is Circular: How Companies Can Prepare to Grow in a Changing World.** 2023. Disponível em:  
[https://www.bain.com/insights/the-future-is-circular-how-companies-can-prepare-to-grow-in-a-changed-world-ceo-sustainability-guide-2023/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAxKy5BhBbEiwAYiW--7\\_oNJA0LOy4dGGG0c6zisPTsnaB-Jp1Pb\\_nMv0Riak7BN\\_I\\_WLeCRoCE7EQAvD\\_BwE](https://www.bain.com/insights/the-future-is-circular-how-companies-can-prepare-to-grow-in-a-changed-world-ceo-sustainability-guide-2023/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAxKy5BhBbEiwAYiW--7_oNJA0LOy4dGGG0c6zisPTsnaB-Jp1Pb_nMv0Riak7BN_I_WLeCRoCE7EQAvD_BwE)

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos.** Saraiva Uni; 4ª ed; ISBN-10 : 8547208216; 2012.

BATTAGIN, Arnaldo; CARDOSO, Fernando. **PANORAMA DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM FORNOS DE CIMENTO NO BRASIL.** Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto. 2018. Disponível em:  
[https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/09/PANORAMA\\_COPROCESSAMENTO\\_IBRACON\\_20.7.2018\\_.pdf](https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/09/PANORAMA_COPROCESSAMENTO_IBRACON_20.7.2018_.pdf)

BHATTACHARYA, Sumanta. **Industrialization and the beginning of Hazardous waste in the world, what is the current status of India when it comes to Hazardous waste - A conspectus.** International Journal for Research & Development in Technology. Vol. 16. Issue 6. pg. 25 - 29. 2021

BIGERNA, Simona; MICHELI, Silvia; POLINORI, Paolo. **New generation acceptability towards durability and reparability of products: Circular Economy in the era of the 4th industrial revolution.** Technological Forecasting and Social Change. Vol. 165. 2021. doi:10.1016/j.techfore.2020.120558

BLOOMBERG. **Potash Cuts Profit Forecast After Fertilizer Price Drop.** 2013. Disponível em:

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2013-07-25/potash-cuts-profit-forecast-after-fertilizer-price-drop>

BRASIL. **Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP)**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/cadastros/ctf/ctf-app/ctf-app>

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)**. 2022. pg 70 - 86  
Disponível em:  
[https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano\\_nacional\\_de\\_residuos\\_solidos-1.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf)

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2024. Disponível em:  
<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/plano-nacional-de-residuos-solidos>

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010. Disponível em:  
<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html>

BRASKEM - WENEW. **Página inicial**. Disponível em:  
<https://www.braskem.com/wenew/home>

BRASKEM. **Braskem avança em pesquisas sobre reciclagem química de plásticos**. 2020. Disponível em:  
<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-avanca-em-pesquisas-sobre-reciclagem-quimica-de-plasticos>

BRASKEM. **Braskem e holandesa TNO firmam parceria para a reciclagem de plásticos**. 2024. Disponível em:  
<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-e-holandesa-tno-firmam-parceria-para-reciclagem-de-plasticos#:~:text=A%20Braskem%2C%20maior%20produtora%20de,mais%20pr%C3%B3xima%20da%20reciclagem%20mec%C3%A2nica>.

BRASKEM. **Nossos produtos - Wenew**. 2022. Disponível em:  
<https://www.braskem.com/wenew/nossos-produtos>

BRASKEM. **Ranking aponta Braskem como referência em economia circular**. 2024. Disponível em:  
[https://www.braskem.com.br/wenew/noticia/ranking-aponta-braskem-como-referencia-e-m-economia-circular#:~:text=A%20Braskem%2C%20maior%20produtora%20de,New%20Energy%20Finance%20\(BloombergNEF\)](https://www.braskem.com.br/wenew/noticia/ranking-aponta-braskem-como-referencia-e-m-economia-circular#:~:text=A%20Braskem%2C%20maior%20produtora%20de,New%20Energy%20Finance%20(BloombergNEF)).

