



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE MINAS E CIVIL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

Thiago Silva Araujo

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELAS ATIVIDADES NO  
LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA UNIDADE ARAXÁ DO CEFET/MG VISANDO  
IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL  
DE RESÍDUOS QUÍMICOS

ARAXÁ – MG

2015

Thiago Silva Araujo

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELAS ATIVIDADES NO  
LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA UNIDADE ARAXÁ DO CEFET/MG VISANDO  
IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL  
DE RESÍDUOS QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais /  
Campus IV – Araxá, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Natal Junio Pires

ARAXÁ – MG

2015



Thiago Silva Araujo

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELAS ATIVIDADES NO  
LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA UNIDADE ARAXÁ DO CEFET/MG VISANDO  
IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL  
DE RESÍDUOS QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais /  
Campus IV – Araxá, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Minas.

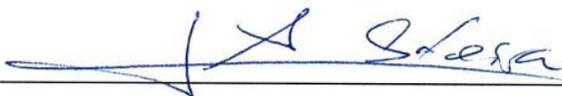
Data de aprovação: 10 / 08 / 2015

Banca Examinadora:



Natal Junio Pires – Presidente da Banca Examinadora

Professor Doutor – CEFET-MG – Orientador



Alexander Martin Silveira Gimenez

Professor Mestre – CEFET-MG



Francisco de Castro Valente Neto

Professor Especialista – CEFET-MG

Dedico o presente trabalho a meus familiares, sobretudo a minha mãe, a verdadeira ambientalista da casa, que me lembra toda terça-feira que o caminhão da coleta seletiva vai passar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu Pai e criador Jeová Deus, que me deu forças para persistir e continuar em momentos de grande angústia e dúvida.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio e por terem se esforçado tanto para que eu pudesse estudar e conseguir concluir a graduação, pela boa educação que me deram e pelos valores que moldaram meu caráter e sem dúvida carregarei comigo por toda a vida. Quero fazê-los orgulhosos de mim.

Agradeço às minhas irmãs Poliana (*in memoriam*) e Izabela, engenheiras antes de mim, que me ajudaram desde cedo em tudo o que precisei.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Natal, por já desde o quarto semestre ter aceitado me orientar quando eu sequer fazia ideia do que gostaria de fazer como trabalho de conclusão de curso. Agradeço muito a ele também por ter acreditado em mim quando eu não acreditei e ter insistido que seria possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço também às Professoras Iza e Sulamita, idealizadoras do projeto de gerenciamento de resíduos no CEFET, que me apresentaram o mesmo e me convidaram a desenvolvê-lo.

Agradeço aos meus amigos, de dentro e fora da engenharia, por terem me apoiado e me ensinado tantas coisas, sobretudo que alegria dividida não diminui, só aumenta.

Agradeço aos demais membros da banca, pela boa vontade e disposição na avaliação deste trabalho.

*“Não há assunto tão velho que que não possa ser dito algo de novo sobre ele”*

(Fiódor Dostoiévski)

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo identificar e classificar os resíduos gerados pelo Laboratório de Química do CEFET-MG, como passo inicial de um programa de gerenciamento de resíduos, visando a reutilização de materiais, se possível, e principalmente minimizar os riscos à comunidade. Os resíduos gerados em laboratórios acadêmicos têm considerável potencial poluidor e seu gerenciamento é complexo, em virtude da grande variedade de atividades ali realizadas. Atualmente a Unidade Araxá tem armazenado esses resíduos para o posterior tratamento, o que compromete o espaço físico e pode representar um risco de acidentes. A metodologia empregada foi a da pesquisa literária, que fundamentou a pesquisa de campo também realizada. Em posse dos dados levantados será mais fácil dar início a um programa de gerenciamento de resíduos.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de resíduos. Resíduos laboratoriais. Meio ambiente. Classificação de resíduos.

## **ABSTRACT**

This study aims to identify and classify the waste generated by the Chemistry Laboratory of CEFET-MG, as an initial step towards a waste management program, aimed at reusing materials, if possible, and mainly at minimizing the risks to the community. The waste generated in academic laboratories are potential pollutants and its management is complex, given the wide variety of activities held there. Currently the Araxá unit the waste is stored for further processing, which compromises the physical space and may pose a risk of accidents. The methodology used was the literary research, in which the field research, also performed, was based on. In possession of the data collected, it will be much easier to start a waste management program.

**Keywords:** Waste management. Laboratory waste. Environment. Waste classification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Fluxograma do processo de classificação de resíduos .....	23
Figura 02 – Ilustração dos relacionamentos íntimos entre os ambientes do ar, da água e da terra e com os seres vivos, bem como de seus vínculos com a tecnologia (antroposfera).....	25
Figura 03 – As camadas da atmosfera.....	32
Figura 04 – Principais fontes primárias de poluição por material particulado.....	38
Figura 05 – Exercício proposto.....	56
Figura 06 – Ficha de identificação de resíduos químicos.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – As propriedades importantes da água.....	27
Tabela 02 – Os gases-traço atmosféricos no ar seco, próximo à superfície terrestre .....	33
Tabela 03 – Termos importantes descritores das partículas atmosféricas.....	37
Tabela 04 – Resumo qualitativo dos efeitos atribuídos a poluentes específicos.....	43
Tabela 05 – Efeitos atribuídos ao dióxido de enxofre.....	44
Tabela 06 – Estequiometria do procedimento c.3 .....	54
Tabela 07 – Resumo dos experimentos.....	56
Tabela 08 – Classificação dos resíduos levantados.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADN – Ácido desoxirribonucleico

ARN – Ácido ribonucleico

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

OD – Oxigênio disponível

PGR – Programa de gerenciamento de resíduos

UFF – Universidade Federal Fluminense

U.S. EPA – *Environmental Protection Agency of the United States* (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Objetivos .....	15
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Delimitação do problema.....	16
1.3 Justificativa.....	16
1.4 Metodologia.....	17
2 RESÍDUOS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO .....	19
3 RESÍDUOS E POLUIÇÃO AMBIENTAL.....	24
3.1 Poluição.....	26
3.2 Água e a hidrosfera .....	26
3.2.1 Poluição da água.....	28
3.3 Atmosfera e a poluição.....	31
3.3.1 Poluição atmosférica .....	36
3.4 O solo e a geosfera .....	46
4 IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS DE INSTITUIÇÕES ACADÊMICAS.....	49
5 O LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA UNIDADE ARAXÁ DO CEFET-MG .....	52
5.1 Levantamento dos resíduos gerados no laboratório .....	53
6 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS LEVANTADOS .....	59
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXO A .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos químicos não tratados e os dispostos de maneira incorreta resultam na contaminação do solo, da atmosfera e da água, representando um risco à saúde pública (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

Quando se pensa em geração de resíduos químicos poluentes, há uma tendência natural de se pensar em grandes organizações, que realizam atividades de grande porte. Assim sendo, as mesmas se encontram sob fiscalização constantemente e a legislação as sujeita à punições e sanções severas. No entanto, tais resíduos também são formados em unidades menores, tais como instituições de pesquisa.

A preocupação com os resíduos gerados pelas instituições de ensino e pesquisa no Brasil não é um assunto frequentemente discutido. Em muitas das universidades do país ainda inexistem programas de gerenciamento dos resíduos gerados pelas atividades acadêmicas e, com isso, muitos desses resíduos são descartados de forma inadequada ou são armazenados, constituindo perigo de passivo ambiental (JARDIM, 1998; ALBERGUINI et al, 2003).

A sociedade tem hoje cobrado, nos mais diversos segmentos, uma preocupação maior com a questão ambiental. Dessa forma as instituições de ensino, de onde saem formadores de opinião, pesquisadores, cientistas que contribuem para a formação do conhecimento, inclusive sobre os perigos causados por impactos ambientais, muitas vezes sendo responsáveis por avaliar tais impactos e não raro condenar as empresas ou quaisquer outros responsáveis por eles, não podem deixar de lado os resíduos gerados por suas atividades até mesmo por uma questão de coerência de postura e ideologia (JARDIM, 1998).

A legislação brasileira tem acompanhado a preocupação da sociedade no que diz respeito ao meio ambiente, exigindo, cada vez mais, que as indústrias e organizações busquem soluções eficazes e eficientes para minimizar os efeitos do lançamento de efluentes gerados pelos mais diversos processos de produção, sejam eles industriais ou não. Certificações são concedidas às organizações que buscam o desenvolvimento sustentável e tentam trabalhar segundo limites estabelecidos em estudos que visam o menor prejuízo possível e viável para as sociedades e ecossistemas.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008, estabelece limites individuais para diversas substâncias em solução, classificadas segundo parâmetros distintos, para se avaliar a qualidade dos corpos de água. Na mesma deliberação estão estabelecidas as condições e os padrões a serem respeitados quanto ao lançamento de efluentes, quer de forma direta ou indireta, e exige que se seja dado o tratamento adequado aos efluentes. Isso se dá porque o despejo inadequado de tais resíduos no ambiente acarreta consequências graves para o meio ambiente, tais como contaminação do solo e dos corpos aquáticos, como lençóis freáticos, por exemplo.

Os resíduos gerados por laboratórios de instituições de ensino se diferenciam daqueles gerados em unidades industriais por apresentarem, além de um volume consideravelmente menor, uma grande variedade de composições. Isso dificulta bastante a tarefa de estabelecer ou definir um tratamento químico ou uma disposição final padrão para todos.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo geral iniciar um programa de gerenciamento de resíduos para o Laboratório de Química da Unidade Araxá do CEFET-MG, garantindo, assim, a correta destinação dos mesmos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos o presente trabalho tem:

- a) Realizar pesquisa bibliografia específica;
- b) Identificar os resíduos gerados através da análise do plano de aulas semestral;
- c) Classificar os resíduos identificados.

## 1.2 Delimitação do problema

As atividades experimentais nos laboratórios da Unidade Araxá do CEFET-MG têm gerado uma quantidade considerável de resíduos e os mesmos estão sendo estocados, uma vez que o descarte inadequado poderia provocar danos ambientais. Ainda que a estocagem de tais resíduos não constitua risco ambiental algum, tal prática não é o procedimento mais adequado e nem é condizente com a formação profissional dos graduandos do CEFET-MG.

O espaço físico do Laboratório de Química é limitado e é necessário para as práticas laboratoriais, que incluem as atividades de aula, experimentos de cunho didático e também atividades de pesquisa e desenvolvimento científico. Portanto, o uso de parte desse espaço para o estoque dos resíduos e dos efluentes compromete significativamente a viabilidade de tais atividades que são fundamentais para os cursos da instituição. Não obstante, há entre os resíduos gerados pelo laboratório de química alguns que são extremamente tóxicos e, assim sendo, não podem permanecer armazenados por um longo período de tempo, pois representam risco a todos que se utilizam do laboratório.

## 1.3 Justificativa

O meio ambiente ganhou, sobretudo nas últimas décadas, uma atenção bastante positiva. Em todos os setores da sociedade é comum vermos a questão ambiental ser discutida a fundo. Acordos internacionais, envolvendo grandes potências mundiais, têm estipulado limites e definido que o estado poluidor deverá também ser o estado pagador. Em outras palavras, uma unidade monetária internacional seria adotada com a finalidade de cobrar do agente poluidor um custo a ser pago pela agressão ao meio ambiente (SANCHES, 2000).

A segurança ambiental e a segurança pública devem ser preocupações constantes das instituições públicas e privadas. O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, por ser um órgão que desenvolve atividades de ensino, pesquisa e extensão, utiliza rotineiramente uma série de produtos químicos e, naturalmente, gera uma variedade de resíduos.

Seguindo essa tendência, em 2004, durante o 3º ENSEQUI (Encontros Nacionais de Segurança em Química) na UFF, que contou com 142 participantes,

além de discutir-se sobre a gestão de resíduos, foi discutido e elaborado um documento chamado “CARTA DE NITERÓI” (Anexo A) (JARDIM; 2005). O documento propunha ações que visam a implementação de programas na área de gestão de resíduos perigoso.

O cenário ambiental tem servido como painel de fundo para as discussões que visam minimizar os riscos e criar condições para o desenvolvimento de processos de gestão sustentáveis dos Campi Universitários. Vários eventos, de âmbito nacional e internacional, têm abordado de forma consistente a temática, e dentro deste contexto inserem-se os Encontros Nacionais de Segurança em Química (ENSEQUI) [...]sugere-se as seguintes ações aos órgãos de financiamento e regulamentação do ensino e pesquisa no país: que sejam alocados fundos e lançados editais específicos para Gestão Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Perigosos nas Instituições de Ensino e Pesquisa. Entendem-se como resíduos perigosos, os resíduos químicos, biológicos e radioativos gerados nas atividades de ensino e pesquisa [...] que se crie um grupo de trabalho de especialistas para estruturar o gerenciamento dos resíduos perigosos visando o futuro Licenciamento Ambiental nas Instituições de Ensino e Pesquisa e que se inclua como critério de qualidade para fins de avaliação por parte do MEC e da CAPES, a existência, ou projeto em implantação, de programa de gestão de resíduos perigosos em cursos de graduação e pós-graduação das Instituições de ensino e pesquisa.

Diante dessa exposição, justifica-se a realização deste trabalho a percepção que o programa de tratamento de resíduos comporá uma parte importante no processo do gerenciamento de efluentes. Uma vez concluído, espera-se que este trabalho contribua para o conhecimento acerca dos tipos de resíduos gerados pelo laboratório, visando, se possível, sua reutilização, bem como minimizar os riscos ou ainda permitir outras tomadas de decisão.

#### **1.4 Metodologia**

A metodologia utilizada para o cumprimento dos objetivos gerais e específicos será a revisão bibliográfica, pesquisa teórica e de campo. Sobre a revisão bibliográfica, Rampazzo (2002) diz:

[...]a pesquisa bibliográfica procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas (em livros, revistas etc.). Pode ser realizada independentemente, ou como parte de outros tipos de pesquisa. Qualquer

espécie de pesquisa, em qualquer área, supõe e exige uma pesquisa bibliográfica prévia, quer para o levantamento da situação da questão, quer para fundamentação teórica, ou ainda para justificar os limites e contribuições da própria pesquisa.

A pesquisa de campo se dará com o objetivo de levantar qualitativamente os resíduos gerados pelo laboratório da unidade, podendo assim classificá-los.

## 2 RESÍDUOS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Resíduos podem ser definidos como os restos de um processo de produção, transformação ou utilização. Ou ainda são substâncias, produtos, ou mesmo objetos, que não são mais capazes de ser utilizados para os fins desejados quando de sua produção. Qualquer que seja o caso, assume-se que o resíduo é algo que seu detentor queira se desfazer. As mais variadas atividades humanas geram resíduos. Assim sendo, pode-se classificá-los, de modo geral, como resíduos domésticos, hospitalares, industriais, agrícolas, comerciais. Também pode-se classificar os resíduos não segundo sua origem, mas sim de acordo natureza físico-química, em: metais, vidros, papéis, têxteis, vegetais, pilhas, plásticos, lamas de depuração e outros (GOMES, 2006).

