



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DÉBORA SCHRAMM BEZERRA

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS
QUÍMICOS NO LABORATÓRIO DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA UFC**

FORTALEZA

2014

DÉBORA SCHRAMM BEZERRA

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS
NO LABORATÓRIO DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA UFC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Bárbara de Araújo Nunes.

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Simone da Silveira Sá Borges.

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

B469i Bezerra, Débora Schramm.

Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos químicos no laboratório de saneamento ambiental da UFC / Débora Schramm Bezerra. – 2014.

141 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2014.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

Coorientação: Profa. Dra. Simone da Silveira Sá Borges.

1. Saneamento. 2. Gerenciamento de resíduos. 3. Gestão Ambiental. I. Título.

DÉBORA SCHRAMM BEZERRA

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS
NO LABORATÓRIO DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA UFC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Bárbara de Araújo Nunes.

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Simone da Silveira Sá Borges.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Simone da Silveira Sá Borges (Co-orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. André Bezerra dos Santos

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a vida, por me fazer forte para superar os desafios e os obstáculos da vida, por sempre me acompanhar, proteger e por me amar incondicionalmente.

Ao meu marido, Thiago Pinto da Silva, por ser a minha paz, pela compreensão, por todo amor e companheirismo, por ser meu ponto de sossego, por ser meu estímulo durante as dificuldades e me fazer acreditar sempre.

Ao meu pai, Francisco Edmar Chagas Bezerra, por ser meu amigo e meu professor, por sempre me apoiar e incentivar, por acreditar na minha capacidade, por todo o seu esforço para nos dar o melhor e por todo o amor dedicado. Minha gratidão eterna.

À minha mãe, Sofia Helena Schramm Bezerra, por todo o amor e carinho, por todo apoio, incentivo e força em todos os momentos da minha vida. Minha gratidão eterna.

Aos meus irmãos, Daniele Schramm e Edmar Schramm, por toda a nossa cumplicidade, amizade, amor, apoio e incentivo ao longo das nossas vidas.

As minhas avós, Francisca das Chagas Peixe Schramm e Tereza Neuma Chagas Bezerra, por todo amor, carinho e pelas orações.

À minha cunhada, Sueyne Schramm, pelo seu amor, cumplicidade, amizade, apoio e incentivo, pelas palavras sábias nos momentos de dificuldades e pelas suas orações poderosas.

Aos meus amigos, por todo amor e companheirismo, pela amizade incondicional e pelos momentos de alegria e descontração.

À minha orientadora, Prof.^a Ana Bárbara, pelo seu compromisso, compreensão, paciência, apoio e dedicação ao me orientar.

À minha co-orientadora, Prof.^a Simone Borges, pela atenção e disponibilidade, pelos aprendizados, conselhos e motivação, pela dedicação, paciência e amizade.

Às bolsistas Sofia e Isabela, pelo apoio e dedicação.

Aos Laboratórios de Raios-X e de Análises de Traços, pela realização das análises.

À todos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado com sucesso.

RESUMO

Apesar das Instituições de Ensino e Pesquisa possuírem um papel fundamental na formação de seus profissionais, a falta de fiscalização e de visão, juntamente com o descarte inadequado dos resíduos químicos, levaram muitos laboratórios e, conseqüentemente, muitas universidades, a poluir o meio ambiente, promover o desperdício de material e realizar o mau gerenciamento dos seus resíduos químicos passivos e ativos. Dentro desse contexto, este trabalho objetiva propor um sistema de gerenciamento dos resíduos químicos gerados no Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, com enfoque nas ações preventivas de minimização dos resíduos, seguido do seu tratamento. Para isso, a metodologia constituiu-se inicialmente da realização do inventário dos resíduos químicos passivos seguido da caracterização dos reagentes não identificados, os quais são passíveis de reaproveitamento. Com base na aplicação de um questionário, foi possível conhecer as principais análises geradoras de resíduos químicos ativos e a situação de como esses materiais residuais eram tratados no laboratório. Esses resíduos foram analisados quanto à presença de metais pesados, tendo apresentado o metal cobre nos resíduos provenientes da análise de NTK e prata, mercúrio e cromo hexavalente nos resíduos da análise de DQO. Assim, foram propostos tratamentos para cada metal, os quais foram quantificados utilizando as técnicas de fluorescência de raios-X e espectroscopia de absorção atômica de chama. Conseguiu-se a caracterização de 85,714% dos reagentes não identificados e com isso a reutilização de 58,125% dos resíduos químicos passivos do Labosan. Através da técnica de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS), o resíduo da análise de NTK apresentou remoção de 100% do cobre presente, enquanto que o resíduo da análise de DQO apresentou remoção de 99,984% da prata e de 99,975% do cromo. Assim, foi observado que os sobrenadantes finais dos tratamentos do cromo e do cobre apresentaram resultados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Através da técnica de fluorescência de raios-X (FRX), verificou-se que os sólidos precipitados dos metais pesados apresentaram elevadas purezas, como é o caso da prata que apresentou pureza de 99,223% e do mercúrio que apresentou pureza de 93,540%. Assim, o estudo corrobora com a necessidade de investigar mais profundamente todos os resíduos gerados no Labosan, como também com a implantação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos na UFC.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos. Resíduos químicos.