BRASKEM. **The waste hierarchy in practice, an essential pillar of a sustainable society**. 2024. Disponível em:  
<https://www.braskem.com.br/europe/news-detail/the-waste-hierarchy-in-practice-an-essential-pillar-of-a-sustainable-society>

BRASKEM. **Relatório de Produção e Vendas. 4º Trimestre de 2021.** 2021. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/540b55c5-af99-45f7-a772-92665eb948e9/beabe29a-d2d3-b256-75f2-f39f99c7bc59?origin=1>

CAIXETA, Dalma Maria. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** Tese de Especialização (Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. 2005. Disponível em: [https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/documentos/trabalhos-cientificos/dissertacao\\_dalma.pdf](https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/documentos/trabalhos-cientificos/dissertacao_dalma.pdf)

CALKOSINSKI, Ireneusz; ROSINCZUK-TONDERERYS, Joanna; BAZAN, Justyana; et al. **Influence of dioxin intoxication on the human system and possibilities of limiting its negative effects on the environment and living organism.** Annals of Agricultural and Environmental Medicine. Vol. 21. nº 3. pg 518 - 524. 2014. doi: 10.5604/12321966.1120594

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **LIXO MUNICIPAL - MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO.** 2018. ISBN 978-85-87345-02-8. Disponível em: [https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo\\_Municipal\\_2018.pdf](https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf)

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - SENAI/RS. **Implementação de Programas de Produção Mais Limpa.** 2003. Disponível em: [https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual\\_implementacao\\_pmaisl.pdf](https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual_implementacao_pmaisl.pdf)

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Resíduos Sólidos Industriais.** 2ª ed. 1993. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/bitstreams/44c28b3f-51cc-4cae-a9d2-43ff5ea3b4c6/download>

CHEM ANALYST. **TOP 100 CHEMICAL MANUFACTURERS RANKING, 2024.** 2024. Disponível em: <https://www.chemanalyst.com/ChemAnalyst/ChemicalManufacturers>

CHEN, Tong; MA, Yufeng; ZHAN, Mingxiu; et al. **Emission Characteristics of Pollutants from Co-processing Aged Refuse in a Bench-scale Simulated Cement Klin.** Aerosol and Air Quality Research. Vol. 19. Issue 6. pg. 1377 - 1389. 2019. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.01.0019>

CONGRESS. **H.R.5931 - Pollution Prevention Act of 1990,** 1990. Disponível em: <https://www.congress.gov/bill/101st-congress/house-bill/5931>

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **RESOLUÇÃO Nº 452, DE 02 DE JULHO DE 2012.** 2012. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=656](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=656)

CULOT, Giovanna; ORZES, Guido; SATOR, Marco, et al. **The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis of Industry 4.0.** Technological Forecasting and Social Change. Vol. 157. 2020. doi:10.1016/j.techfore.2020.120092

DA SILVA, Leo Jaymee; DOS SANTOS, Ivan Felipe; MENSAH, Johnson, et al. **Incineration of municipal waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential.** Renewable Energy - An International Journal. Vol. 149. pg. 1386-1394. 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>

ÉL PAIS BRASIL. **50 anos depois, agente laranja continua contaminando o solo do Vietnã.** 2019. Disponível em: [https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/16/ciencia/1552710887\\_506061.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/16/ciencia/1552710887_506061.html)

EL-HAGGAR, Salah M. **Sustainable Development and Environmental Reform.** 2007. Sustainable Industrial Design and Waste Management, Academic Press, Capítulo 4. pg. 125 - 128. ISBN 9780123736239, [doi.org/10.1016/B978-012373623-9/50006-X](https://doi.org/10.1016/B978-012373623-9/50006-X).

FAENGMAR, I.; STROEMBERG, B; BERGE, N.; et al. **Influence of Postcombustion Temperature Profiles on the Formation of PCDDs, PCDFs, PCBzs, and PCBs in a Pilot Incinerator.** Environmental Science & Technology Journal. 1994. 1;28(4):624-9. doi: 10.1021/es00053a014. PMID: 22196544.