Dentro dessas várias classes, há resíduos banais e outros que podem ser perigosos ou nocivos para o homem ou outros seres vivos, sejam eles plantas ou animais. Geralmente consideram-se perigosos aqueles resíduos que possuem caráter tóxico, corrosivo, explosivo ou radioativo.

No Brasil, a classificação de um material residual como perigoso deve seguir as recomendações Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 10.004 e a consulta de seus oito anexos<sup>1</sup>, que apresentam listagens de resíduos perigosos (FIGUERÊDO, 2006).

A NBR 10.004 classifica o material residual em:

- a) Classe I: Perigosos
- b) Classe II: Não perigosos
  - 1) Classe II A: Não inertes
  - 2) Classe II B: Inertes

Segundo a NBR 10.004, o resíduo químico é dito perigoso se a substância em questão, ao ser descartada, for capaz de apresentar efeitos tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos ou teratogênicos, sendo potencialmente perigosas à saúde humana e ao meio ambiente em geral, se manipuladas de maneira imprópria. (ABNT-NBR 10.004, 2004). Substâncias corrosivas, inflamáveis e reativas são também consideradas perigosas (CONAMA, 1993).

---

<sup>1</sup> A norma e seus anexos estão disponíveis em sua totalidade para consulta no endereço eletrônico <[http://www.ccs.ufrj.br/images/biosseguranca/CLASSIFICACAO\\_DE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_NNB\\_10004\\_ABNT.pdf](http://www.ccs.ufrj.br/images/biosseguranca/CLASSIFICACAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_NNB_10004_ABNT.pdf)>

Os resíduos podem ainda ser classificados como perigosos caso apresentem uma ou mais das características listadas a seguir, segundo a NBR 10.004.

- **Inflamabilidade:** Resíduos que apresentam essa característica podem causar incêndios, sob determinadas condições. Segundo a norma em questão, um resíduo sólido é caracterizado como inflamável se uma amostra representativa dele apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

- a) Ser líquido e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, determinado segundo a ABNT NBR 14598 ou equivalente, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% L de álcool em volume;

- b) Não ser líquido e ser capaz de, sob condições normais de temperatura e pressão de 25°C e 0,1Mpa (1atm), produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;

- c) Ser oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;

- d) Ser um gás comprimido inflamável, conforme a legislação federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes)

- **Corrosividade:** resíduos corrosivos são ácidos ou bases fortes e aqueles que podem corroer metais. A NBR 10.004 da ABNT caracteriza como corrosivos os resíduos que apresentem uma ou mais das seguintes propriedades:

- a) Ser aquoso e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5 ou sua mistura com água na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5;

- b) Ser líquido, ou quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço (COMPANT 1020) a uma razão maior que 6,35mm ao ano, a uma temperatura de 55°C, de acordo com U.S. EPA Sw-846 ou equivalente;

- **Reatividade:** resíduos ditos reativos são aqueles que podem causar explosões, criar gases tóxicos e vapores quando misturados com água. Segundo a NBR 10.004 da ABNT um resíduo é considerado reativo se uma amostra representativa dele apresentar uma ou mais das seguintes propriedades:

- a) Ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;

- b) Reagir violentamente com a água;

- c) Formar misturas potencialmente explosivas com a água;

d) Gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água;

e) Possuir em sua constituição os íons  $\text{CN}^-$  ou  $\text{S}^{2-}$  em concentrações que ultrapassem o limite de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500mg de  $\text{H}_2\text{S}$  liberável por quilograma de resíduo de acordo com o ensaio no U.S. EPA Sw-846;

f) Ser capaz de produzir reação explosiva, ou detonante sobre a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;

g) Ser capaz de produzir prontamente, a reação ou decomposição detonante ou explosiva a  $25^\circ\text{C}$  e 0,1 MPa (1 atm);

h) Ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para esse fim.

- Toxicidade: resíduos tóxicos são aqueles que podem ser fatais quando ingeridos ou absorvidos. Sua toxicidade pode ser crônica, resultante da exposição contínua, ou aguda, produzida por uma única dose. Será considerado tóxico o resíduo que contiver qualquer um dos contaminantes listados no anexo F da norma em concentração superior à que se encontra ali, resultar do derramamento de substâncias dos anexos D e E da norma ou ser comprovadamente letal ao homem. Segundo a NBR 10.004, para se avaliar a toxicidade dos resíduos deve-se considerar os seguintes fatores:

a) Natureza da toxicidade apresentada pelos resíduos;

b) Concentração do constituinte do resíduo;

c) Potencial que o constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação tem para migrar do resíduo para o meio ambiente quando sob condições impróprias de manuseio;

d) Persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;

e) Potencial que o constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade que ocorre a degradação;

f) Extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;

g) Efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxicos, associados a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes dos resíduos;

h) Ser constituído por restos de embalagens contaminadas com substâncias tóxicas ou agudamente tóxicas;

i) Resultar de derramamento ou de produtos fora da especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias tóxicas ou agudamente tóxicas;

j) Ser comprovadamente letal ao homem ou possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem.

- Patogenicidade: Um resíduo é caracterizado como patogênico se uma amostra representativa dele, obtida segundo a ABNT NBR 10007, contiver ou se houver suspeita de conter, microrganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxirribonucleico (ADN) ou ácido ribonucleico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais. Os resíduos de serviços de saúde deverão ser classificados conforme ABNT NBR 12808. Os resíduos gerados nas estações de tratamento de esgotos domésticos e os resíduos sólidos domiciliares, excetuando-se os originados na assistência à saúde da pessoa ou animal, não serão classificados segundo os critérios de patogenicidade (ABNT-NBR 10.004, 2004).

O resíduo pode ser classificado como não perigoso se não apresentar características de periculosidade. O resíduo não perigoso pode ainda ser classificado em não inerte ou inerte se o teste de solubilização mostrar constituintes do resíduo solubilizados, respectivamente, em concentrações menores ou maiores que os padrões estabelecidos (FIGUERÊDO, 2006).

A Figura 01 ilustra as etapas do processo de classificação de um resíduo sólido segundo a NBR 10.0004.

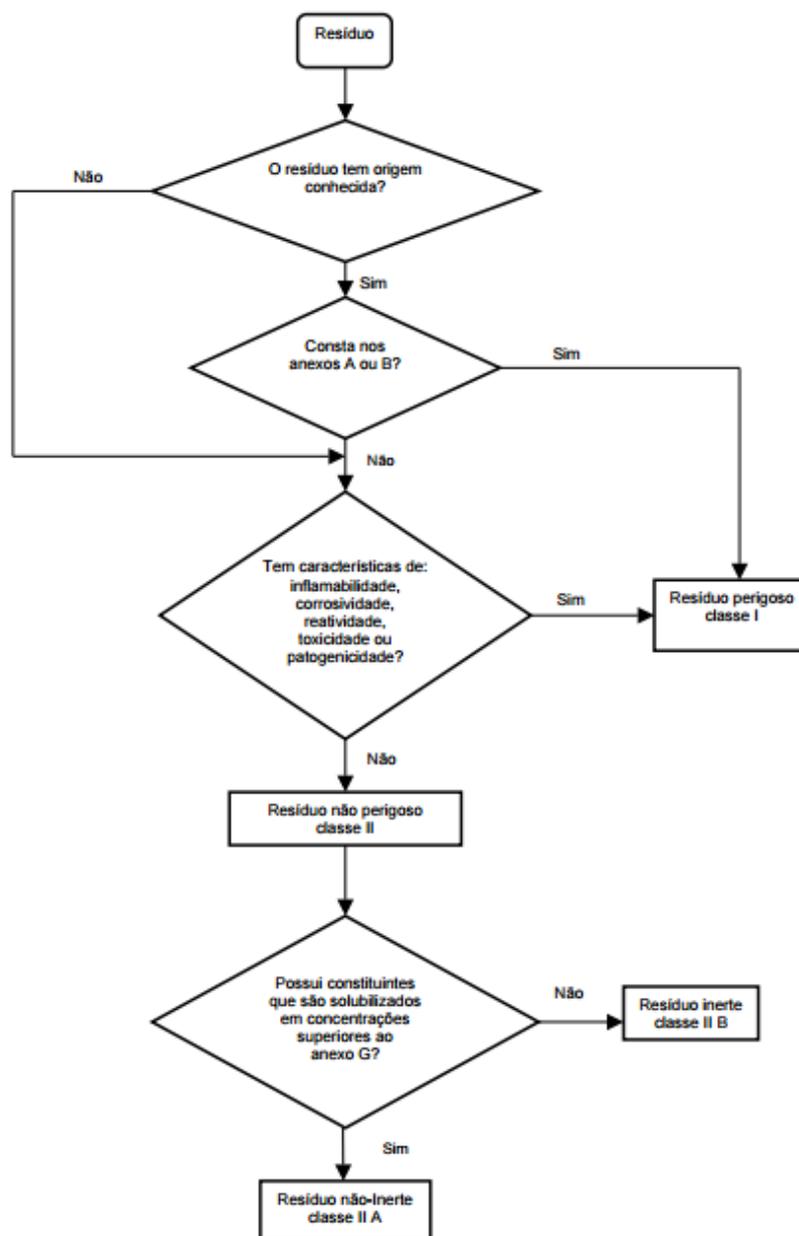


Figura 01 – Fluxograma do processo de classificação de resíduos  
Fonte: ABNT NBR 10.004:2004

### 3 RESÍDUOS E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Segundo Russo (2003), os problemas de ordem ambiental relacionados aos resíduos são tão antigos quanto a própria humanidade, mas haja vista a pequena quantidade de pessoas para a vasta área disponível, também o constante deslocamento da população, até então nômade, tais problemas não eram tão significativos. Tão logo se formaram as primeiras tribos, aldeias, vilas e cidades e esses problemas, visto que não havia conhecimento e, conseqüentemente, hábitos de higiene, o solo, o ar, rios e lagos passaram a ser poluídos com resíduos e esgotos.

Com o passar dos anos o volume de resíduos gerados aumentou consideravelmente, devido ao crescimento das cidades, industrialização, avanço da tecnologia e também aumento do consumo. À medida que o conhecimento sobre a poluição e seus efeitos desastrosos aumentaram, começou a haver mais preocupação e cobrança por parte da sociedade nesse sentido.

A divulgação de dados a respeito do aquecimento global e do crescimento do buraco da camada de ozônio, e a ocorrência de catástrofes ambientais fizeram com que a sociedade civil passasse a construir uma consciência ambiental. Percebeu-se um aumento mais notável nesse sentido em especial na década de 60. O Brasil vivenciou nessa época a edição de normas legais que demonstravam a preocupação com as questões ambientais, com o meio ambiente natural e social, e não mais apenas com o valor econômico associado aos recursos naturais (OLIVEIRA, 2014).

Em 1975 iniciou-se o controle da poluição por atividades industriais, por meio do Decreto-Lei 4.513, ficando as empresas poluidoras obrigadas a prevenir e corrigir os prejuízos da contaminação ao meio ambiente. Em 1981 foi editada a Lei 6.938, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e inova por apresentar o meio ambiente como objeto específico de proteção. Segundo Alberguini, Silva e Rezende (2005) essa é a lei ambiental mais importante, por definir que o poluidor é obrigado a indenizar os danos ambientais causados por ele, mesmo não havendo culpa. O Ministério Público pode propor ações de responsabilidade civil por quaisquer danos causados ao meio ambiente, impondo ao poluidor a obrigação de ressarcir de alguma forma os prejuízos causados, seja por meio de recuperação da área degradada, indenização ou ambos.

Cerca de quatro anos mais tarde, em 1985, é editada a Lei 7.347 que trata da ação civil pública de responsabilidades por danos causados ao meio ambiente, sendo

então o instrumento processual específico para a defesa desse, bem como de outros interesses difusos e coletivos (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005). Em 1988, é promulgada a primeira Constituição Federal da República do Brasil a dedicar um capítulo específico ao meio ambiente. Em seu artigo 225 a CF impõe ao Poder Público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para o presente e para a posteridade. E, finalmente, em 1998 foi publicada a Lei 9.605, que dispõe sobre crimes ambientais, que estabelece sanções tanto penais quanto administrativas para as atividades danosas ao meio ambiente. (OLIVEIRA, 2014)

Fica então evidente a preocupação, cada vez maior, por parte da sociedade com a poluição e seus efeitos nas diversas esferas do ambiente, seja na hidrosfera, na atmosfera ou na geosfera. Esferas essas que estão intimamente relacionadas à vida, ou biosfera, e à tecnologia, como bem ilustra a Figura 02. Quer para melhor ou para pior, a humanidade tem afetado de modo irreversível o ambiente em que vive.

Será abordado como as atividades humanas, e mesmo alguns eventos naturais, podem produzir resíduos que poluem a água, o ar e o solo, estejam esses resíduos na forma de partículas, gases, soluções, líquidos, cinzas ou ainda a combinação desses.

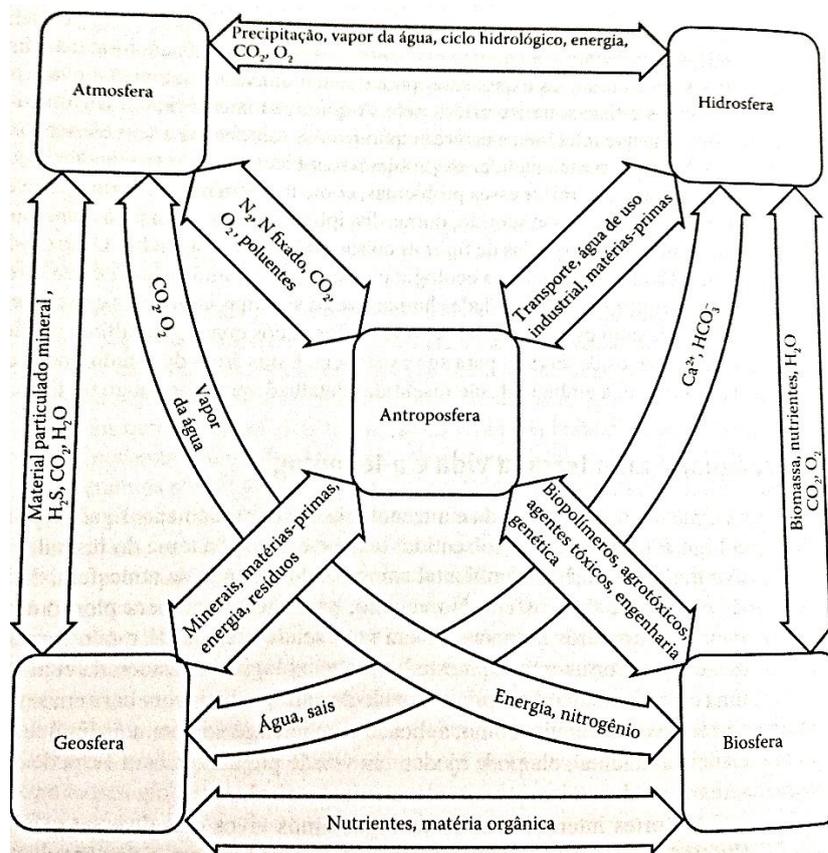


Figura 02 – Ilustração dos relacionamentos íntimos entre os ambientes do ar, da água e da terra e com os seres vivos, bem como de seus vínculos com a tecnologia (antroposfera)

Fonte: Manahan, 2013, p.8.