ABSTRACT

Although the Teaching and Research Institutions possess a fundamental role in the formation of its professionals, the lack of inspection and vision, along with the inadequate disposal of chemical waste, have led to many laboratories, and, consequently, many universities, to pollute the environment, to promote the material waste and to perform the mismanagement of its active and passive chemical wastes. Within this context, this work aims to propose a system for managing the chemical waste generated in the Laboratory of Environmental Sanitation of the Hydraulic and Environmental Sanitation Department at the Federal University of Ceará, with focus on preventive actions to minimize waste, followed by its treatment. For that, the methodology was initially based upon making an inventory of the passive chemical waste followed by the characterization of the unidentified reagents, which are amenable to reuse. Based on a questionnaire, it was possible to know the main analysis generating active chemical waste and the situation on how those waste materials were treated on the lab. These residuals were analysed for the presence of heavy metal, having presented the metal copper in the residuals from the Kieldahl analysis and silver, mercury and hexavalent chrome in the residuals of the COD analysis. That way, treatments for each metal were proposed, which were quantified using the X-ray fluorescence techniques and flame atomic absorption spectrometry (FAAS). Failed to characterize 85.714% of unidentified reagents and reuse of 58,125% of the Labosan passive chemical waste. Through the technique of atomic absorption spectroscopy flame (FAAS), the residual from the Kieldahl analysis show removal of 100% for the present copper, whilst the COD analysis' residual showed removals of 99,984% for silver and 99,975% for chrome. That way, it was observed that the final supernatants of the treatments for chrome and copper presented results within the limits established by the CONAMA Resolution number 430/2011. Through the X-ray fluorescence technique (XFT), it was found that the precipitated solids from the heavy metals showed high purities, as for the silver case, which presented 99,223% purity, and the mercury, which presented 93,540% purity. Thus, the study supports with the necessity of investigating further all the residuals generated at Labosan, as well the implementation of a Chemical Waste Management Programme at Federal University of Ceará.

Key-words: Waste Management. Chemical Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processo de classificação de resíduos.	24
Figura 2 - Fontes geradoras de resíduos químicos perigosos nas universidades.	26
Figura 3 - Hierarquia do gerenciamento de materiais residuais perigosos.	35
Figura 4 - Principais métodos de tratamento de resíduos.	39
Figura 5 - Riscos possíveis decorrentes da exposição a produtos químicos.	50
Figura 6 - Fichas de identificação de resíduos químicos - UFPR.	55
Figura 7 - Diamante do Perigo para rotulagem de reagentes químicos.	60
Figura 8 - Fluxograma dos procedimentos utilizados para a implantação do PGRQ pelo LRQ-São Carlos.	63
Figura 9 - Etapas do desenvolvimento da pesquisa.	64
Figura 10 - Rótulo para identificação dos resíduos químicos.	69
Figura 11 - 1º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	73
Figura 12 - 2º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	77
Figura 13 - 3º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	79
Figura 14 - 4º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	81
Figura 15 - 5º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	84

Figura 16 - 6º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.	86
Figura 17 - Preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 01.	88
Figura 18 - Preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 02.	90
Figura 19 - Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) presente nos resíduos das análises de DQO.	93
Figura 20 - Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) seguido do tratamento do cromo (Cr^{6+}).	96
Figura 21 - Tratamento do metal pesado cobre	98
Figura 22 - Equipamento utilizado na absorção atômica (GBC 933 plus Atomic Absorption Spectrometer).....	99
Figura 23 - Reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan.	102
Figura 24 - Reagentes desconhecidos do Labosan.	105
Figura 25 - Reagentes desconhecidos após a identificação com rótulos.	105
Figura 26 - Análises realizadas no Labosan x Nº de usuários que realizam a análise.	106
Figura 27 - Resíduos químicos ativos rotulados adequadamente.	107
Figura 28 - Prata metálica (Ag^0).	108
Figura 29 - Gráfico da análise de absorção atômica da prata nos resíduos de DQO.	110
Figura 30 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (reagentes analíticos).	112
Figura 31 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 01). ...	113
Figura 32 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 02). ...	114
Figura 33 - Sulfeto de mercúrio (HgS).	116