F. PINTO, Glaucia Maria; FERREIRA PINTO, Jefferson; MACIEL FILHO, Rubens. **Avaliação de contaminação ambiental causada por poluentes orgânicos persistentes utilizando simulação computacional.** Química Nova. Vol. 3. No. 3. pg. 565 - 568. 2007. doi.org:10.1590/S0100-40422007000300011

FRONDEL, Manuel; HORBACH, Jens; RENNINGS, Klaus. **End-of-pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries.** Business Strategy and the Environment. Vol. 16. Issue 8. pg. 571 - 584. 2006. doi:10.1002/bse.496

GLOBES. **Israel Chemicals teams with Vietnamese co.** 2013. Disponível em: <https://en.globes.co.il/en/article-1000876904>

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectivas de manejo sustentável com inclusão social.** Revista Ciência & Saúde Coletiva. Vol. 17. Nº 6. 2012. doi: 10.1590/S1413-81232012000600014

GROUMPOS, Peter. **A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions.** IFAC PapersOnLine. 54-13. pg. 464 - 471. 2021

GUAR, Vivek; SHARMA, Pooman; SIROHI, Ranjna et al. **Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: A comprehensive review.** Journal of Hazardous Materials. Vol. 398. 2020

HAPPEN VENTURES. **How Industrialization Lead To Waste Disposal Challenges**. 2023 Disponível em:  
<https://happenventures.com/how-industrialization-lead-to-waste-disposal-challenges/>

HARADHAN, Mohajan. **The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era**. Journal of Social Sciences and Humanities. Vol. 5. nº 4. pg. 377 - 387. 2019

HE, Fengyu; WANG, Fei; PENG, Yaqi et al. **Insight into the formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in hazardous waste incineration and incinerators: Formation process and reduction strategy**. Journal of Environmental Management. Vol. 345. 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118669>

HEBER, Florence; DA SILVA, Elvis. **Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE)**. Revista Adm. Pública 48(4). pg. 913 - 937. 2014.  
[doi.org/10.1590/0034-76121537](https://doi.org/10.1590/0034-76121537)

HUNSINGER, Hans; SEIFERT, Helmut; JAY, Klaus. **Reduction of PCDD/F Formation in MSWI by a Process-Integrated SO<sub>2</sub> Cycle**. Environmental Engineering Science. Vol. 24. nº 8. pg. 1145 - 1159. 2007. DOI: 10.1089/ees.2007.0108

ICL. **Circular Economy**. 2016. Disponível em:  
<https://icl-group-sustainability.com/reports/circular-economy/>

ICL. **Waste**. 2023. Disponível em:  
<https://icl-group-sustainability.com/reports/waste/>

INDIANA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. **What Is Pollution Prevention** 2024. Disponível em:  
<https://www.in.gov/idem/prevention/what-is-pollution-prevention/>

IYARE, P.U. **The effects of manganese exposure from drinking water on school-age children: A systematic review**. NeuroToxicology. Volume 73. pg. 1-7. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.02.013>

JARVIS, S.N; STRAUBE, R.C; WILLIAMS, A.L, et. al. **Illness associated with contamination of drinking water supplies with phenol**. British Medical Journal (Clinical Research Edition). 1985 Jun 15;290(6484):1800-2. doi: 10.1136/bmj.290.6484.1800.

KIM, Dowan; PHAE, Chaegun. **Analysis of the Environmental and Economic Effect of the Co-processing of Waste in the Cement Industry in Korea**. Sustainability. Vol. 14. 2022. <https://doi.org/10.3390/su142315820>

KONDAKIS, Xenophon; MAKRIS, Nicolas; LEOTSINIDIS, Michael; et al. **Possible Health Effects of High Manganese Concentration in Drinking Water**.

Environmental Health: An International Journal. Vol. 44. Issue. 3 pg. 175 - 178. 1989.  
<https://doi.org/10.1080/00039896.1989.9935883>

LOPES MARQUES, Maria; CAIRRAO, Elisa. **Occurrence and Health Effects of Hexabromocyclododecane: An Updated Review**. 2023 Toxics. Apr 26;11(5):409. doi: 10.3390/toxics11050409.

MALIK, Arun; SHARMA, Shamneesh; BARTA, Isha, et al. **Industrial revolution and environmental sustainability: an analytical interpretation of research constitutes in Industry 4.0**. International Journal of Lean Six Sigma. Vol. 15. nº 1. pg. 22 - 49. 2024. doi:10.1108/IJLSS-02-2023-0030

MALLICK, Debarshi; DEV SHARMA, Sharmi; KUSHWAHA, Anamika; et al. **Chapter 4 - Emerging commercial opportunities for conversion of waste to energy: aspect of gasification technology**. Waste-to-Energy Approaches Towards Zero Waste. pg. 105 - 127. 2022. doi:10.1016/B978-0-323-85387-3.00012-4.