### 3.1 Poluição

Segundo Nass (2002), poluição pode ser definida como uma alteração na relação entre os seres vivos, provocada pelo ser humano, que prejudique, de maneira direta ou indireta, a vida ou o bem-estar da humanidade, como danos aos recursos naturais como a água e o solo e impedimentos a atividades econômicas como a pesca e a agricultura. Mas deve ser levada em conta também a poluição natural, que não é causada pelo homem. Como exemplo de grandes poluidores naturais temos os vulcões.

Segundo *The World Bank* (1918, tradução nossa):

É a adição, por fonte natural ou humana, de qualquer substância estranha ao ar, à água ou ao solo, em quantidades que tornem esse recurso natural impróprio para uso específico ou estabelecido. [...] Presença de matéria ou energia, cuja natureza, localização e quantidade produzam efeitos ambientais indesejados.

O conceito de poluição da legislação brasileira, segundo a Lei n.º 6.938 de 31 de agosto de 1981 é:

[...]a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

### 3.2 Água e a hidrosfera

A hidrosfera é, de maneira simples, a esfera de todas as águas de nosso planeta. Compreende as águas dos rios, lagos, lagoas, mares, geleiras, águas subterrâneas, oceanos e vapor d'água, cobrindo mais de 70% da superfície terrestre (WICANDER; MONROE, 2011).

A água é uma substância vital para todo o ambiente e parte essencial de todos os sistemas vivos. Possui diversas propriedades vitais e exclusivas, que estão listadas na Tabela 01. A maior parte dela se encontra os oceanos, cerca de 97,2%, enquanto

cerca de 2,15% está sob a terra, porém congelada em geleiras, principalmente na Antártica e na Groenlândia, restando apenas 0,65% que se dividem entre rios, córregos e águas subterrâneas e uma diminuta parcela na atmosfera. (WICANDER; MONROE, 2011)

Além da importância por ser a principal fonte da água doce que consumimos, a água dos rios é um recurso muito valioso para a economia. A indústria e a agricultura são altamente dependentes da água doce. Na mineração, por exemplo, a água é utilizada desde a lavra até o processamento mineral. No mundo todo uma boa parcela de toda a energia elétrica gerada é proveniente de usinas hidrelétricas. No Brasil cerca de 80% da energia gerada e consumida internamente vem dessa fonte. Também as rotas fluviais são importantes vias de comércio, em todo o planeta. Além do importante carregamento transportado por barcos e navios, os próprios rios carregam e depositam sedimentos, sendo importantes para a geologia e permitindo o cultivo do solo, como nas inundações anuais do Rio Nilo, por exemplo. (WICANDER; MONROE, 2011)

Tabela 01 – As propriedades importantes da água

<b>Propriedade</b>	<b>Importância</b>
Excelente solvente	Transporte de nutrientes e produtos de resíduos, possibilitando processos biológicos em meio aquoso
Maior constante dielétrica entre os líquidos comuns	Alta solubilidade de substâncias iônicas, ionização dessas substâncias em solução
Maior tensão superficial entre todos os líquidos	Fator de controle na fisiologia; governa os fenômenos de gota e de superfície
Transparente aos comprimentos de onda da luz visível e do UV	Incolor, permitindo que a luz necessária à fotossíntese alcance considerável profundidade em corpos d'água
Densidade máxima como líquido a 4°C	Flutuação do gelo; circulação vertical em corpos hídricos
Maior calor de evaporação entre todos os materiais	Determina a transferência de calor e de moléculas de água entre a atmosfera e corpos hídricos
Maior calor latente de fusão entre os líquidos comuns	Temperatura estabilizada no ponto de congelamento da água
A segunda maior capacidade calorífica que qualquer outro líquido, atrás apenas da amônia líquida	Estabilização das temperaturas de organismos e regiões geográficas

Fonte: Manahan, 2013, p. 60

Durante toda a história humana a qualidade e a quantidade de água disponível tem sido aspectos vitais na vida da humanidade e em seu bem-estar. A escassez de água já foi a causa do desaparecimento de civilizações inteiras, como imagina-se que

se deu com os maias (GILLS, 2000). No que diz respeito à qualidade, já por muitos anos é sabido que diversas doenças podem ser transmitidas pela água, como a cólera e a febre tifoide que mataram muitas pessoas no passado e ainda não foram erradicadas. Em certos aspectos, esses problemas – escassez e baixa qualidade da água – têm se tornado ainda mais graves.

O grande aumento populacional, o aumento no consumo de determinados alimentos e produtos, e o crescimento das indústrias tem feito com que cada vez mais água seja utilizada. Neste sentido, a contaminação do corpo hídrico é algo muito grave. O descarte inadequado de resíduos perigosos tem causado a contaminação da água, tornando-a imprópria para o consumo humano e destruindo a vida selvagem pela poluição.

### 3.2.1 Poluição da água

A poluição das águas naturais por resíduos contaminantes biológicos e químicos é um problema mundial. Há poucas áreas povoadas, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, que não sofrem de uma ou de outra forma de poluição da água.

Quando se trata da água, há diversos estudos publicados todos os anos que falam a respeito de sua poluição, sua preservação e sua importância. Trata-se de uma substância sem a qual os seres vivos não conseguiriam se manter: um ser humano adulto de 70 kg, por exemplo, precisa ingerir de 2 a 4 litros de água por dia e, provavelmente, não sobreviveria mais de 4 dias sem água (SNYDER, 1995). Outro motivo que faz com que a poluição da água seja tão discutida é que os lençóis subterrâneos, lagos, rios, mares e oceanos são o destino final dos poluentes solúveis em água, quer eles tenham sido lançados no ar ou no solo. Além disso, destaca-se a escassez da água disponível para o consumo humano, já mencionada anteriormente (AZEVEDO, 1999).

Com respeito às águas subterrâneas a preocupação é ainda maior. Normalmente essas águas são de qualidade tão alta que atendem os padrões de potabilidade sem a necessidade de purificação ou tratamento algum, podendo ser bombeadas do chão e consumidas diretamente nas casas. Como as águas subterrâneas fluem muito lentamente, diferentemente dos rios, os contaminantes que por acaso as atinjam não serão diluídos e lavados da mesma forma que acontece nos

corpos superficiais, em vez disso eles permanecem ali por muito tempo (GIRARD, 2013).

Recorrendo novamente ao *The World Bank* (1978), tem-se que as principais fontes de contaminantes industriais incluem, mas não estão limitados a:

- a) Mineração ou fabricação de bens para o comércio, quer como um produto intermediário quer final.
- b) Produção de energia, vapor ou água quer envolvendo a combustão de combustíveis fósseis quer a utilização de materiais radioativos.
- c) Produção de água potável a partir de fontes superficiais ou subterrâneas.
- d) Manutenção, limpeza, ou o serviço de limpeza geral de superfícies fixas de máquinas, edifícios e outras instalações físicas utilizados na fabricação de produtos ou equipamentos manutenção.
- e) Transporte de pessoas e produtos por água, como por barcos e navios.
- f) Lixiviação de contaminantes a partir de resíduos industriais.
- g) Condensação e/ou absorção de água por resíduos gasosos

Devido à grande quantidade de estudos feitos, há muitas abordagens diferentes sobre os tipos de poluição da água. Rosa et al (2012) a dividem em cinco categorias. São elas: poluição biológica; poluição térmica; poluição radioativa; poluição sedimentar; poluição química.

A poluição biológica é a resultante da presença de microrganismos patogênicos que causam doenças que se encontram com muita frequência nos excrementos de humanos e de animais, tais como as bactérias, que podem provocar infecções intestinais epidêmicas e endêmicas, os protozoários, que podem causar amebíase e giardíase, os vírus, que podem provocar doenças hepáticas e infecções nas mucosas dos olhos, e os vermes, causadores de verminoses como a esquistossomose (ROSA et al, 2012).

A poluição térmica ocorre pelo descarte, em corpos receptores, de grandes volumes de água aquecida usada no resfriamento de uma série de processos industriais, sobretudo em refinarias, siderúrgicas e usinas termelétricas. O aumento da temperatura da água pode provocar a diminuição do tempo de vida de espécies aquáticas e a alteração dos seus ciclos reprodutivos; a diminuição da solubilidade dos gases, fazendo com que a concentração de oxigênio dissolvido diminua e os animais aquáticos tenham sua respiração prejudicada; por aumentar a velocidade das reações químicas e a solubilidade de diversos compostos, o acréscimo da temperatura da água

pode também potencializar a ação de poluentes ali presentes (AZEVEDO, 1999; ROSA et al, 2012).

A poluição sedimentar é proveniente do acúmulo de partículas em suspensão, sejam elas de origem mineral ou de produtos químicos. Essas partículas provocam a turbidez da água, bloqueando a entrada dos raios solares e assim interferindo assim na fotossíntese das plantas aquáticas e dificultando para os animais aquáticos a capacidade de ver e encontrar alimento. Os sedimentos ainda podem carregar poluentes adsorvidos em sua superfície. Uma das consequências mais graves da poluição sedimentar é o assoreamento dos corpos d'água. Existem medidas preventivas no sentido de controlar a erosão para evitar que o assoreamento aconteça (AZEVEDO, 1999; ROSA et al, 2012).

Muitos corpos d'água apresentam radioatividade natural, mas essa não traz efeitos nocivos para a saúde por apresentar níveis muito baixos. A poluição por resíduos radioativos lançados no mar, explosões atômicas submarinas, arsenais nucleares afundados ou fugas radioativas, no entanto, trazem consequências severas, afetando em especial os tecidos de rápida reprodução, como a medula óssea, os nódulos linfáticos e os tecidos formadores do sangue. A detecção da contaminação dos corpos d'água é difícil, em especial porque os compostos radioativos na água não apresentam cor, sabor ou odor. Em geral, o principal efeito da exposição prolongada à baixas doses de radiação é o câncer (ROSA et al, 2012).

A poluição química pode ser considerada como a mais problemática das categorias de poluição da água. Muitas vezes ela é bastante sutil e seus efeitos podem demorar bastante tempo para serem percebidos. É causada pela presença de compostos químicos indesejáveis. Se os compostos forem biodegradáveis, como matéria orgânica, sabões, proteínas, carboidratos e gorduras, eles serão decompostos por ação bacteriana com o passar do tempo. Já outros são persistentes e assim se mantem por longos períodos no ambiente ou nos organismos vivos, como peixes e crustáceos (AZEVEDO, 1999; ROSA et al, 2012).

A poluição das águas subterrâneas se dá, principalmente, pelos despejos químicos, em que os produtos químicos ou resíduos produzidos pela indústria vazam de tambores metálicos que sofreram corrosão. No passado o despejo de muitas indústrias se dava de maneira descuidada e ilegal, como valas a céu aberto, aterros sanitários e muitos foram enterrados. Dessa forma resíduos químicos oriundos da

produção de tintas têxteis, metais, fertilizantes, pesticidas, plásticos e produtos do petróleo contaminaram diversos poços e impossibilitaram seu uso (GIRARD, 2013).

Os metais pesados, elementos de muita preocupação, são poluentes químicos. Entre eles podemos citar o cádmio, o chumbo, o mercúrio, o cromo e o arsênio. O chumbo e o mercúrio serão discutidos posteriormente.

O cádmio enquanto poluente da água pode se originar de descargas industriais ou de resíduos da mineração. É amplamente usado na metalurgia por sua ductilidade e maleabilidade e é normalmente encontrado em minas de zinco, elemento com o qual tem muitas similaridades. Os efeitos por envenenamento agudo por cádmio nos seres humanos são muito graves. Entre eles estão pressão arterial alta, danos nos rins, destruição do tecido dos testículos e das células vermelhas do sangue e também o amolecimento e enfraquecimento dos ossos. É provável que grande parte da ação do cádmio no organismo se dê por sua semelhança com o zinco. O cádmio pode substituir o zinco em algumas enzimas, alterando sua estrutura e distribuição, e por fim impedindo sua ação catalítica (ARMOUR, 2003; MANAHAN, 2013).

O cromo na sua forma trivalente é um nutriente essencial para o ser humano e tem sido utilizado como suplemento alimentar por muitos atletas. Dentre as fontes alimentares de cromo destacam-se oleaginosas, aspargo, cerveja, cogumelo, ameixa, cereais integrais, carnes, vísceras, leguminosas e vegetais (GOMES, et al, 2005). O cromo na sua forma hexavalente (ou cromo VI), no entanto, é altamente tóxico. O cromo VI pode atravessar com facilidade as membranas das células e é facilmente absorvido, causando diversos efeitos tóxicos em seu interior. Pode provocar reações alérgicas fortes, tais como bronquite asmática, mesmo em baixas concentrações. O cromo VI pode ainda causar danos no ADN e é carcinogênico (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

O arsênio é um poluente carcinogênico aos humanos. Se inalado ele pode causar câncer no pulmão. A sua ingestão, e isso inclui beber água contaminada, também pode causar câncer no pulmão e na bexiga, na pele e talvez até nos rins e próstata (BAIRD; CANN, 2011). Segundo Armour (2003) sua ingestão ainda irrita o estômago severamente e afeta o coração, o fígado e os rins. Sintomas de sua contaminação podem incluir nervosismo, sede, vômito, diarreia, cianose e desmaios.

### **3.3 Atmosfera e a poluição**

A atmosfera é uma camada fina formada por uma mistura de gases que envolve a superfície terrestre. Ela é composta de cinco camadas concêntricas. São elas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (RAVEN et al, 1995 *apud* ALMEIDA, 1999). A Figura 03 ilustra bem as camadas da atmosfera.

A troposfera é a camada mais próxima à superfície terrestre. Ela tem uma extensão aproximada de 10 km (apresenta variação sobretudo sob os pólos e sob a linha do equador) e contém cerca de 80% dos gases atmosféricos. Nessa camada a temperatura decresce à medida que se afasta da superfície à uma taxa de 6,5 °C/km. É a camada mais instável da atmosfera, devido ao intenso movimento de energia térmica e do diferencial de temperatura significativo. É nela que ocorrem as condições meteorológicas (ALMEIDA, 1999; LIMA, 2012).