Figura 34 – Composição percentual do sulfeto de mercúrio (HgS) de acordo com a análise de FRX.....	117
Figura 35 - Hidróxido de cromo (Cr(OH) ₃).	119
Figura 36 - Composição percentual do hidróxido de cromo (Cr(OH) ₃) de acordo com a análise de FRX.	119
Figura 37 - Gráfico da análise de absorção atômica do cromo nos resíduos de DQO.	120
Figura 38 - Hidróxido de cobre (Cu(OH) ₂).	122
Figura 39 - Gráfico da análise de absorção atômica do cobre nos resíduos de DQO.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento das doações de reagentes químicos vencidos e/ou não utilizados do Labosan.	103
Tabela 2 - Resultados da análise qualitativa (metais pesados) e de pH dos resíduos químicos ativos do Labosan.	107
Tabela 3 – Resultado da análise de FRX para a prata metálica (Ag ⁰) recuperada nos diferentes tratamentos executados.	109
Tabela 4 - Resultados da concentração de prata presente nos líquidos remanescentes após os seis tratamentos desse metal pesado - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).	110
Tabela 5 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (reagentes analíticos).	113
Tabela 6 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 01).	114
Tabela 7 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 02).	115
Tabela 8 - Resultados da concentração de cromo presente nos líquidos remanescentes após as três reações de tratamento desse metal - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).	121
Tabela 9 - Resultados da concentração de cobre presente nos líquidos remanescentes após o tratamento desse metal pesado - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CIPA	Comissões Internas de Prevenção de Acidentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEHA	Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
DQAFQ	Departamento de Química Analítica e Físico-Química
FAAS	Espectroscopia de absorção atômica de chama
FRX	Fluorescência de Raios-X
Labosan	Laboratório de Saneamento Ambiental
LRQ – São Carlos	Laboratório de Resíduos Químicos do Campus de São Carlos
PCMSO	Programa de Controle Médico da Saúde Ocupacional
PGRQ	Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PPRA	Programa dos Riscos Ambientais
PROGERE	Programa de Gerenciamento de Resíduos
SESMT	Serviços em Segurança e Medicina do Trabalho
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSCar	Universidade de São Carlos
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Geração de resíduos	18
3.1.1	<i>Resíduos Sólidos</i>	19
3.1.2	<i>Classificação dos resíduos</i>	20
3.2	Resíduos Químicos	25
3.2.1	<i>Resíduos químicos não identificados</i>	27
3.3	Gerenciamento e gestão de resíduos	29
3.4	Hierarquia da gestão	33
3.4.1	<i>Minimização de resíduos</i>	35
3.4.2	<i>Tratamento de materiais residuais perigosos</i>	38
3.4.2.1	<i>Tratamento químico</i>	40
3.4.2.2	<i>Tratamento físico</i>	41
3.4.2.3	<i>Tratamento térmico</i>	41
3.4.2.4	<i>Disposição no solo</i>	42
3.5	Legislação ambiental	44
3.5.1	<i>Política Nacional dos resíduos sólidos</i>	47
3.6	Segurança e saúde no ambiente dos laboratórios	49
3.7	Exemplos de gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa	53

3.7.1	<i>Gerenciamento de resíduos químicos no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR)</i>	53
3.7.2	<i>Gerenciamento de resíduos químicos no Laboratório de Resíduos Químicos da Universidade de São Paulo (USP) – Campus I São Carlos</i>	57
4	MATERIAL E MÉTODOS	64
4.1	Inventário dos resíduos químicos passivos	65
4.1.1	<i>Doação dos reagentes vencidos e/ou não utilizados no Labosan/UFC</i>	65
4.1.2	<i>Análise qualitativa dos reagentes não identificados</i>	66
4.2	Questionário	66
4.2.1	<i>Tratamento dos dados</i>	68
4.2.2	<i>Recolhimento e rotulagem dos resíduos gerados nas análises</i>	68
4.2.3	<i>Análise qualitativa dos resíduos químicos ativos</i>	69
4.3	Tratamento dos resíduos gerados nas análises de DQO	70
4.3.1	<i>Tratamento e recuperação da prata</i>	70
4.3.1.1	<i>1º Tratamento e recuperação da prata</i>	71
4.3.1.2	<i>2º, 3º e 4º Tratamento e recuperação da prata</i>	74
4.3.1.3	<i>5º e 6º Tratamento e recuperação da prata</i>	82
4.3.2	<i>Reciclagem da prata tratada</i>	87
4.3.3	<i>Tratamento do mercúrio e do cromo hexavalente</i>	91
4.4	Tratamento dos resíduos gerados nas análises de NTK	97
4.5	Tratamento dos demais resíduos químicos ativos	98
4.6	Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS)	99
4.7	Análise de fluorescência de raios-X (FRX)	100
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
5.1	Resíduos químicos passivos	101
5.1.1	<i>Reagentes não identificados</i>	104

5.2	Resíduos químicos ativos	106
5.3	Tratamento dos resíduos gerados nas análises de DQO	108
5.3.1	<i>Tratamento e recuperação da prata</i>	108
5.3.2	<i>Reciclagem da prata tratada</i>	111
5.3.3	<i>Tratamento do mercúrio e do cromo hexavalente</i>	116
5.4	Tratamento dos resíduos gerados nas análises de NTK	122
5.5	Questionário	125
6	CONCLUSÃO	127
	REFERÊNCIAS	129
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO	136
	APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DO MERCÚRIO SEGUIDO DO TRATAMENTO DO CROMO	141
	ANEXO A - FORMULÁRIO DE INVENTÁRIO DE REAGENTES	142

1 INTRODUÇÃO

No decorrer do processo civilizatório, verifica-se um crescimento acelerado da população humana, sendo que os diversos resíduos gerados como subprodutos de suas atividades, transcendem a capacidade de resiliência do meio ambiente, gerando desequilíbrios em seus ciclos originais. A grande geração de elementos artificiais em altas concentrações, e muitos deles tóxicos e nocivos à vida na biosfera, são depositados a todo o momento em regiões em que o seu subsistema gira em torno da própria dinâmica da natureza. Este fluxo de deposição dos rejeitos acaba voltando ao ciclo de vida dos seres humanos sob formas de poluição, radiação, contaminação, chuva ácida, entre outras (FIGUEIREDO, 1995).