MONTRIE, Chad. **Water Power, Industrial Manufacturing and Environmental Transformation in the 19th-Century New England**. 2018. Disponível em: <https://energyhistory.yale.edu/water-power-industrial-manufacturing-and-environmental-transformation-in-19th-century-new-england/>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, **Waste Incineration and Public Health**. National Academics Press. 2000.

NISHIJO, Muneko. **Dioxin and Dioxin-like Compounds and Human Health**. Toxics. Vol. 11. 2023. doi:10.3390/toxics11060512

NOGUEIRA, Eduardo; MANSANO, Sonia. **Do Consumo à Produção de Lixo**. Economia & Gestão. Vol. 21. nº 59, pg. 220 - 239. 2021

OGUNWUMI, Olawale Theophilus; SALAMI, Lukemon. **Solid Waste and Landfills Management - Recent Advances**. Perspectives Chapter: Industrial Waste Landfills, 2023. DOI: 10.5772/intechopen.108787. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/85807>

OLIVEIRA, Mariana; MIGUEL, Mécia; LANGEN, Sven et al. **Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society: Integrated Assessment Methods for a New Paradigm**. Circular Economy and Sustainability. Vol. 1. pg. 99 - 113. 2021. :99–113 doi: 10.1007/s43615-021-00019-y

PHAM-THE, Tai; NISHIJO, Muneko; PHAM, Thao; et al. **Perinatal Dioxin Exposure and Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) Symptoms in Children Living in a Dioxin Contamination Hotspot in Vietnam**. Toxics. 2022. Vol. 24. DOI: [10.3390/toxics10050212](https://doi.org/10.3390/toxics10050212)

POULAKIS, J.G; PAPASPYRIDES, C.D. **Recycling of polypropylene by dissolution/precipitation technique: I.A model study**. Resources, Conservation

and Recycling, Volume 20, Issue 1, 1997, Pages 31-41, ISSN 0921-3449, DOI: 10.1016/S0921-3449(97)01196-8.

PSLOOP. **Regulation**. 2015. Disponível em: <https://www.psloop.eu/circular-economy/regulation/>

QUEIROZ LAMAS, Wendell; PALAU; José Carlos; DE CAMARGO, José Rubens. **Waste materials co-processing in cement industry: Ecological efficiency of waste reuse**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 19. pg. 200 - 207. 2012 doi:10.1016/j.rser.2012.11.015

RAMAKRISHNA, Seeram; NGOWI, Alfred; O. AWUZIE, Bankole. **Emerging Industrial Revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and Circular Economy: The Role of Universities**. Science, Technology and Society. Vol. 3. Issue 3. pg. 505 - 525. 2020. doi.:10.1177/097172182091291

REN, Meihui; ZHANG; Haijun; FAN, Yun; et al. **Suppressing the formation of chlorinated aromatics by inhibitor sodium thiocyanate in solid waste incineration process**. Science of The Total Environment. Vol. 798. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149154>

RICHARDSON, M. L.; GANGOLLI, S., 1992. **The Dictionary of Substances and their Effects** Northamptonshire: Royal Society of Chemistry

ROCHA, Sônia Denise; LINS, Vanessa; SANTO, Belinazir. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clíniquer**. Engenharia Sanitária e Ambiental. vol. 16. n. 1 jan/mar 2011. pg. 1 - 10

RONDEAU, Virginie; COMMENGES, Daniel; JACQUIM-GADDA, Hélène, et. al. **Relation between aluminum concentration in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow up study**. American Journal of Epidemiology, Volume 152, Issue 1, 1 July 2000, Pages 59–66, [doi.org/10.1093/aje/152.1.59](https://doi.org/10.1093/aje/152.1.59)

ROUQUAYROL, Maria Zélia; DA SILVA, Marcelo Gugel Carlos. **Epidemiologia & Saúde**. 8ª ed. Ri