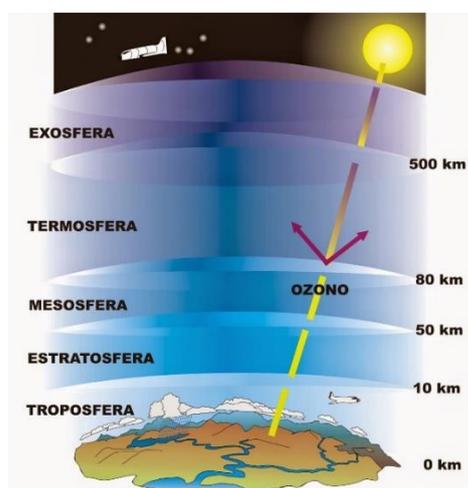


Figura 03 – As camadas da atmosfera

Fonte: <<http://www.teinteresasaber.com/2011/05/las-capas-de-la-atmosfera.html>>

A estratosfera, a segunda camada, apresenta ventos constantes (não turbulentos) e a temperatura aumenta à medida que se aumenta a altura. Sua extensão vai do final da troposfera (cerca de 10 km de altura em relação à superfície) até 45 km. É nela que se encontra a camada de ozônio, a qual serve como proteção contra a radiação ultravioleta vinda do Sol. Diferentemente da camada anterior, a estratosfera é uma zona relativamente estável: quase não há manifestações associadas às condições meteorológicas (ALMEIDA, 1999; LIMA, 2012).

A terceira camada, a mesosfera, se estende de uma altitude de aproximadamente 45 km até 80 km. Nessa camada a temperatura volta a cair à

medida que se aumenta a altitude, podendo atingir  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo a camada mais fria da atmosfera por ter uma absorção de radiação solar fraca (LIMA, 2012).

A quarta camada, a termosfera, se estende de uma altitude de 80 km até a faixa de 500 a 1000 km (seu limite superior não é bem definido). Nela a temperatura sobe à medida que se aumenta a altitude, podendo atingir até  $2000^{\circ}\text{C}$ , devido à grande taxa de absorção da radiação solar (ALMEIDA, 1999; LIMA, 2012).

A camada mais externa é a exosfera. Seus limites vão desde o final da termosfera até o espaço sideral.

A composição da atmosfera, desconsiderando o vapor d'água (sempre presente, embora em quantidades variáveis), é de aproximadamente 78% (em volume) de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), 21% de oxigênio ( $\text{O}_2$ ), 1% de argônio (Ar) e 0,04% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Outros gases também participam da composição do ar, mas em pequenas concentrações e, por vezes, em quantidades altamente variáveis, tais como: neônio, hélio, metano, hidrogênio, xenônio e ozônio, entre muitos outros que, somados, representam menos de 0,003% da composição total (LIU; LIPTÁK, 1999; VAREJÃO-SILVA, 2006).

A Tabela 02 traz os gases-traço encontrados na atmosfera no ar seco, próximo à superfície terrestre, na ausência de poluição intensa. Tais gases podem ter origem biogênica (vir de fontes biológicas), fotoquímica, antropogênica (vir de fontes relativas às atividades humanas), em descargas elétricas ou do vulcanismo.

Tabela 02 – Os gases-traço atmosféricos no ar seco, próximo à superfície terrestre

<b>Gás ou espécie</b>	<b>Porcentagem (em volume)</b>	<b>Principais fontes</b>	<b>Processo de remoção da atmosfera</b>
$\text{CH}_4$	$1,8 \times 10^{-4}$	Biogênica	Fotoquímico
CO	$-1,2 \times 10^{-5}$	Fotoquímica, antropogênica	Fotoquímico
$\text{N}_2\text{O}$	$3 \times 10^{-5}$	Biogênica	Fotoquímico
$\text{NO}_x^a$	$10^{-10} - 10^{-6}$	Fotoquímica, descarga elétrica, antropogênica	Fotoquímico
$\text{HNO}_3$	$10^{-9} - 10^{-7}$	Fotoquímica	Lavagem por precipitação
$\text{NH}_3$	$10^{-8} - 10^{-7}$	Biogênica	Fotoquímico, lavagem por precipitação
$\text{H}_2$	$5 \times 10^{-5}$	Biogênica, fotoquímica	Fotoquímico
$\text{H}_2\text{O}_2$	$10^{-8} - 10^{-6}$	Fotoquímica	Lavagem por precipitação

Gás ou espécie	Porcentagem (em volume)	Principais fontes	Processo de remoção da atmosfera
HO • <sup>b</sup>	10 <sup>-13</sup> – 10 <sup>-10</sup>	Fotoquímica	Fotoquímico
H <sub>2</sub> O • <sup>b</sup>	10 <sup>-11</sup> – 10 <sup>-9</sup>	Fotoquímica	Fotoquímico
H <sub>2</sub> CO	10 <sup>-8</sup> – 10 <sup>-7</sup>	Fotoquímica	Fotoquímico
CS <sub>2</sub>	10 <sup>-9</sup> – 10 <sup>-8</sup>	Antropogênica, biogênica	Fotoquímico
OCS	10 <sup>-8</sup>	Antropogênica, biogênica, fotoquímica	Fotoquímico
SO <sub>2</sub>	~2 × 10 <sup>-8</sup>	Antropogênica, biogênica, vulcânica	Fotoquímico
I <sub>2</sub>	0-traço	-	-
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> <sup>c</sup>	2,8 × 10 <sup>-5</sup>	Antropogênica	Fotoquímico
H <sub>3</sub> CCCl <sub>3</sub> <sup>d</sup>	~1 × 10 <sup>-8</sup>	Antropogênica	Fotoquímico

a A soma de NO, NO<sub>2</sub>, e NO<sub>3</sub>, dos quais o NO<sub>3</sub> é a espécie mais reativa na atmosfera, à noite;

b Espécies de radicais livres reativos com um elétron desemparelhado; essas espécies são transientes e têm concentrações que diminuem muito à noite.

c Um CFC, o Freon-12

d Metilclorofórmio

Fonte: Manahan, 2013, p. 280.

A atmosfera atua como um cobertor de proteção que nutre a vida no planeta Terra além de protegê-la do ambiente hostil do espaço sideral. Seus principais componentes exercem funções importantes para a manutenção da vida em nosso planeta.

O nitrogênio, gás presente em maior abundância na atmosfera, é o que desempenha o papel menos relevante nas vizinhanças da superfície terrestre, em termos energéticos e químicos. Na alta atmosfera esse gás é capaz de absorver, embora em pequena quantidade, energia solar de pequeno comprimento de onda (no domínio do ultravioleta). Alguns seres vivos, como algumas algas e as rizobactérias (encontradas nos nódulos das raízes de plantas da família *Leguminosae*), são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico, servindo então para sua nutrição e sendo, assim, essencial para a vida (MEYER, ANDERSON, BOHNING, 1970; VAREJÃO-SILVA, 2006).

O oxigênio, por sua vez, desempenha um papel essencial do ponto de vista biológico. É ele que torna possível a vida aeróbia no planeta. Também é a ele que se deve a oxidação de compostos orgânicos, que se dá pelo processo da respiração. Além disso, é o oxigênio que torna possível a formação do ozônio na atmosfera: o gás oxigênio se dissocia quando absorver a energia ultravioleta, possibilitando que os

átomos de oxigênios formados se combinem entre si ou com outras moléculas (VAREJÃO-SILVA, 2006). O conjunto de reações a seguir representa a formação do ozônio a partir do oxigênio.



É importante que haja a presença de uma molécula (M) de um gás qualquer para que a energia liberada durante a combinação, para que o produto final não fique instável e volte a dissociar (FLEAGLE; BUSINGER, 1963). As reações apresentadas acontecem em alturas elevadas.

O ozônio, devido às suas propriedades radiativas, é um dos componentes mais importantes da atmosfera. É sabido que o a excessiva quantidade de radiação solar ultravioleta que atingiria a Terra, caso a concentração de ozônio diminuísse, causaria severas queimaduras na epiderme dos seres vivos, aumentando de maneira drástica a incidência de câncer de pele. No entanto, caso a concentração de ozônio aumentasse tanto a ponto de absorver toda a radiação solar ultravioleta, os animais não conseguiriam formar a vitamina D em seus organismos, como consequência disso a fixação de cálcio e de fósforo, indispensáveis para a formação do tecido ósseo, estaria comprometida. Estudos da distribuição do ozônio indicam haver um equilíbrio natural entre os processos de gênese e destruição desse gás (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A concentração de vapor d'água na atmosfera é bastante variável e tende a diminuir com a altitude, mas dificilmente ultrapassa 4% do volume. Apesar disso, o vapor d'água é extremamente importante por interferir na distribuição da temperatura, tanto por participar ativamente dos processos de absorção e transmissão de calor sensível pela atmosfera, como também por atuar como o veículo de energia, ao transferir o calor latente da evaporação, de uma região para outra, que por sua vez é liberado como calor sensível, quando o vapor se condensa. Deve-se salientar que o vapor d'água é o único dos constituintes da atmosfera que muda de estado em condições naturais, possibilitando então a formação de nuvens e a ocorrência de fenômenos meteorológicos, tais como chuva, neve e orvalho (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O dióxido de carbono presente na atmosfera representa apenas cerca de 2% do total existente na Terra (LINACRE e HOBBS, 1977). Sua concentração atmosférica

apresenta pequena oscilação, ficando sempre em torno de 0,5 g por quilograma de ar. É observado, no entanto, um aumento significativo de sua concentração nas vizinhanças de grandes centros urbanos ou de parques industriais (MANAHAN, 2013).

O gás carbônico da atmosfera está em um intercâmbio contínuo com os seres vivos, pela respiração e fotossíntese, com os materiais da crosta terrestre, por meio de combustão e oxidação, e também os oceanos, por difusão. Os principais constituintes dos vegetais provêm, em sua maioria, da atmosfera, através da atividade de fotossíntese: o carbono que integra as moléculas sintetizadas pelos vegetais é proveniente do gás carbônico atmosférico (VAREJÃO-SILVA, 2006). O gás carbônico tem um papel fundamental ainda na manutenção da temperatura do planeta, sendo um dos responsáveis por fazer de nosso planeta um lugar habitável.

A antroposfera exerce uma influência muito forte na atmosfera. Diversas atividades, tais como as atividades agrícolas, industriais e de transporte, alteram a composição dos gases-traço presentes na atmosfera de maneira significativa. Os efeitos disso são perceptíveis, em especial os relacionados aos gases do efeito estufa, como dióxido de carbono e metano, que geram o aquecimento global, e na variação dos níveis de ozônio tanto na troposfera quanto na estratosfera. O aumento do ozônio na troposfera é indesejável, pois nessa altura ele é um poluente. As emissões de NO por parte das indústrias e dos transportes e, sobretudo, as geradas pela queima de biomassa, tem desencadeado aumentos expressivos nos níveis de ozônio troposférico. Na estratosfera, no entanto, o ozônio é essencial, como já discutido, porém as emissões de fréons levaram à diminuição de seus níveis, de maneira mais grave sobre a Antártida (MANAHAN, 2013).

A atmosfera possui uma grande capacidade de assimilar os poluentes nocivos por oxidação, mas essa capacidade tem sido insuficiente em virtude da grande taxa de emissões desses poluentes, que vem crescendo ainda mais com o crescimento das indústrias nos países em desenvolvimento, o que representa uma grande preocupação para o futuro (MANAHAN, 2013).

### 3.3.1 Poluição atmosférica

Segundo Godish (1991), os principais poluentes atmosféricos ocorrem na forma de gases (termo que engloba as substâncias gasosas e os vapores) ou de particulados (termo que engloba tanto sólidos quanto líquidos). Nos últimos anos esses grupos tem

sido objeto de diversos estudos, pesquisas científicas e regulamentações. Isso se dá principalmente devido aos efeitos negativos que estes trazem para a atmosfera, a vegetação, a saúde humana, aos animais e aos materiais.

### 3.3.1.1 Poluição por material particulado

O material particulado é a forma de poluição atmosférica mais óbvia e visível. A Tabela 03 traz os termos importantes na descrição das partículas atmosféricas. O material particulado pode ser orgânico ou inorgânico.

Quanto à origem, as partículas podem ser provenientes tanto de fontes naturais como de fontes antropogênicas, podendo ser emitidas diretamente por tais fontes (partículas primárias) ou serem formadas na atmosfera por meio de interação com compostos pré-existentes (partículas secundárias) (MANAHAN, 2013).

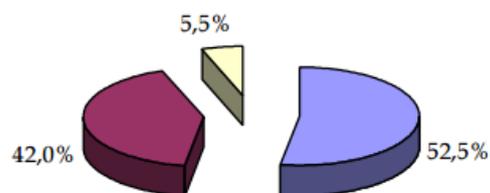
As partículas primárias podem ser geradas por emissões naturais, tais como erupções vulcânicas e a ressuspensão do solo em áreas desérticas, ou por emissões antropogênicas, como as atividades industriais e a queima de combustíveis fósseis. Essas partículas são de diferentes tamanhos, morfologias, composições químicas e propriedades físicas (ALMEIDA, 1999).

Tabela 03 – Termos importantes descritores das partículas atmosféricas

<b>Termo</b>	<b>Significado</b>
Aerossol	Partícula atmosférica de dimensões coloidais
Aerossóis de condensação	Formados pela condensação de vapores ou reações de gases
Aerossóis de dispersão	Formados pela moagem de sólidos, atomização de líquidos ou dispersão de poeiras
Nevoeiro	Termo que denota grande concentração de gotículas de água
Bruma	Denota diminuição da visibilidade devido à presença de partículas
Névoas	Partículas líquidas
Fumaça	Partículas formadas pela queima de combustíveis

Fonte: Manahan, 2013, p.319.

Raven et al (1995) *apud* Almeida (1999) apontam como as principais fontes primárias de poluição atmosférica por material particulado (Figura 04) os processos industriais, a queima de combustíveis e o transporte por veículos automotores.



■ Processos Industriais ■ Queima de combustíveis □ Transporte

Figura 04 – Principais fontes primárias de poluição por material particulado

Fonte: Raven et al, 1995 *apud* Almeida (1999).

As partículas secundárias podem ser produzidas, também, tanto por emissões antropogênicas de gases, quanto por emissões naturais, provenientes por exemplo da água do mar (como partículas sólidas de núcleo salino), de vulcões ou da decomposição de seres vivos (ALMEIDA, 1999; MANAHAN, 2013).

A composição química do material particulado, seja ele orgânico ou inorgânico, reflete diretamente a sua origem, levando-se em conta também as reações químicas que podem alterá-la. Dessa maneira existe uma considerável variedade de elementos na composição dos particulados atmosféricos.

A maioria das partículas grosseiras (tamanho superior a 2,5 µm e inferior a 10,0 µm) é primária, embora muitas vezes elas comecem como partículas ainda mais grosseiras, por se originarem principalmente da desintegração de grandes porções de matéria. Os minerais constituem um importante tipo de partículas grosseiras no ar. Muitas das partículas maiores de poeira na atmosfera, em especial nas áreas rurais, originam-se como solo ou rocha e sua composição é similar à da crosta da Terra, ou seja, altas concentrações de alumínio, cálcio, silício, enxofre e oxigênio na forma de silicatos de alumínio, alguns dos quais contêm também o íon de cálcio (BAIRD e CANN, 2011).