Penatti (2008) afirma que no Brasil são gerados milhares de toneladas de resíduos diariamente, porém, esses mesmos resíduos não são percebidos como uma significativa preocupação ambiental pela nossa sociedade. Esta problemática quase sempre é evitada até o momento em que acarretam ameaças, iniquidades e conflitos ambientais mais graves às pessoas que estão diretamente ligadas a esses contextos, tais como as populações que habitam o entorno de áreas degradadas, onde a deposição de resíduos se apresenta potencial e efetivamente com altos níveis de poluição e contaminação (PENATTI, 2008).

Os resíduos, em geral, são rejeitos determinados pelo homem que não podem fluir diretamente para os rios, solo e ar. Para se retratar diretamente o problema dos resíduos químicos especificamente, deve-se considerar a Química como uma das ciências que mais trouxe benefícios para a sociedade. Entretanto, um dos questionamentos mais graves relacionados ao uso inadequado da Química refere-se aos danos e riscos ambientais causados pela geração de resíduos. Os resíduos químicos compreendem uma infinidade de compostos gerados nas mais variadas atividades industriais e laboratoriais do ramo. Os resíduos laboratoriais merecem uma preocupação especial devido à complexidade dos seus compostos, e principalmente por apresentarem vários níveis de toxicidade (PENATTI, 2008).

A questão dos resíduos laboratoriais é um tema mundialmente discutido, principalmente nas universidades e centros de pesquisas de países desenvolvidos, onde nessas instituições os Programas de Gerenciamento de Resíduos (PGR) foram implantados a partir da década de 70. Os principais centros de pesquisas na área de química vêm estudando

alternativas para garantir a continuidade dos trabalhos, sem que para isso haja a necessidade de degradar o ambiente, ou seja, existe já há algum tempo a preocupação com o desenvolvimento sustentável (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

O gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa no Brasil começou a ser amplamente discutido nos anos de 1990, sendo de vital importância para as grandes instituições geradoras, incluindo as Universidades. A ausência de um órgão fiscalizador, a falta de visão e o descarte inadequado levaram muitas Universidades a poluir o meio ambiente, promover o desperdício de material e arcar com o mau gerenciamento dos produtos sintetizados ou manipulados. Houve realmente um tempo onde os resíduos eram descartados sem preocupação sequer com a segurança do aluno e com os impactos ambientais que essa ação poderia causar. Dentro desse contexto, diversas Instituições Federais, Estaduais e Particulares no Brasil vêm buscando gerenciar e tratar seus resíduos de forma a diminuir o impacto causado ao meio ambiente, criando também um novo hábito a fazer parte da consciência profissional e do senso crítico dos alunos, funcionários e professores. A implantação de um programa de gestão de resíduos exige antes de tudo mudança de atitudes e, por isto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer a reeducação e uma persistência contínuas (AFONSO, 2003).

De acordo com Gerbase (2005), para contornar essa situação, as legislações ambientais de todos os países do mundo, inclusive a do Brasil, vêm evoluindo e se adaptando às novas realidades, visando coibir severamente os abusos. Essas legislações vêm também incorporando novas exigências no monitoramento das emissões de compostos voláteis no ar e no lançamento de resíduos industriais no meio ambiente (GERBASE, 2005).

Assim, as universidades brasileiras, que realizam pesquisas nas áreas da Química e de ciências afins, não podem ficar alheias às drásticas mudanças estruturais que vêm ocorrendo na legislação ambiental do nosso país. Devemos estar conscientes de que os benefícios oriundos da nossa atividade científica e profissional (publicações, patentes, reconhecimento científico, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias) podem gerar, paralelamente, resíduos químicos de diversos graus de periculosidade, que podem necessitar de tratamento químico adequado, antes de serem enviados à disposição final (GERBASE, 2005).

Apesar de diversas ações isoladas, essa questão dos resíduos químicos precisa ser encarada coletivamente por toda a comunidade científica e pelos órgãos de fomento, dada sua relevância. O primeiro passo para enfrentar este desafio é assumir conscientemente a nossa responsabilidade para com os rejeitos gerados em nossos laboratórios e, depois, lutar pelo estabelecimento de uma política institucional de gerenciamento desses resíduos (GERBASE, 2005).