Royal Society of Chemistry. **Chemical Recycling**. 2020. Disponível em: <https://www.rsc.org/globalassets/22-new-perspectives/sustainability/progressive-plastics/explainers/rsc-explainer-6---chemical-recycling.pdf>

Royal Society of Chemistry. **Mechanical Recycling**. 2020. Disponível em: <https://www.rsc.org/globalassets/22-new-perspectives/sustainability/progressive-plastics/explainers/rsc-explainer-5---mechanical-recycling.pdf>

SÁNCHEZ-GARCÍA, Eduardo; MARTÍNEZ-FALCÓ, Javier; MARCO-LAJARA, Bartolomé, et. al. **Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress**. Environmental Technology & Innovation. Vol. 33. 2024. doi:10.1016/j.eti.2023.103509

SENKO, Ana; BOVO, Marcos. **O consumo e a sua relação com a produção de lixo: a questão de Juranda (PR)**. 2013. Disponível em: [http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2012/2012\\_fecilcam\\_geo\\_artigo\\_ana\\_senko.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2012/2012_fecilcam_geo_artigo_ana_senko.pdf)

SIDDIQUA, Ayesha; HAHLADAKIS, John N.; AL-ATTIYA, Wadha Ahmed. **An overview of the environmental pollution and the health effects associated with waste landfilling and open dumping**. Environmental Science and Pollution Research. 2022 Aug;29(39):58514-58536. doi: 10.1007/s11356-022-21578-z

SILVA, Livia Corrêa; ROZA, Beatriz Costa; RATHMANN, Régis. **Gestão de resíduos sólidos urbanos na Cidade do Porto (Portugal): Um exemplo de prática sustentável?** Revista de Gestão Social e Ambiental. Vol. 6. nº 2. pg. 60 - 78. 2012. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v6i2.372>

SIMÃO, Juliana. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais em uma Empresa de Usinagem sobre o enfoque da Produção Mais Limpa**. Tese Mestrado (Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13072011-100539/publico/simiao.pdf>

SISINNO, Cristina. L. S. **Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana**. Cadernos de Saúde Pública, 19(2), 369–374, 2003. doi:10.1590/s0102-311x2003000200003

STEINBERG, Theodore. **An Ecological Perspective on the Origins of Industrialization**. Environmental Review: ER. Vol. 4. nº 4. pg. 261 - 276. 1986

SZABO, D.T. **Hexabromocyclododecane**. 2014. Encyclopedia of Toxicology 3<sup>a</sup> ed. Academic Press, pg 864-868, ISBN 9780123864550, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01128-3>.

TELES COUTINHO, Ednaldo; DE MOURA, Jadson, LOPES FILHO, Luiz Cesar et al. **Co-processing as alternative in the final disposal of solid waste**. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana Curitiba, v.21, n.12, p. 24759 - 24776. 2023. ISSN: 1696-8352. DOI: 10.55905/oelv21n12-072

TNO. **Recycling plastics through dissolution**. 2024. Disponível em: <https://www.tno.nl/en/sustainable/circular-plastics/recycling-plastics-dissolution/>

TOCCHETTO, Marta Regina. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais - Curso de Química Industrial**. 2005. Disponível em: <http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2012/04/gerenciamento-de-residuos-solidos-industriais.pdf>

TRAN, Nghi; PHAM-THE, Tai; PHAM, Thao; et al. **Neurodevelopmental Effects of Perinatal TCDD Exposure Differ from Those of Other PCDD/Fs in Vietnamese Children Living near the Former US Air Base in Da Nang, Vietnam.** *Toxics*. Vol. 21. 2023. DOI: [10.3390/toxics11020103](https://doi.org/10.3390/toxics11020103)

UNEP. **INTERNATIONAL DECLARATION ON CLEANER PRODUCTION - Implementation Guidelines for Facilitating Organizations.** 1º ed. pg. 2. 2001. United Nations Publications. ISBN : 92-807-2095-3

UN-HABITAT. **About Us.** 2024. Disponível em: <https://unhabitat.org/about-us>

UNIÃO EUROPEIA. **Co-processing of waste in EU cement plants: status and prospects.** 2019. Disponível em: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/co-processing-waste-eu-cement-plants-status-and-prospects>