Segundo Baird e Cann (2011), as partículas grosseiras são comumente formadas das seguintes formas:

- Tempestades de vento em desertos jogam grandes quantidades de areia fina no ar. Tempestades de poeira na Ásia, cujos efeitos chegam tão longe quanto a América do Norte, estão aumentando devido à desertificação contínua de terras férteis como consequência do aquecimento global, desmatamento e sobrepastoreio.
- O vento gera partículas grossas pela desintegração mecânica de serapilheira.
- Pólen liberado a partir de plantas, também é constituído por partículas primárias grosseiras.
- Incêndios e erupções vulcânicas gerar tanto material particulado fino e grosso.

- A concentração de NaCl perto e acima dos oceanos é muito elevada devido à evaporação e pulverização da água do mar, deixando muitas partículas de cloreto de sódio em suspensão. Aerossóis de sal marinho, por isso, constituem a maior massa de partículas primárias no ar, seguidos por poeiras do solo e detritos de incêndios naturais.

Embora a maioria das partículas grossas originem-se de fontes naturais, as atividades humanas, como a britagem (em pedreiras, indústrias e laboratórios) e o cultivo da terra que resultam em suspensão de partículas de rocha e solo superficial. As partículas grandes em muitas áreas possuem caráter básico, devido ao carbonato de cálcio e outros sais no solo (BAIRD e CANN, 2011).

Já a fração de partículas finas (inferiores a 2,5  $\mu\text{m}$ ) apresenta em sua composição, além do carbono elementar, íons tais como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ , compostos orgânicos condensados e compostos de chumbo. Também é encontrada uma variedade de metais na fração fina dos materiais particulados em suspensão, sob a forma de traços metálicos, tais como chumbo, mercúrio, berílio, cádmio, vanádio, cromo e arsênico (um semimetal). Isso é de fundamental importância para a saúde pública, pois tratam-se de elementos que, uma vez depositados no trato respiratório humano, podem ocasionar danos graves à saúde (ALMEIDA, 1999; MANAHAN, 2013).

### 3.3.1.2 Poluição por gases

Uma enorme quantidade de poluentes é lançada na atmosfera diariamente na forma de gás devido às diversas fontes de poluição existentes no planeta. Muitos outros ainda são produzidos devido às reações químicas que acontecem na atmosfera. Apesar de contaminada por centenas de poluentes diferentes, poucos destes tem sido identificados como tendo já alcançado um nível de toxicidade que represente risco à saúde e ao bem-estar dos seres humanos (ALMEIDA, 1999).

Pode-se dividir os poluentes gasosos em cinco grandes grupos: óxidos de carbono, compostos de enxofre, compostos de nitrogênio, hidrocarbonetos e oxidantes fotoquímicos (ALMEIDA, 1999).

Os óxidos de carbono são lançados na atmosfera em grandes quantidades, sobretudo sob a forma de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo esse o mais abundante. Eles originam-se tanto de fontes naturais quanto de

fontes antropogênicas. Sobre o monóxido de carbono, estima-se que 6% de sua emissão anual sejam resultantes de atividades humanas (MANAHAN, 2013).

Os compostos de enxofre são lançados na atmosfera principalmente sob a forma de óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), que, assim como os óxidos de carbono, podem ser originários de fontes antropogênicas ou naturais. Dentre os óxidos de enxofre, o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) é o principal poluente. Uma vez na atmosfera, ele sofre reações químicas que geram outros óxidos, como o trióxido de enxofre ( $SO_3$ ), formado da reação do  $SO_2$  com o oxigênio do ar, que reage com a água formando o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Ambos poluentes secundários (ALMEIDA, 1999).

Os compostos gasosos de nitrogênio mais comumente encontrados na atmosfera são os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), a amônia ( $NH_3$ ) e o gás nitrogênio ( $N_2$ ). A formação dos óxidos de nitrogênio se dá na atmosfera pelas interações do nitrogênio com o oxigênio. O óxido nitroso ( $NO$ ), o dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e o óxido nítrico ( $N_2O$ ) são os três óxidos de nitrogênio encontrados na atmosfera. A maior parte do nitrogênio lançado na atmosfera é convertida em ácido nítrico ( $HNO_3$ ) (ALMEIDA, 1999; MANAHAN, 2013).

Os hidrocarbonetos, compostos orgânicos constituídos unicamente por átomos de carbono e hidrogênio, podem reagir com outras substâncias na atmosfera, tais como oxigênio, nitrogênio, cloro e enxofre e formar diversos compostos derivados. Os compostos derivados de hidrocarbonetos encontrados na atmosfera incluem aldeídos, ácidos, álcoois, éteres, cetonas e estéres. Outros derivados podem ainda conter metais, enxofre, halogênio (elementos da família 17 da tabela periódica) e nitrogênio. Exemplos de hidrocarbonetos gasosos encontrados na atmosfera são o metano ( $CH_4$ ), o butano ( $C_4H_{10}$ ) e o propano ( $C_3H_8$ ). (ALMEIDA, 1999)

Os oxidantes são substâncias que oxidam prontamente substâncias que dificilmente seriam oxidadas pelo oxigênio. Oxidantes fotoquímicos são formados como resultado de reações envolvendo poluentes orgânicos, óxidos de nitrogênio, oxigênio e luz solar, sendo o ozônio o mais importante desse grupo (ALMEIDA, 1999).

### *3.3.1.3 Efeitos da poluição atmosférica*

São muitos os efeitos potenciais da poluição atmosférica. Eles podem se manifestar nas pessoas, nos animais, nas plantas, nos materiais ou através de variações climatológicas.

Os potenciais efeitos da poluição atmosférica podem ser classificados de diversas maneiras. Uma abordagem é considerar o tipo de efeito e elencar quais os poluentes atmosféricos que podem causá-lo. Outra abordagem é escolher um poluente e listar todos os potenciais efeitos causados por ele. Os tipos de potenciais efeitos causados pela poluição atmosférica incluem as perdas estéticas, perdas econômicas, riscos à segurança, desconforto pessoal e efeitos na saúde (LIU; LIPTÁK, 1999).

Os efeitos estéticos incluem a perda de limpidez da atmosfera, bem como a presença de odores desagradáveis. A perda da clareza pode se dar devido às partículas em suspensão e *smog* (termo em inglês, junção das palavras *smoke*, que significa fumaça, e *fog*, que significa nevoeiro, que designa um nevoeiro contaminado por fumaças) ou ainda pela diminuição da visibilidade causada por partículas de nitrato e sulfato. Os odores desagradáveis podem abranger uma gama de poluentes atmosféricos; a maioria gasosos. Como exemplo de poluente atmosférico malcheiroso pode-se citar o sulfeto de hidrogênio, a amônia e os mercaptanos (tio-álcoois caracterizados por odores fortes). Os efeitos estéticos incluem ainda a deposição de partículas, principalmente oriundas de poeiras e fumaças, nas edificações e monumentos. Os efeitos dessa deposição são basicamente descoloração, erosão, corrosão, enfraquecimento e decomposição de materiais de construção (LIU; LIPTÁK, 1999; ALMEIDA, 1999).

As perdas econômicas resultantes da poluição do ar incluem a sujidade, danos à vegetação, danos ao gado e a deterioração dos materiais expostos.

Sujidade inclui a sujeira geral do ambiente, causada pela deposição das partículas em suspensão, o que demanda gastos com limpeza. Exemplos incluem a limpeza mais frequente de roupas, lavagem de automóveis e repintura de estruturas (LIU; LIPTÁK, 1999).

A maioria dos danos à vegetação são devido à uma exposição excessiva aos poluentes gasosos, tais como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Os oxidantes formados na atmosfera, devido às reações induzidas fotoquimicamente, também causam danos à vegetação. Estudos indicam que as partículas sedimentáveis também interrompem processos importantes para a vegetação,

causando efeitos indesejáveis. Um exemplo é a deposição de partículas em torno de uma cimenteira. Os prejuízos disso incluem os danos às lavouras, jardins e paisagens. São alguns dos danos à vegetação causados pela poluição atmosférica: a necrose do tecido do caule, folhas e frutos; a redução e a supressão do crescimento; o aumento da suscetibilidade a doenças, pestes e climas adversos; interrupção total do processo reprodutivo da planta (LIU; LIPTÁK, 1999; ALMEIDA, 1999).

Segundo Assunção (1998) os danos à vegetação podem ser crônicos ou agudos e são causados pela diminuição da penetração da luz, reduzindo a capacidade de realizar a fotossíntese, em geral devido deposição de partículas nas folhas, pela penetração de poluentes através das raízes após deposição de partículas ou dissolução de gases no solo, mediante penetração dos poluentes pelos estômatos (pequenos poros na superfície das plantas).

A deterioração dos materiais expostos inclui a corrosão de metais, o intemperismo em rochas, o escurecimento da tinta branca à base de chumbo, o fraturamento acelerado de borrachas e deterioração de vários tecidos sintéticos. O dióxido de enxofre acelera a corrosão de metais, provocando a necessidade de repintura de estruturas e pontes metálicas com maior frequência. O intemperismo em rochas é atribuído aos efeitos de névoas ácidas formadas na atmosfera como resultado de processos oxidativos combinados com vapor de água. Alguns tipos de nevoeiros ácidos incluem ácido sulfúrico, ácido carbônico e ácido nítrico (LIU; LIPTÁK, 1999).

A categoria dos efeitos na saúde varia de desconforto pessoal a perigos reais para a saúde, podendo provocar até mesmo a morte de seres humanos. O desconforto pessoal é caracterizado por irritação nos olhos e os sintomas são agravados para os indivíduos com dificuldades respiratórias. A sensação de ardência nos olhos, sentida rotineiramente em muitas grandes áreas urbanas, é devido a altas concentrações de oxidantes na atmosfera. Indivíduos com dificuldades respiratórias associadas com a asma, bronquite e sinusite experimentam aumento do desconforto como resultado de oxidantes, óxidos de nitrogênio e partículas (LIU; LIPTAK, 1999).

Os efeitos na saúde resultam de exposições agudas e crônicas. Exposições agudas resultam de descargas acidentais de poluentes ou episódios isolados de poluição do ar. Episódios em que há doenças ou mortes são tipicamente causados por inversões térmicas na atmosfera, que diminuem sua capacidade de dispersão dos poluentes, aliadas à uma alta concentração dos mesmos (GODISH, 1991).

Exposições a concentrações baixas, por um período prolongado resultam em problemas respiratórios e cardiovasculares, alterações das funções do corpo, tais como a ventilação pulmonar e transporte de oxigênio, diminuição da capacidade de trabalho e atividades atléticas, irritação dos olhos, nariz e garganta, e no agravamento das condições respiratórias existentes, como a asma (GODISH, 1991; LIU, LIPTÁK, 1999).

A Tabela 04 resume os efeitos atribuídos a determinados poluentes do ar. A Tabela 05 contém informações sobre os efeitos do dióxido de enxofre. Os efeitos são organizados em termos de saúde, visibilidade, materiais e vegetação.

O amianto, o chumbo e o mercúrio, embora não sejam poluentes atmosféricos tão comuns, são alguns dos que merecem uma séria atenção, por trazerem danos sérios à saúde das pessoas, em especial nas áreas próximas às suas emissões.

Amianto, ou asbesto, é o nome dado a um grupo de silicatos fibrosos, geralmente do grupo das serpentinas. Sua fórmula química aproximada é  $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ . Tem bastante aplicabilidade devido à sua resistência à tensão, sua flexibilidade e não inflamabilidade. Seu perigo se dá pois, quando inalado, causa abestose (uma doença pulmonar), o mesotelioma (tumor no tecido mesotelial, que recobre a caixa torácica, junto aos pulmões) e o carcinoma broncogênico (o câncer originado nas passagens do ar nos pulmões) (MANAHAN, 2013).

Tabela 04 – Resumo qualitativo dos efeitos atribuídos a poluentes específicos

<b>Poluente do ar</b>	<b>Efeitos</b>
Particulado	Acelera reações químicas; obscurece a visão; corrói metais; provoca sujeira em pertences e edifícios; agrava doença pulmonar
Óxido de enxofre	Causa danos agudos e crônicos às folhas das plantas; ataca uma grande variedade de árvores; irrita o trato respiratório superior; destrói pigmentos de tintas; corrói estátuas; corrói metais; danifica tecidos e malhas; desintegra páginas de livros e couros
Hidrocarboneto	Pode ser carcinogênico; retarda o crescimento das plantas; causam desenvolvimento anormal nas folhas e nos botões
Monóxido de carbono	Causa dores de cabeça, tonturas e náuseas; é absorvido pelo sangue; reduz o teor de oxigênio; prejudica os processos mentais; morte
Óxido de nitrogênio	Provoca lesões visíveis nas folhas; irrita as mucosas; atrapalha o crescimento das plantas, mesmo não causando danos visíveis; cria névoa marrom; corrói metais
Ozônio	Descolora a superfície superior das folhas de muitas lavouras, árvores e, arbustos; danifica e consome tecidos; reduz o desempenho atlético; acelera o fraturamento de borracha; perturba a função pulmonar; irrita os olhos, nariz e garganta; induz a tosse

<b>Poluente do ar</b>	<b>Efeitos</b>
Nitrato de peroxiacetil	Descolore a superfície inferior das folhas das plantas; irrita os olhos; perturba a função pulmonar

Fonte: Liu; Lipták, 1999, p. 250.