A principal regra a ser adotada para o gerenciamento dos resíduos é a da responsabilidade objetiva, isto é, quem gera o resíduo torna-se responsável pelo mesmo. A Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981, mais conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece que a responsabilidade objetiva dispensa a prova de culpa no caso de um possível dano ao ambiente, ou seja, para que um potencial poluidor seja penalizado, basta que se prove um nexo de causa e efeito entre a atividade desenvolvida por uma organização e um dano ambiental. Em resumo, significa que um resíduo poluidor, ainda que esteja sendo emitido em concentrações que respeitem os limites estabelecidos pela legislação vigente, poderá causar um dano ambiental, e sujeitar o causador do dano ao pagamento de uma indenização (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

A responsabilidade das instituições de ensino tem também outro aspecto que precisa ser considerado. Como formadores de recurso humano especializado, é necessário despertar a atenção dos alunos de graduação e pós-graduação para a questão dos resíduos químicos e lhes fornecer as ferramentas básicas, que lhes permitam exercer suas atividades profissionais de forma “limpa” (GERBASE, 2005). Felizmente, na atualidade, algumas das melhores e mais conceituadas instituições do país demonstram-se preocupadas com essa questão. No entanto, vale ressaltar que esse problema está longe de ser solucionado, contando a pequena quantidade de instituições que tomaram consciência do problema e adotaram práticas mais sustentáveis e seguras, enquanto muitas outras continuam gerando resíduos e agredindo o meio ambiente (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006). Portanto, essas instituições não devem esquecer que, além de formar profissionais, estão contribuindo para a formação de cidadãos compromissados (GERBASE, 2005).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor um sistema de gerenciamento dos resíduos químicos gerados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), com enfoque nas ações preventivas de minimização dos resíduos, seguido do seu tratamento.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar o inventário dos resíduos químicos passivos gerados no Labosan;
- Identificar as principais fontes geradoras de resíduos químicos ativos no interior do laboratório;
- Realizar a análise qualitativa dos resíduos químicos gerados no Labosan;
- Fazer a rotulagem adequada dos resíduos químicos gerados no laboratório;
- Realizar o reaproveitamento de materiais residuais;
- Desenvolver processos de tratamento de resíduos “in situ”, usando tecnologias de baixo custo e de fácil realização;
- Avaliar quantitativamente a concentração de metais pesados nos sólidos procedentes dos tratamentos dos resíduos através da técnica de fluorescência de raios-X (FRX);
- Avaliar quantitativamente a concentração de metais pesados nos líquidos procedentes dos tratamentos de resíduos através da técnica de espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS), verificando se os mesmos estão respeitando as concentrações permitidas pela legislação vigente (Resolução CONAMA nº 430/2011) para possível descarte no ponto gerador.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geração de resíduos

O modelo de crescimento e de desenvolvimento urbano, dependentes de inovações tecnológicas, provoca constantemente mudanças no estilo de vida e comportamento da sociedade, principalmente, com relação à produção e ao consumo de bens e serviços. Como consequência deste processo tem-se o consumo intensivo de recursos naturais, sobretudo de natureza fóssil, e a poluição generalizada do ambiente. Desta forma, o tempo necessário para a natureza absorver os impactos e repor o estoque de tais recursos não vem sendo respeitado, contribuindo assim com o agravamento das alterações ambientais que a Terra está passando, inclusive de natureza climática (MENDES, 2011).

Nesse sentido, o aumento do “lixo”, ou dos resíduos, gerados das atividades humanas, bem como a sua destinação final, necessitam de um tratamento adequado, através de seu gerenciamento pelas instituições públicas ou privadas, e que envolvem também o cidadão, enquanto consumidor e produtor de resíduos (MENDES, 2011).

Do ponto de vista conceitual, o termo “lixo” se refere aos restos oriundos das atividades da sociedade, sejam elas relacionadas à produção ou ao consumo, os quais são descartados no ambiente quando não há mais interesse de uso para quem os gerou (MENDES, 2011).

Figuerêdo (2006) prefere utilizar o termo material residual para abranger genericamente qualquer resíduo ou rejeito produzido por uma fonte poluidora. A autora define resíduo como tudo aquilo que é remanescente de algum processo, de algum fato, como aquele resíduo espesso formado na base do tubo de ensaio e os bens deixados em testamento. Resumindo, os resíduos podem ter um valor intrínseco ou um potencial de uso, para o próprio gerador ou não, com ou sem tratamento. Por outro lado, a autora define rejeito como um material residual remanescente de alguma apropriação, processo, ou atividade, porém, inservível, já que não apresenta possibilidade técnica ou econômica de uso, com ou sem tratamento, devendo ser tratado para descarte adequado no ambiente.

Figuerêdo (2006) afirma ainda que os termos materiais residuais e resíduos dependem da aplicação ou atividade, em abordagens amplas podem ser utilizados como sinônimos. Contudo, em situações onde está definido que o material residual não apresenta possibilidades de reaproveitamento e que deve ser descartado, o termo a ser aplicado é o de rejeito.

3.1.1 Resíduos Sólidos

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004a), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível.

Já considerando a Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), define-se resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, como também gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam soluções técnica ou economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível.

3.1.2 Classificação dos resíduos

No Brasil, o processo para classificar um resíduo como perigoso, deve seguir o recomendado pela ABNT NBR 10.004/2004 e a consulta a seus oitos anexos, que apresentam, entre outros atos normativos, listagens de resíduos perigosos.