UNIÃO EUROPEIA. **DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.** Artigo IV. 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098>

UNIÃO EUROPEIA. **Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2008/98/EC on waste.** 2023. Disponível em: [https://environment.ec.europa.eu/document/download/ca53d82e-a4d3-40b9-a713-93585058f47f\\_en?filename=Proposal%20for%20a%20DIRECTIVE%20OF%20THE%20EUROPEAN%20PARLIAMENT%20AND%20OF%20THE%20COUNCIL%20amending%20Directive%20200898EC%20on%20waste%20COM\\_2023\\_420.pdf](https://environment.ec.europa.eu/document/download/ca53d82e-a4d3-40b9-a713-93585058f47f_en?filename=Proposal%20for%20a%20DIRECTIVE%20OF%20THE%20EUROPEAN%20PARLIAMENT%20AND%20OF%20THE%20COUNCIL%20amending%20Directive%20200898EC%20on%20waste%20COM_2023_420.pdf)

United Nations Environment Programme (UNEP). **Guidelines for National Waste Management Strategies.** 2013. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20140817134954/http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/UNEP%20NWMS%20English.pdf>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **PRINCIPLES OF POLLUTION PREVENTION AND CLEANER PRODUCTION AN INTERNATIONAL TRAINING COURSE - PARTICIPANT'S MANUAL.** 1998 Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4620580/mod\\_resource/content/1/Princ%C3%A Dpios%20da%20Preven%C3%A7%C3%A3o%20da%20Polui%C3%A7%C3%A3o\\_EPA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4620580/mod_resource/content/1/Princ%C3%A Dpios%20da%20Preven%C3%A7%C3%A3o%20da%20Polui%C3%A7%C3%A3o_EPA.pdf)

VELOSO, Zilda Maria. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos e Logística Reversa.** Boletim regional, urbano e ambiental - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (ipea). 2014. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5581/1/BRU\\_n09\\_politica.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5581/1/BRU_n09_politica.pdf)

WILSON, David; RODIC, Ljiljana; SCHEINBERG, Anne; et al. **Comparative analysis of solid waste management in 20 cities**. Waste Management & Research. Vol. 30. Issue 3. pg. 237 - 254. 2012. <https://doi.org/10.1177/0734242X12437569>

WHITE, Sally; BIRNBAUM, Linda. **An Overview of the Effects of Dioxins and Dioxin-Like Compounds on Vertebrates, as Documented in Humana and Ecological Epidemiology**. Journal of Environmental Science and Health. Vol. 27. Issue 4. pg. 197 - 211. 2009. <https://doi.org/10.1080/10590500903310047>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 2<sup>a</sup> ed. Vol. 2 pg. 9 - 11. 1998. Disponível em: [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/63844/WHO\\_EOS\\_98.1.pdf?sequence=1](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/63844/WHO_EOS_98.1.pdf?sequence=1)

WU, Hai-Long; LU, Sheng-Yong; LI, Xiao-Dong, et al. **Inhibition of PCDD/F by adding sulphur compounds to feed of a hazardous waste incinerator**. Chemosphere. Vol. 86. n<sup>o</sup> 4. pg. 361 - 367. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.016>

YAN, J.H; CHEN, T; LI, X.D, et al. **Evaluation of PCDD/Fs emission from fluidized bed incinerators co-firing MSW with coal in China**. Journal of Hazardous Materials. Vol. 135. n<sup>o</sup> 1 - 3. pg. 47 - 51. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.007>

ZHANG, Chunbo; HU, Mingming; DI MAIO, Francesco; et al. **An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe**. Science of The Total Environment. Vol. 803. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>

ZHAO, Bowen; HU, Xiude; LU, Jianyi. **Analysis and discussion on formation and control of dioxins generated from municipal solid waste incineration process**. Journal of the Air & Waste Management Association. Vol. 72. n<sup>o</sup> 10. pg. 1063 - 1082. <https://doi.org/10.1080/10962247.2022.2100843>

ZOTTER, Karl. **“End-of-pipe” versus “process-integrated” water conservation solutions: A comparison of planning implementation and operating phases**. Journal of Cleaner Production. Vol. 12. Issue 7. pg. 685 - 695. 2004. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00115-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00115-X)