Tabela 05 – Efeitos atribuídos ao dióxido de enxofre

<b>Categoria do efeito</b>	<b>Comentários</b>
Saúde	<p>a. Em concentrações de cerca de 1500 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,52 ppm) de dióxido de enxofre (média diária) e as partículas em suspensão medindo um índice de sujidade de 6 ou mais cohs, a taxa de mortalidade pode aumentar.</p> <p>b. Em concentrações de cerca de 715 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,25 ppm) de dióxido de enxofre (média diária) ou mais, aliada a uma fumaça de concentração de 750 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math>, a taxa de mortalidade pode aumentar</p> <p>c. Em concentrações de cerca de 500 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,019 ppm) de dióxido de enxofre (média diária), com poucos particulados em suspensão, a taxa de mortalidade pode aumentar</p> <p>d. Em concentrações entre 300 e 500 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,11 – 0,19 ppm) de dióxido de enxofre (média diária), com poucos particulados em suspensão, aumenta o número de admissões de pessoas idosas em hospitais por doenças respiratórias; absenteísmo, em especial por pessoas mais velhas, também pode ocorrer.</p> <p>e. Em concentrações de cerca de 715 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,25 ppm) de dióxido de enxofre (média diária) acompanhado de material particulado, as taxas de doença para pacientes com mais de 54 anos com bronquite grave pode aumentar acentuadamente.</p> <p>f. Em concentrações de cerca de 600 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (cerca de 0,21 ppm) de dióxido de enxofre (média diária) com concentrações de fumaça de cerca de 300 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, os doentes com doença pulmonar crônica podem experimentar acentuação dos sintomas.</p> <p>g. Em concentrações que variam de 105 a 265 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,037-0,092 ppm) de dióxido de enxofre (média anual) acompanhado de concentrações de fumaça de cerca de 185 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, a frequência de sintomas respiratórios e doenças pulmonares pode aumentar.</p> <p>h. Em concentrações de cerca de 120 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,046 ppm) de dióxido de enxofre (média anual) acompanhado de concentrações de fumaça de cerca de 100 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, a frequência e a gravidade das doenças respiratórias em crianças em idade escolar podem aumentar.</p> <p>i. Em concentrações de cerca de 115 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (0,040 ppm) de dióxido de enxofre (média anual) acompanhado por concentrações de fumaça de cerca de 160 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, a mortalidade por câncer de pulmão e bronquite pode aumentar.</p>
Visibilidade	A uma concentração de 285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,10 ppm) de dióxido de enxofre com uma concentração comparável de partículas em suspensão e humidade relativa de 50%, a visibilidade pode ser reduzida para cerca de 5 milhas.
Materiais	A um nível de dióxido de enxofre médio de 345 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,12 ppm) acompanhado por níveis elevados de partículas, a velocidade de corrosão para os painéis de aço pode aumentar em 50%.
Vegetação	a. A uma concentração de cerca de 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,03 ppm) de dióxido de enxofre (média anual), podem ocorrer lesões crônicas na planta e queda excessiva de folhas.

Categoria do efeito	Comentários
	<p>b. Após a exposição a cerca de 860 µg/m<sup>3</sup> (0,3 ppm) de dióxido de enxofre durante 8 horas, algumas espécies de árvores e arbustos apresentam lesões.</p> <p>c. Em concentrações de cerca de 145 a 715 µg/m<sup>3</sup> (0,05-0,25 ppm), o dióxido de enxofre pode reagir de forma sinérgica com o ozônio ou com o dióxido de nitrogênio em exposições de curta duração (por exemplo, 4 horas) e danos moderados a graves às plantas sensíveis.</p>

Fonte: Liu; Lipták, 1999, p. 250.

O chumbo é um dos poluentes mais perigosos existentes. Gases industriais com partículas de chumbo podem ser transportados por alguns quilômetros antes de sua deposição. Há alguns anos a contaminação por chumbo atmosférico se dava pela queima de combustível contendo o metal, sobretudo na tetraetilchumbo. Ao ingerirmos alimento contaminado pelo chumbo ou inalarmos o mesmo, ele passa a ser absorvido pelo nosso organismo. Seu efeito cumulativo faz com que o metal se acumule nos dentes e ossos e que haja o desencadeamento de doenças. Uma vez afetado o sangue, o chumbo pode causar anemia, degeneração das hemácias e prejudicar a produção de hemoglobina. Já no sistema nervoso, são observadas neurites nos indivíduos adultos e encefalopatias em crianças (CAPITANI, 2009).

O mercúrio é motivo de alarme devido à sua toxicidade, volatilidade e mobilidade. Muito do teor do metal na atmosfera está associado ao material particulado. Assim como o chumbo, pode entrar no organismo por inalação ou ingestão. Uma vez na corrente sanguínea, ele se fixa às proteínas e aos glóbulos vermelhos e a partir daí é distribuído para diversos órgãos. Ele pode ainda romper a proteção da placenta e causar graves danos aos fetos em desenvolvimento nas gestantes. O metal concentra-se nos rins, fígado, sangue, medula óssea, intestinos, aparelho respiratório, mucosa bucal, glândulas salivares, cérebro, ossos e pulmões. A intoxicação aguda por inalação pode provocar: bronquite, edema pulmonar, salivação excessiva, gosto metálico na boca, lesões, tremores, convulsões, sede, dor abdominal, vômito, diarreia, alucinações, irritabilidade, perda de memória, confusão mental, anormalidades nos reflexos, coma e morte. (ZAVARIZ; GLINA, 1992; ARMOUR, 2003; MANAHAN, 2013).

Sobre a vida animal, os efeitos da poluição atmosférica incluem o enfraquecimento do sistema respiratório, danos aos olhos, dentes e ossos, aumento

da suscetibilidade a doenças, pestes e outros riscos relacionados ao *stress*, a diminuição das fontes de alimento e a redução da capacidade de reprodução.

Além de todos os efeitos citados, há ainda o da chuva ácida, do aumento da temperatura do planeta e o aumento da radiação solar ultravioleta no planeta, que trazem transtornos e consequências graves.

### **3.4 O solo e a geosfera**

Geosfera é o nome que se dá a parte do planeta Terra em que vivemos e de onde retiramos nossos alimentos, combustíveis e minerais. Por séculos pensava-se que a geosfera tinha capacidade ilimitada de resistir às perturbações provocadas pela humanidade, mas hoje se sabe que ela é bastante frágil e suscetível a danos pelas atividades da antroposfera (MANAHAN, 2013).

Para Campello (2007) um dos impactos mais graves da antroposfera sobre a geosfera é a criação de áreas desertificadas por utilização de forma abusiva da terra em regiões com baixa precipitação pluviométrica. A manifestação da desertificação se dá na forma da diminuição de lençóis freáticos, da salinização de solos férteis e da água, na redução das águas superficiais, na erosão dos solos em níveis altíssimos e na destruição da vegetação nativa. No Sahel da África (fronteira meridional do Saara) esse problema é bastante grave. Entre 1968 e 1973, anos muito secos, o deserto avançou bastante para o sul, o que contribuiu para a disseminação da fome no continente africano na década de 80.

Pode-se dizer que o solo é a parte mais importante da geosfera para a vida no planeta. Ele é composto de minerais intemperizados e matéria orgânica. É nele onde as plantas crescem e ele é fundamental para a vida e existência de praticamente todos os organismos vivos. Sua produtividade é fortemente influenciada pelas condições ambientais e poluentes (MANAHAN, 2013). Os agroquímicos, resíduos químicos, lixos e lixos radioativos são os principais contaminantes do solo. Para os três últimos é possível criar aterros que reduzem para níveis mínimos os níveis de contaminação, para os agroquímicos como os fertilizantes químicos, por exemplo, o controle é mais difícil.

Os deflúvios (escoamentos) de terras enriquecidas com fertilizantes (nitrogênio, fósforo, potássio) poluem a água e fazem com que reservatórios ou lagos se tornem eutróficos e ali passem a proliferar algas. A decomposição da biomassa

algácea demanda oxigênio, o que provoca a queda da concentração do gás (diminuição do oxigênio disponível, ou OD) no corpo hídrico em questão (MANAHAN, 2013).

A zona morta do Golfo do México é um exemplo assombroso da poluição por fertilizantes agrícolas. A cada verão, com exceção dos anos mais secos, aumenta ainda mais o seu tamanho. O fenômeno é atribuído aos escoamentos enriquecidos com fertilizantes, em especial o nitrogênio, da bacia hidrográfica do Mississipi, que promove o crescimento excessivo de microrganismos fotossintéticos no Golfo. A decomposição da biomassa desses organismos, juntamente com os corpos do zooplâncton e seus resíduos dos quais se alimentam, se depositam no fundo do Golfo, onde são decompostos resultando na diminuição do OD, matando peixes e outras formas de vida marinhas, prejudicando assim a pesca, importante em nível nacional, pondo em risco a economia da região. A extensão da zona morta do Golfo do México em 2002 chegou a 22.000 km, sendo maior, portanto, que o estado brasileiro do Sergipe (SINGER; MASON, 2006; MANAHAN, 2013).

O solo pode ser severamente danificado por resíduos perigosos. Tais materiais podem alterar as propriedades físicas e químicas do solo e assim a sua capacidade de nutrir e crescer plantas. Alguns dos incidentes mais catastróficos em que o solo tenha sido danificado pela exposição a materiais perigosos surgiram de contaminação do solo de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) emitido a partir da fundição de cobre ou de chumbo, ou a partir de salmouras da produção de petróleo. Ambos param o crescimento das plantas e, sem os efeitos de ligação dos sistemas radiculares de plantas viáveis, o solo é rapidamente perdido pela erosão (MANAHAN, 2013).

Por sua interação com a atmosfera e a hidrosfera, a geosfera é muito importante, do ponto de vista ambiental.

A poluição lançada no solo pode acabar nos lençóis freáticos, contaminando água que, potencialmente, seria de qualidade para o consumo humano. Resíduos perigosos em um aterro podem percolar pelos poros do solo, contaminar um lençol freático e escoar para rios ou aquíferos, contaminando poços. Esgotos e dutos podem vaziar substâncias danosas. Lagoas de rejeitos (tipo de resíduos) também podem vaziar e contaminar a água subterrânea.

A desertificação do solo e atividades industriais que envolvem detonação, escavação e perfuração são potenciais geradores de partículas poluidoras da atmosfera.



#### 4 IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS DE INSTITUIÇÕES ACADÊMICAS

Vimos anteriormente que a presença de substâncias químicas no solo, água e ar podem trazer consequências catastróficas para a vida e para o planeta. Além das fontes de contaminação já citadas, destacamos aqui a parte poluidora que diz respeito aos laboratórios de química de ensino e pesquisa. Todos os laboratórios, sejam eles de grande ou pequeno porte, podem contribuir para a contaminação da geosfera, da hidrosfera e da atmosfera. Assim, torna-se importante implementar programas de gerenciamento de resíduos.

Um resíduo pode ser considerado perigoso se apresentar características inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Diversos países têm listas ou tabelas com diversos resíduos, substâncias ou classes de substâncias sabidamente perigosos. EPA (*Environment Protection Agency*) dos Estados Unidos tem mais de 450 dessas substâncias classificadas<sup>2</sup>, além daquelas que apresentam uma das quatro características citadas.

Além da grande quantidade de substâncias existentes e catalogadas, bem como as não catalogadas, que são perigosas, seus efeitos são diversos e, conforme já discutido e exemplificado, podem trazer sérios prejuízos econômicos, à produtividade do solo, à saúde e à vida, nos mais diversos biomas.

A Lei de Política Nacional de Resíduos, Lei n. 12.305, de 5 de agosto de 2010, estabelece em seu 6º artigo uma listagem de princípios. Um dos princípios ali alistados é o princípio da prevenção, que equivale à adoção de práticas que antecipem comportamentos danosos ao meio ambiente. Entende-se, com isso, que somente quando não for possível que se evite totalmente o prejuízo ambiental é que será aceito um comportamento mitigador ou redutor do dano (MACHADO, 2012).

Em muitas instituições de ensino no Brasil ainda inexistem programas de gerenciamento dos resíduos perigosos gerados em seus laboratórios. A prática mais comum ainda é o descarte dos mesmos na pia, contaminando a rede pública de esgoto. Também é comum observar-se o descarte dos resíduos perigosos no lixo

---

<sup>2</sup> A EPA disponibiliza listagens de resíduos perigosos em meio eletrônico no endereço <<http://epa.gov/epahome/crf40.htm>>

comum ou a geração de um sério passivo ambiental por meio do armazenamento, não raro, precário até um eventual tratamento (FIGUERÊDO, 2006).

Alberguini et al (2005) sobre a importância do tratamento dos resíduos, sobretudo preventivo, em especial com relação à poluição diz: “A escassez de água não é mais um tema apenas de acadêmicos, sendo debatida, sentida ou percebida nas diversas regiões do planeta”. Eles continuam dizendo: “Também é assim com a poluição do ar”.

Nos Estados Unidos muitas universidades têm implantado programas de gestão para os resíduos gerados em seus laboratórios, desde a década de 70. Dentre essas destacam-se a Universidade da Califórnia, a Universidade de Winsconsin, a Universidade do Estado do Novo México, a Universidade de Illinois e a Universidade de Minnesota. Tais instituições têm feito esforços consideráveis para reduzir a geração de resíduos perigosos (TAVARES, 2004).

No Brasil, a preocupação e as ações relativas ao gerenciamento de resíduos perigosos em universidades e centros de educação tiveram um início tímido na década de 80. Na atualidade alguns institutos de química de universidades, sobretudo as públicas, tem realizado estudos e implantado com sucesso um programa de gerenciamento de resíduos (PGR). Mas falta ainda um alcance institucional, iniciativas que partam não dos departamentos de química, mas sim das administrações das instituições (FIGUERÊDO, 2006).

A falta de um programa de gestão de resíduos na maioria das instituições constitui um problema sério, pois conforme já discutido, nas mesmas os resíduos ou são descartados ou estocados, em ambos os casos, de maneira incorreta. Além disso, segundo Souza (2003), os alunos de graduação raramente são instruídos, durante as práticas laboratoriais, sobre a geração de resíduos e o devido tratamento dos mesmos antes do descarte. Diversos outros autores atestam essa realidade, como Jardim (1998), Alberguini et al (2003), entre outros.

Tendo em mente a responsabilidade das instituições de ensino pela formação de profissionais e cidadãos conscientes e responsáveis se faz necessário que as mesmas também preparem seus discentes para trabalharem dentro do princípio da sustentabilidade, onde as atividades e processos são planejados em função de um uso racional, seguro e ambientalmente adequado da tecnologia e dos recursos naturais (TAVARES, 2004).

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, mais conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, diz, em outras palavras, que um resíduo poluidor, ainda que emitido em quantidades menores que as previstas na legislação vigente, poderá causar um dano ambiental, e sujeitar o causador do dano ao pagamento de uma indenização, ou também, um dano indireto, uma vez provada sua relação com uma dada instituição, sendo essa então responsabilizada (MACHADO, 2002).

Em suma, a importância do tratamento dos resíduos gerados pelo laboratório envolve a segurança e saúde pública, pois tais laboratórios podem trabalhar com resíduos perigosos e potencialmente tóxicos. É uma questão de responsabilidade social e legal, além também de envolver a ética, a postura da instituição e seu papel como formadora.

## 5 O LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA UNIDADE ARAXÁ DO CEFET-MG

O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) é uma autarquia vinculada ao Ministério da Educação (MEC). A Unidade de Ensino Descentralizada de Araxá (comumente chamada Unidade Araxá, ou Campus IV) foi criada em 1992.

A história da instituição, no entanto, antecede a criação do CEFET na cidade. De 1977 a 1994 funcionou em Araxá a Eminas (Escola Minas de Araxá) que oferecia diversos cursos técnicos. Seu nome foi baseado na Escola de Minas de Ouro Preto (CURI, 2010). Em 1991 o então Deputado Federal Aracely de Paula encaminhou ao MEC-Senete o ofício no qual solicitava a tomada de posse da Eminas pelo CEFET-MG. Em 4 de fevereiro de 1992 o Ministro da Educação, Professor José Goldenberg, assinou a portaria n. 215 que autorizou o funcionamento da unidade. Por dois anos o CEFET e a Eminas funcionaram no mesmo prédio até que no final de 1994 a última foi extinta e a unidade passou a ser totalmente administrada pelo governo federal<sup>3</sup>.