Segundo a NBR 10.004/2004, os resíduos são classificados em duas categorias:

- a) **resíduos classe I – Perigosos:** são aqueles resíduos que apresentam periculosidade, ou seja, podem apresentar por meio de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, risco à saúde pública, provocando mortes, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Além disso, são considerados resíduos perigosos, aqueles que apresentam uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ABNT, 2004a);
- b) **resíduos classe II - Não Perigosos:** são aqueles resíduos que não apresentam características de periculosidade. Os resíduos não perigosos são subdivididos em duas classes:
 - **resíduos classe IIA – não inertes:** são resíduos que não apresentam periculosidade, porém, não são inertes e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004a);
 - **resíduos classe IIB – inertes:** são resíduos que, submetidos ao teste de solubilização (NBR 10.006), não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água (ABNT, 2004a).

Segundo Figuerêdo (2006), o processo de classificação de um resíduo envolve a identificação do processo ou atividade que deu origem ao resíduo, a identificação dos constituintes do resíduo, a identificação das características perigosas do resíduo e a

comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Segundo a ABNT (2004a), um resíduo será classificado como Classe I – Perigoso quando se enquadrar em uma das duas categorias: ou é um resíduo listado ou é um resíduo característico. Resíduos listados são resíduos considerados perigosos, conforme listagens específicas do órgão oficial de cada país. Já resíduos característicos são resíduos considerados perigosos por apresentarem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, descritos a seguir:

a) são características de inflamabilidade:

- ser líquido e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;
- não ser líquido e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 1 atm, produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamado, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;
- ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;
- ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes) (ABNT, 2004a);

b) são características de corrosividade:

- 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;
- ser líquido ou, quando misturado em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55°C (ABNT, 2004a);

c) são características de reatividade:

- ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;
- reagir violentamente com a água;
- formar misturas potencialmente explosivas com a água;
- gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água;
- Possuir em sua constituição os íons CN^- ou S^{2-} em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de H_2S liberável por quilograma de resíduo, de acordo com ensaio estabelecido no USEPA - SW 846;
- Ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;
- Ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 1 atm;
- 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 este fim (ABNT, 2004a);

d) são características de toxicidade:

- Quando o extrato obtido da amostra do resíduo, submetido ao ensaio de lixiviação, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos padrões estabelecidos;
- Possuir uma ou mais substâncias que conferem periculosidade aos resíduos e apresentar toxicidade. Contudo, a simples presença de uma dessas substâncias no resíduo não implica, necessariamente, na sua classificação como tóxico. Para avaliação dessa toxicidade, devem ser considerados os seguintes fatores:
 - natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;
 - concentração do constituinte no resíduo;

- potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para migrar do resíduo para o ambiente, sob condições impróprias de manuseio;
 - persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;
 - potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade em que ocorre a degradação;
 - extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;
 - efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico, associados a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo;
- ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias tóxicas ou agudamente tóxicas;
 - resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias tóxicas ou agudamente tóxicas;
 - ser comprovadamente letal ao homem: possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem ou estudos do resíduo que demonstrem uma DL_{50} oral para ratos menor que 50 mg/kg ou CL_{50} inalação para ratos menor que 2 mg/L ou uma DL_{50} dérmica para coelhos menor que 200 mg/kg (ABNT, 2004a);

e) são características de patogenicidade:

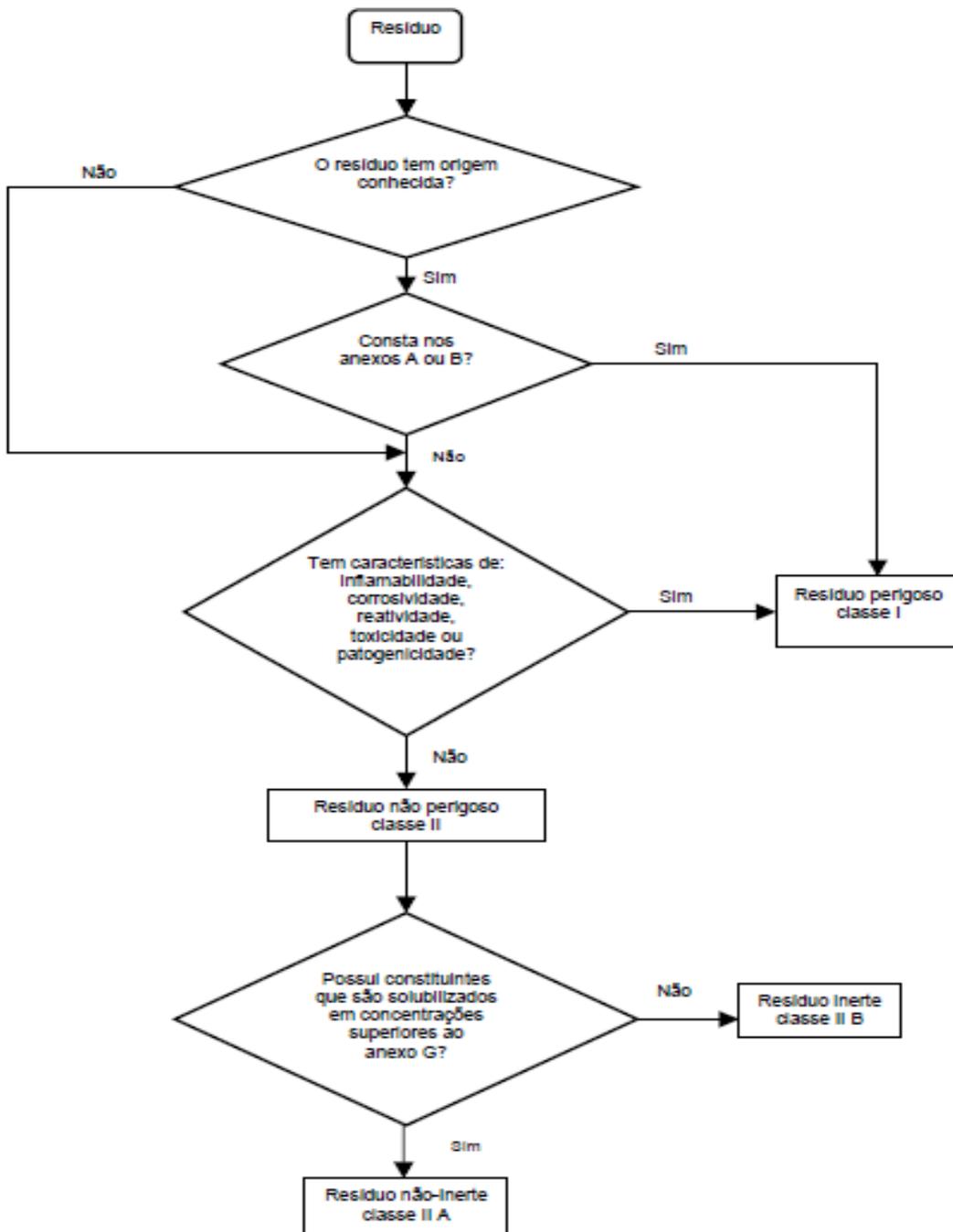
- se uma amostra representativa do resíduo, obtida segundo a ABNT NBR 10007, contiver ou haver suspeita de conter, microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxirribonucleico (ADN) ou ácido ribonucleico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídios, cloroplastos, 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, 2004a).