O Laboratório de Química da unidade tem sido utilizado por alguns anos em diversos dos cursos oferecidos, sejam eles técnicos ou superiores. Tem sido amplamente utilizado em atividades de ensino e pesquisa. Até o ano de 2015 o laboratório carecia de um programa de gerenciamento dos resíduos gerados pelas atividades rotineiramente executadas. A prática usual ali era a de estocar os resíduos gerados e os enviar para uma empresa privada tratar e dar a destinação correta.

O ensino da química para os alunos de Engenharia de Automação Industrial e Engenharia de Minas é de uma importância superlativa. Muitos dos processos em que os profissionais das duas áreas trabalharão envolvem a aplicação de conhecimentos de propriedades químicas, reações e interações. Para os alunos de ensino médio e técnico, o ensino da química exerce um papel de facilitador da leitura do mundo, permitindo ao aluno uma melhor interação com o mesmo (CHASSOT, 1990). Pode-se dizer, então, que um dos objetivos do ensino da química é formar cidadãos conscientes e críticos.

Acerca dos conhecimentos da química que podem ser adquiridos pelos alunos em seu cotidiano, Cardoso e Colinvaux (2000), dizem:

---

<sup>3</sup> CEFET, ARAXÁ, MG. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.araxa.cefetmg.br/site/sobre/historico.html>>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

O estudo da química deve-se principalmente ao fato de possibilitar ao homem o desenvolvimento de uma visão crítica do mundo que o cerca, podendo analisar, compreender e utilizar este conhecimento no cotidiano, tendo condições de perceber e interferir em situações que contribuem para a deterioração de sua qualidade de vida. Cabe assinalar que o entendimento das razões e objetivos que justificam e motivam o ensino desta disciplina, poderá ser alcançado abandonando-se as aulas baseadas na simples memorização de nomes de fórmulas, tornando-as vinculadas aos conhecimentos e conceitos do dia-a-dia do alunado. (Cardoso; Colinvaux, 2000, p. 401)

As aulas práticas realizadas em laboratórios são de importância ímpar para o bom ensino da química e uma aprendizagem significativa. É uma maneira excelente de relacionar o conhecimento teórico e com o prático. É essencial, para tanto, que a prática não ocorra de forma desconexa e aleatória, mas que esteja aliada ao que é visto na teoria (TREVISAN; MARTINS, 2008). Também nas aulas práticas de laboratório são aprendidas muitas técnicas que poderão ser úteis no trabalho de estudantes com formação técnica, bem como em pesquisas acadêmicas. Nos cursos de graduação da Unidade Araxá do CEFET-MG o papel das disciplinas de Química Geral e Química Experimental são bem compreendidos e as duas disciplinas são oferecidas logo no primeiro ano de curso.

Embora muito importantes, as aulas práticas no Laboratório de Química da Unidade Araxá criam problemas em relação a todos os resíduos produzidos em decorrência das mesmas.

## **5.1 Levantamento dos resíduos gerados no laboratório**

Para a realização do presente levantamento, utilizou-se o Manual de Laboratório e Exercícios Aplicados elaborado pelo professor Dr. Natal Junio Pires, que traz a descrição e escopo de todas as treze experiências a ser realizadas durante o semestre.

Todas as experiências têm caráter didático e objetivam a observação na prática dos conceitos observados em teoria. Servem também para o professor que as conduz observar o quanto do conteúdo está bem assimilado e consolidado pelos alunos e fazer as devidas correções, quando necessário.

Um exemplo é a experiência três, em que são realizados diversos procedimentos para se evidenciar (por mudança de cor da solução, por exemplo) a ocorrência de reações químicas. As reações que acontecem na experiência três, com todos os reagentes em solução, são apresentadas a seguir:

Procedimento a.1:  $Cu(NO_3)_2 + Fe(NO_3)_2$  não há reação

Procedimento a.2:  $Cu(NO_3)_2 + 2NH_4OH \rightarrow Cu(OH)_2 + 2NH_4NO_3$

Procedimento b.1:  $AgNO_3 + HCl \rightarrow AgCl + HNO_3$

Procedimento b.2:  $2AgNO_3 + K_2CrO_4 \rightarrow 2KNO_3 + Ag_2CrO_4$

Procedimento c.1:  $NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2CO_3 \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$

Procedimento c.2:  $Fe + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu$

Procedimento c.3:  $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$

Assim como se deu com o experimento três, todas as reações químicas apresentadas no manual foram executadas e balanceadas para que o levantamento dos resíduos gerados no laboratório fosse realizado. É importante salientar que o resíduo gerado pelo experimento não é necessariamente o produto da reação, mas sim algum de seus reagentes, que não serão consumidos em sua totalidade, como se dá no procedimento c.3, por exemplo.

A descrição do procedimento fala sobre a mistura de uma solução de 2,0 mol/L de ácido sulfúrico com uma solução de 3,0 mol/L de hidróxido de sódio. Observa-se na equação balanceada dessa reação que para cada mol do ácido sulfúrico consumido, consomem-se dois mols do hidróxido de sódio. Para a concentração em questão, espera-se que todo o hidróxido de sódio seja consumido, mas que parte do ácido não seja. A Tabela 06 apresenta a estequiometria dessa reação.

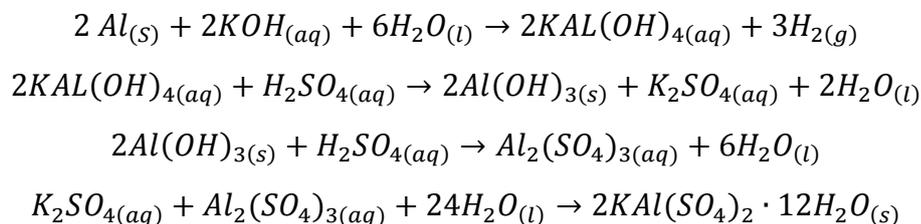
Tabela 06 – Estequiometria do procedimento c.3

$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$				
	Reagentes		Produtos	
Espécies	$H_2SO_4$	$NaOH$	$Na_2SO_4$	$H_2O$
Quantidade no início (mols)	2,0	3,0	0	0
Quantidade consumida nos reagentes/gerada nos produtos (mols)	1,5	3	1,5	3,0
Quantidade no final (mols)	0,5	0	1,5	3,0

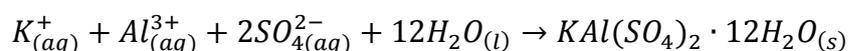
Fonte: Acervo do autor

Difícilmente as reações aconteceriam com rendimento de 100%, sobretudo por muitas delas serem reversíveis, havendo então sempre um pouco de produto fazendo a reação contrária e gerando, novamente, reagentes. Dessa forma, as equações realizadas fornecem uma boa ideia do que se pode encontrar nos resíduos gerados pelas atividades dos laboratórios, levando-se em conta fatores, como quantidades de reagentes, quais seriam os reagentes limitantes, aquecimento, entre outros.

A quarta experiência, por exemplo, de síntese do alúmen, é uma das experiências que tais considerações foram feitas para se definir quais são os prováveis resíduos gerados pela prática. A seguir são apresentadas as reações envolvidas na síntese do alúmen.



A reação geral na forma iônica:



Na descrição do experimento pede-se para que seja utilizada cerca de 1 g de alumínio metálico, 50 mL de uma solução de hidróxido de potássio 1,4M e 20 ml de uma solução de ácido sulfúrico 9M. A massa molar do alumínio é 26,98 g. Tem-se:

$$\frac{1 \text{ g}}{26,981 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,037 \text{ mols de Alumínio}$$

$$\frac{1,4 \text{ mol}}{l} \times 50 \text{ mL} = 0,07 \text{ mols de KOH}, \quad 0,07 - 0,037 = 0,33 \text{ mols}$$

$$\frac{9 \text{ mol}}{l} \times 20 \text{ mL} = 0,18 \text{ mols de } H_2SO_4, \quad 0,18 - 2(0,037) = 0,106 \text{ mols}$$

Pelas reações envolvidas na síntese do alúmen percebe-se que para produzir 1 mol do mesmo é necessário que se use 1 mol do alumínio, 1 mol do hidróxido de potássio e 2 mols do ácido sulfúrico. Como o reagente em menor quantidade, o alumínio, tem apenas 0,037 mols, essa será a quantidade de alúmen sintetizada, supondo rendimento de 100% para a reação. Dessa forma, ficam sem reagir com o alumínio 0,33 mols do hidróxido de potássio e 0,106 mols de ácido sulfúrico.

Acerca do experimento 13, a realização do mesmo não tem sido executada por apresentar alta periculosidade. No entanto, por constar nas práticas do manual que poderão, por ventura, ser realizadas, também foram analisadas as reações envolvidas nessa prática e os possíveis resíduos gerados.

Além das reações feitas pelos alunos, há também uma realizada pelo professor na forma de um exercício, cujo intuito é que os alunos descubram qual foi a reação que ocorreu. A Figura 05 descreve essa reação.

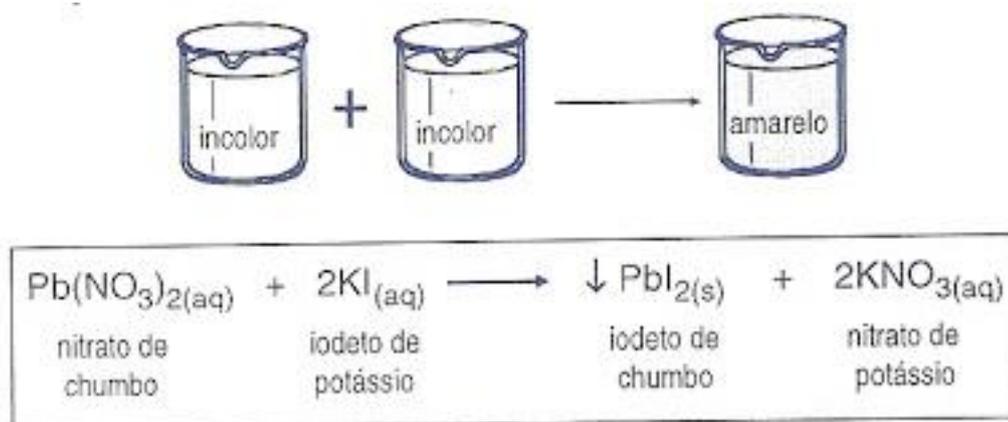


Figura 05 – Exercício proposto  
Fonte: Acervo do autor

Após o levantamento de todas as práticas realizadas e propostas no material fornecido, foi confeccionada a Tabela 07. Essa tabela traz o número da prática, o objetivo didático de cada uma delas, as substâncias que estão envolvidas em sua realização (omitindo-se a água) e os resíduos provavelmente gerados em cada uma delas.

Tabela 07 – Resumo dos experimentos

Número da prática	Objetivo	Substâncias envolvidas	Resíduos
1	Manipular corretamente a vidraria do laboratório e analisar a exatidão dos recipientes volumétricos. Relacionar as medidas de massa e volume com uma propriedade específica de substâncias. Sequenciar um experimento.	-	-
2	Obter um modelo matemático que relacione a densidade de uma solução contendo cloreto de sódio em função da concentração deste último na água.	Cloreto de sódio	Cloreto de sódio
3	Verificar a ocorrência de reações químicas. Classificar as reações químicas.	Nitrato de cobre (II) Nitrato de ferro (II) Hidróxido de amônio Cromato de potássio Ácido clorídrico Sulfato de cobre (II) Ácido sulfúrico Hidróxido de sódio Ferro (prego)	Hidróxido de cobre (II) Nitrato de cobre (II) Nitrato de ferro (II) Nitrato de amônio Cloreto de prata Ácido nítrico Cromato de prata Nitrato de potássio Ácido carbônico Sulfato de ferro (II) Sulfato de cobre (II)

Número da prática	Objetivo	Substâncias envolvidas	Resíduos
			Ácido sulfúrico Sulfato de sódio Ferro (prego) Cobre (prego)
4	Sintetizar o alúmen a partir de alumínio metálico	Alumínio metálico Ácido sulfúrico Hidróxido de potássio Álcool etílico	Alúmen Ácido sulfúrico Sulfato de potássio Álcool etílico
5	Avaliação	Cloreto de sódio Sacarose	Cloreto de sódio Glicose Frutose
6	Determinar o teor de ácido acético (etanoico) em amostras de vinagre	Ácido etanoico Hidróxido de sódio	Etanoato de sódio
7	Sintetizar sulfato de ferro (II) a partir de ferro metálico	Ferro metálico Ácido sulfúrico Álcool etílico	Sulfato de ferro (II) Ácido sulfúrico Álcool etílico
8	Determinar a viscosidade de diferentes líquidos. Simular um processo oxidativo para tratamento de esgotos	- Molho de tomate Água sanitária (hipoclorito de sódio, carbonato de sódio)	- Molho de tomate clarificado Hipoclorito de sódio
9	Determinar o calor de neutralização entre um ácido e uma base fortes	Ácido clorídrico Hidróxido de sódio	Cloreto de sódio
10	Demonstrar os parâmetros que influem na velocidade de reações químicas	Comprimidos efervescentes Sulfato de ferro (II) Permanganato de potássio Oxalato de sódio Ácido sulfúrico Ácido clorídrico Magnésio metálico Peróxido de hidrogênio Iodeto de potássio Amido	Cloreto de magnésio Iodeto de potássio Sulfato de sódio Complexo azul (iodo + amido)
11	Determinar a energia de ativação de uma reação química utilizando a equação de Arrhenius	Iodeto de potássio Persulfato de potássio Tiosulfato de sódio Amido	Sulfato de sódio Complexo azul (iodo + amido)
12	Verificar a distribuição de um soluto entre dois líquidos imiscíveis	Clorofórmio Ácido acético (etanoico) Fenolftaleína Hidróxido de sódio	Clorofórmio Acetato (etanoato) de sódio
13	Observar o deslocamento do equilíbrio químico de uma reação a partir de	Cloreto de ferro (III)	Cloreto de ferro (III)

<b>Número da prática</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Substâncias envolvidas</b>	<b>Resíduos</b>
	fatores como variação de temperatura, pressão e concentração dos reagentes	Tiocianato de amônio (sólido e em solução) Cloreto de amônio Nitrato de chumbo	Tiocianato de amônio (sólido e em solução) Cloreto de amônio Óxido de chumbo
Exercício	Descobrir qual é a reação	Nitrato de chumbo Iodeto de potássio	Iodeto de chumbo Nitrato de potássio

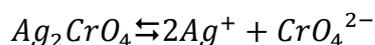
Fonte: Acervo do autor

## 6 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS LEVANTADOS

Os resíduos levantados serão classificados segundo a classificação feita por Cunha (2001) com algumas adaptações. Tal classificação visa facilitar a neutralização/tratamento de alguns dos resíduos, ou seja, minimizar a periculosidade dos resíduos por meio de reações químicas que os tornará mais compatíveis com outros resíduos, bem como também dinamizar os trabalhos realizados no sentido de recuperar, destruir e destinar corretamente os resíduos.