A figura 01 apresenta as etapas do processo de classificação de um resíduo segundo a NBR 10.004/2004.

Figura 1 - Fluxograma do processo de classificação de resíduos.



Fonte: ABNT, 2004a.

3.2 Resíduos Químicos

Os resíduos químicos enquadram-se na classificação de resíduos sólidos pela NBR 10.004/2004, que os classificam como perigosos devido as suas características de inflamabilidade, reatividade, corrosividade e/ou toxicidade. Os resíduos químicos apresentam riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma perigosa (ABNT, 2004a).

De acordo com CETESB (2014) resíduo químico pode ser definido como aquele resultante de atividades laboratoriais de estabelecimento de prestação de serviços de saúde, podendo ser: produtos químicos impróprios para uso (vencidos ou alterados), frascos ou embalagens de reagentes, sobras da preparação de reagentes e resíduos de limpeza de equipamentos e salas, excetuando-se resíduos farmacêuticos (medicamentos vencidos, contaminados, interditados ou não utilizados), drogas quimioterápicas e materiais contaminados pelas mesmas.

Manahan (2000) define resíduo perigoso como um material que pode colocar em perigo a vida de organismos vivos e também danificar estruturas físicas presentes no ambiente, por meio de reações de explosão, incêndio, corrosão, ou de toxicidade aos organismos ou outros efeitos deletérios.

De acordo com Baird (2011, p. 780), os resíduos perigosos “são substâncias que tem sido descartadas ou designadas como resíduos e que apresentam um perigo”.

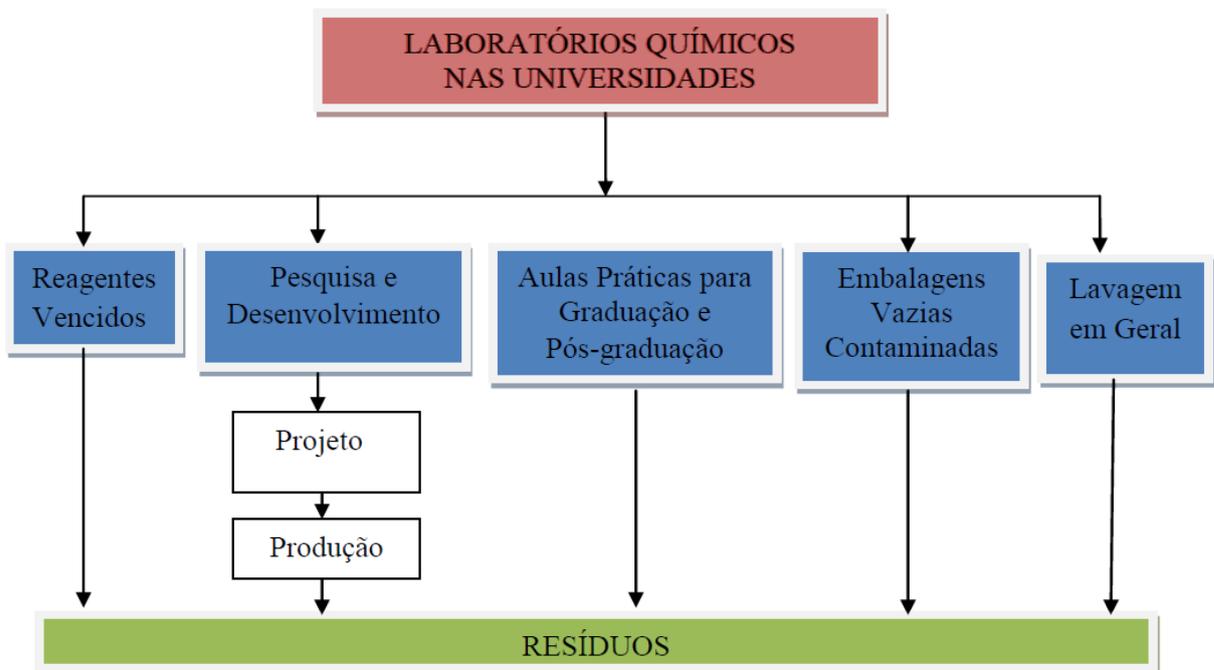
De acordo com a Resolução CONAMA nº5/1993 (BRASIL, 2014b), resíduo químico perigoso é definido como uma substância que ao ser descartada poderá apresentar efeitos tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos ou teratogênicos, sendo substancialmente perigosa para a saúde humana, ou para o meio ambiente, quando imprópriamente manipulada.