Os resíduos levantados foram classificados em ácidos, bases, oxidantes, redutores, metais sólidos, hidrolisáveis, solventes halogenados e não halogenados, soluções contendo metais pesados, outros sais e misturas – combinações não classificadas nos itens anteriores.

Foi levado em conta que muitos dos resíduos alistados na Tabela 07 são ionizáveis/dissociáveis em meio aquoso, gerando íons que podem pertencer a uma classe diferente do seu resíduo, caso o mesmo se encontrasse em estado sólido. Isso se dá, por exemplo, com o cromato de prata, que embora seja pouco solúvel em água, pode dar origem a íons que são perigosos mesmo em baixa concentração. Segue a dissociação do cromato de prata em água.



O íon cromato ( $CrO_4^{2-}$ ) contém o cromo no estado de oxidação +6, conhecido também como cromo hexavalente, que é carcinogênico. O cromo hexavalente ganhou notoriedade no final do século passado quando a multinacional PG&E foi condenada a pagar milhões de indenização a diversas famílias que consumiram água contaminada por ele (PELLERIN; BOOKER, 2000).

Levando isso em consideração, deu-se a elaboração da Tabela 08.

Em posse dessa classificação, se faz importante que os usuários do laboratório, além dos responsáveis pelo mesmo, adotem uma atitude de preservação ambiental. A Figura 06 traz um modelo de uma ficha de identificação de resíduo químico, a ser preenchida após cada atividade realizada no laboratório, seja em aulas ou pesquisas, visando então um controle melhor dos resíduos ali gerados.

A partir do levantamento e da classificação podem ser discutidas quais as melhores opções para o tratamento dos resíduos que o requeiram dentro das possibilidades da instituição.

Tabela 08 – Classificação dos resíduos levantados

<b>Ácidos</b>	Ácido sulfúrico, Ácido nítrico
<b>Bases</b>	Hidróxido de cobre (II)
<b>Oxidantes</b>	Cromato de prata, Cloreto de prata, Nitrato de ferro (II), Nitrato de cobre (II), Óxido de chumbo (II), Nitrato de amônio, Nitrato de potássio, Hipoclorito (contido na água sanitária), Ácido nítrico
<b>Redutores</b>	Sulfato de ferro (II), Iodeto de potássio
<b>Metais sólidos</b>	Ferro, Cobre
<b>Metais em solução</b>	$Ag^+$ , $CrO_4^{2-}$ , $Pb^{2+}$
<b>Hidrolisáveis</b>	Acetato de sódio, Cloreto de ferro (III), Cloreto de magnésio,
<b>Solventes não halogenados</b>	Álcool etílico
<b>Solventes halogenados</b>	Clorofórmio
<b>Outros sais</b>	Cloreto de sódio, Sulfato de potássio, Sulfato de sódio, Iodeto de potássio
<b>Misturas</b>	Molho de tomate clarificado, Mistura de amido e iodo

Fonte: Acervo do autor

<b>FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUO QUÍMICO</b>	
Preencha uma ficha para cada frasco contendo resíduos químicos e prenda-a ao frasco	
Resíduos compatíveis devem ser misturados, sempre que possível, em um só frasco.	
Responsável: _____	
Telefone: _____	
E-mail: _____	
Data do preenchimento da ficha ____/____/____	
Identifique a classe do resíduo químico segundo a legenda abaixo [ ]	
<small>{1} ácido; {2} base; {3} oxidante; {4} redutor; {5} contém metais em solução; {6} contém metais pesados em solução; {7} sais hidrolisáveis; {8} solventes halogenados; {9} solventes não halogenados; {10} reage violentamente com a água; {11} radioativo; {12} outros sais; {13} material biológico infeccioso; {14} mistura</small>	
Nome da substância:	_____
Quantidade (mL, g):	_____ Observação: _____
_____	
Nome da substância:	_____
Quantidade (mL, g):	_____ Observação: _____
_____	
Nome da substância:	_____
Quantidade (mL, g):	_____ Observação: _____
_____	

Figura 06 – Ficha de identificação de resíduos químicos

Fonte: acervo do autor.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se deste estudo que, conforme referido anteriormente, os resíduos, materiais sem utilidade, ou sem utilidade conhecida, para o seu detentor possuem potencial poluidor que não pode ser ignorado. O mesmo se dá com os resíduos gerados por laboratórios de química de instituições de ensino.

O respeito e a responsabilidade ambiental são valores que devem ser inculcados em todos os cidadãos e essa é uma das responsabilidades das instituições de ensino sérias. Se a instituição conseguir fazer isso com sucesso, seus discentes, docentes, técnicos e colaboradores certamente trabalharão em uníssono nesse sentido.

O objetivo do trabalho foi alcançado. Os resíduos gerados pelo laboratório de química foram levantados e classificados. Em posse dos dados levantados é possível dar os primeiros passos para a implantação de um programa de gerenciamento de resíduos, que garantirá a destinação correta dos mesmos.

As considerações finais deste trabalho não têm a pretensão de dar por encerradas as discussões com respeito a um tema tão abrangente quanto o proposto. Espera-se, no entanto, que possam ser usadas como referências para educadores, técnicos de laboratórios e alunos que venham a se interessar pelo assunto.

Como trabalhos futuros podem ainda ser realizados os tratamentos dos resíduos gerados, podendo fazê-los segundo a periculosidade, segundo as diferentes classes ou seguindo algum outro critério. Podem ser feitas também outras classificações, quanto à periculosidade, conforme a ABNT, ou ainda a criação de diamantes de Hommel, ou diamante do perigo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 10004. Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALBERGUINI, L. B. A.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. **Laboratório de Resíduos Químicos do campus USP - São Carlos** – Resultados da experiência pioneira em Gestão e Gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário. Química Nova, 26 (2), 291-295, 2003.
- ALBERGUINI, L.; SILVA, L.; REZENDE, M. **Tratamento de Resíduos Químicos: Guia Prático para a Solução dos Resíduos Químicos em Instituições de Ensino Superior**. São Carlos: Rima, 2005.
- ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 1999.
- ARMOUR, M. A. **Hazardous laboratory chemicals disposal guide**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- ASSUNÇÃO, J. V. Poluição Atmosférica. In: CASTELLANO, E. G., ed. **Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias**. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. p. 271 - 308.
- AZEVEDO, E. B. **Poluição vs. Tratamento da água: duas faces da mesma moeda**. Química Nova na Escola, n. 10, p. 21-25, 1999.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BRASIL, Política Nacional do Meio Ambiente. Lei n.º 6.938 de 31 de agosto de 1981.
- CAPITANI, E. M. **Metabolismo e toxicidade do chumbo na criança e no adulto**. Medicina (Ribeirão Preto. Online), Brasil, v. 42, n. 3, p. 278-286, set. 2009. ISSN 2176-7262. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/221>>. Acesso em: 25 Jul. 2015
- CARDOSO, S. P; COLINVAUX, D. **Explorando a Motivação para Estudar Química**, Química Nova. Ijuí: Unijuí, v.23, n.3, 2000.
- CHASSOT, A. **A Educação no Ensino de Química**. Ijuí: Unijuí, 1990.
- CAMPELLO, L. G. B. **O problema da desertificação**. Revista de Direito Ambiental, ano 12, nº 45, jan.mar/2007, p. 129-166.
- CEFET, ARAXÁ, MG. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.araxa.cefetmg.br/site/sobre/historico.html>>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 3, de 5 de agosto de 1993**. Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html>>. Acessado em: 05 de junho de 2015.

CUNHA, C.J. **O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Depto de Química da UFPR**. Química Nova, v.24, n. 3, São Paulo, 2001, p.424-427.

CURI, L. M. **História do Ensino Superior em Araxá: 1965 a 1975**. Evidência (Araxá), v. 6, p. 15-42, 2010.

FIGUERÊDO, D. V. **Manual para Gestão de Resíduos Químicos Perigosos de Instituições de Ensino e Pesquisa**. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química de Minas Gerais 2006.

FLEAGLE, R. G.; BUSINGER, J. A. **An introduction to atmospheric physics**. Nova York: Academic Press, 1963. 346p. (International Geophysics Series, 5)

GIRARD, J. E. **Princípios de Química Ambiental**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GODISH, T. **Air quality**. 2. ed. Chelsea, Lewis, 1991.

GOMES, M.R.; ROGERO, M.M.; TIRAPÉGUI, J. **Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico**. Rev Bras Med Esporte, v.11, n.5, p.262-266, 2005.

GOMES, R. **Os resíduos e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.centrovegetariano.org/Article-195-Os-Res-duos-e-o-Ambiente.html>>. Acessado em: 05 de junho de 2015.

JARDIM, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa**. Química Nova, 21 (5), 671-673, 1998.

\_\_\_\_\_. **Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa**. [Editorial]. Quím. Nova vol.28, no.1, São Paulo Jan./Feb. 2005

LIU, D. H. F.; LIPTAK, B. G. **Environmental engineer's handbook**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

LIMA, S. S. **Tempestades geomagnéticas: origens e consequências**. Monografia, UECE, Ceará, 2012.

LINACRE, E.; HOBBS, J. **The Australian climate environment**. New York: John Wiley, 1977. 354p.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 10. ed. São Paulo: Ed. Malheiros, 1048 p. 2002.

\_\_\_\_\_. Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J. V. M. **Política Nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri, SP: Manole. 2012. p. 38-56.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MINAS GERAIS, **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. Lei Estadual.

MEYER, B.; ANDERSON, D.; BOHNING, R. Introdução a fisiologia vegetal. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1970. 463 p.

NASS, D.P. **O conceito de Poluição**. *Revista Eletrônica de Ciências*. São Carlos: Universidade de São Paulo/Instituto de Química. n. 13. 2002. Disponível em: < [http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_13/poluicao.html](http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html)>. Acessado em 18 de julho de 2015.

OLIVEIRA, D. A. **Evolução da Legislação Ambiental Brasileira: Do Império à República**. Disponível em: <<http://drdao.jusbrasil.com.br/artigos/114762320/evolucao-da-legislacao-ambiental-brasileira>>. Acessado em 05 de junho de 2015.

PELLERIN C., BOOKER S.M. **Reflections on hexavalent chromium: health hazards of an industrial heavyweight**. *Environmental Health Perspect*. 2000;108: A402–A407

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica para alunos dos cursos de graduação e pós graduação**. São Paulo: Edições Loyola, 2002. 139 p.

ROSA, A. H. ; FRACETO, L.F. ; CARLOS, V. M. . **Meio ambiente e sustentabilidade**. 1. ed. Porto Alegre-RS: Editora Bookman, 2012. 412 p.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Tese (Doutorado) - Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciência e Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, 2003.

SINGER, P. MASON, J. **A Ética da Alimentação: como nossos hábitos alimentares influenciam o meio ambiente e o nosso bem-estar**. São Paulo: Elsevier, 2006.

SOUZA, R. A. et al. **Tratamento de resíduos gerados na síntese de polianilina em escala pré-piloto**. *Química Nova*, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 938-942, nov.dez. 2003.

SNYDER, C.H. **The extraordinary chemistry of ordinary things**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1995.

TAVARES, G. A. **Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP**. 2004. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências, Área de Concentração:

Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. b

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2<sup>a</sup> ed. New York: McGraw Hill, 2002.

**Te interessa saber**. Disponível em: <<http://www.teinteresasaber.com/2011/05/las-capas-de-la-atmosfera.html>>. Acessado em 15 de julho de 2015.

TREVISAN, T.S.; MARTINS, P.L.O. **O professor de Química e as aulas práticas**. In: Congresso Nacional de Educação, VII, 2008, Curitiba, Anais, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Editora Champagnat, Curitiba, 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife: Versão digital 2, 2006. 516 p.

WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos da Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

WORLD BANK. **Environmental considerations for the industrial development sector**. Washington, D.C., 1978.

ZAVARIZ, C.; GLINA, D. M. R. **Efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria de lâmpadas elétricas localizada em Santo Amaro**, São Paulo, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 117-129, abr./jun. 1993. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v9n2/02.pdf>>. Acessado em 09 de julho de 2015.

## ANEXO A

### CARTA DE NITERÓI

O cenário ambiental tem servido como painel de fundo para as discussões que visam minimizar os riscos e criar condições para o desenvolvimento de processos de gestão sustentáveis dos Campi Universitários.

Vários eventos, de âmbito nacional e internacional, têm abordado de forma consistente a temática, e dentro deste contexto inserem-se os Encontros Nacionais de Segurança em Química (ENSEQUI).

Por ocasião do 3º ENSEQUI, realizado na Universidade Federal Fluminense (UFF), em Niterói, RJ, foram discutidos os aspectos mais relevantes relacionados ao gerenciamento de resíduos químicos e ao atendimento das exigências da legislação ambiental e de segurança vigentes.

Nesta terceira edição do evento foi organizada uma reunião em que foram convidados os Pró-Reitores das Instituições de Ensino e Pesquisa de todo o país. Esta reunião teve como objetivo propor ações que visassem disseminar a cultura e a prática do gerenciamento dos resíduos perigosos principalmente oriundos das atividades de ensino e pesquisa.

As Instituições presentes e signatárias deste documento reconhecem a importância e relevância do tema, mas enfrentam problemas de ordem orçamentária para a implementação de programas na área de gerenciamento de resíduos perigosos e, em âmbito mais geral, da gestão ambiental.

Assim, para transpor dificuldades orçamentárias, de modo que as Instituições de Ensino possam colocar em prática ações que minimizem o impacto ambiental e o risco aos envolvidos nas suas atividades de ensino e pesquisa e, para que sejam formados profissionais com a consciência da necessidade de atenção a resíduos que tragam riscos a indivíduos ou ao ambiente, sugere-se as seguintes ações aos órgãos de financiamento e regulamentação do ensino e pesquisa no país:

- que sejam alocados fundos e lançados editais específicos para Gestão Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Perigosos nas Instituições de Ensino e Pesquisa. Entendem-se como resíduos perigosos, os resíduos químicos, biológicos e radioativos gerados nas atividades de ensino e pesquisa;
- que se crie um grupo de trabalho de especialistas para propor Normas de Segurança em Química para as Instituições de Ensino e Pesquisa;
- que se crie um grupo de trabalho de especialistas para estruturar o gerenciamento dos resíduos perigosos visando o futuro Licenciamento Ambiental nas Instituições de Ensino e Pesquisa e
- que se inclua como critério de qualidade para fins de avaliação por parte do MEC e da CAPES, a existência, ou projeto em implantação, de programa de gestão de resíduos perigosos em cursos de graduação e pós-graduação das Instituições de ensino e pesquisa.

Annelise E. Gerbase — IQ/UFRGS  
Fernando S. Coelho — IQ/UNICAMP  
Patrícia F. L. Machado — IQ/UFF  
Vitor F. Ferreira — Editor de QN