Segundo Brasil (2011), resíduos químicos podem ser definidos como todo material (substância ou mistura de substâncias) com potencial de causar danos a organismos vivos, materiais, estruturas ou ao meio ambiente, ou ainda que pode tornar-se perigoso por interação com outros materiais.

Um dos grandes problemas ecológicos no mundo de hoje é o lançamento ao meio ambiente de produtos químicos e/ou resíduos químicos perigosos de forma inadequada (COUTINHO, 2006). Dentre os diversos setores que produzem resíduos, como, por exemplo, indústrias, agricultura, repartições públicas e universidades, os três primeiros apresentam atividades rotineiras para o equacionamento do problema dos resíduos químicos, contudo, as universidades têm especificidades ímpares, pois a cada nova pesquisa, novos produtos são gerados e, conseqüentemente, os mais diversos tipos de resíduos são produzidos (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2003).

Segundo Alberguini, Silva e Rezende (2003), as universidades, faculdades e centros de formação de recursos humanos geram cerca de 1% dos resíduos perigosos. Ao contrário das unidades industriais, esses resíduos caracterizam-se por apresentarem pequeno volume e elevada diversidade (figura 02), o que dificulta a padronização das formas de tratamento e disposição adequada (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2003).

Figura 2 - Fontes geradoras de resíduos químicos perigosos nas universidades.



Fonte: LIMA, 2012.

Esses materiais residuais podem ser classificados como ativo ou passivo. Assim, ativo ambiental é o material residual que está sendo gerado em atividades correntes e sua acumulação e armazenamento ocorrem segundo procedimentos rotineiros e usuais determinados por um plano de gestão de substâncias químicas perigosas. Já passivo ambiental é o material residual que foi gerado, acumulado e armazenado em tempos passados, para o qual não se teve na época solução de tratamento e descarte adequado (FIGUERÊDO, 2006). O passivo inclui desde restos reacionais, passando por resíduos sólidos, até frascos de reagentes ainda lacrados, mas sem rótulos (JARDIM, 1998).

De acordo com Gerbase et al. (2005), esse problema atinge graves proporções e tem sido relegado a um plano secundário. Na maioria dos casos os resíduos são estocados de forma inadequada e ficam aguardando um destino final, isso quando são estocados. O autor acrescenta ainda que a cultura dominante é de descartá-los na pia do laboratório, já que a maioria das instituições públicas brasileiras de ensino e pesquisa não tem uma política institucional que permita um tratamento global do problema. Alberguini, Silva e Rezende (2003) afirmam que a ausência de tratamento e a incorreta disposição dos resíduos químicos levam à contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos, comprometendo também a saúde pública.

3.2.1 Resíduos químicos não identificados

Os materiais residuais passivos podem ser classificados como identificados, não identificados ou misturados/contaminados (LIMA, 2012). Produtos químicos sem identificação, de natureza desconhecida, estão presentes em todos os lugares onde se manuseiam produtos químicos e representam uma ameaça à saúde humana e ao ambiente (FIGUERÊDO, 2006).

É comum nos laboratórios de pesquisa (e em menor escala nos laboratórios voltados exclusivamente para o ensino), a existência de um estoque indesejável de resíduos químicos sólidos, líquidos e gasosos não caracterizados (JARDIM, 2002). As razões para sua formação, segundo Larson (1990), são:

- a) ausência de uma política institucional que exija a colocação de rótulos padronizados em todos os recipientes contendo substâncias químicas;
- b) substâncias são transferidas dos recipientes originais para outras embalagens, desprovidas de rótulos ou com rótulos precários, que não permitem a correta identificação e rastreabilidade da substância;
- c) locais de estocagem muito úmidos ou sujeitos à luz solar direta, condições que contribuem para a degeneração dos rótulos;
- d) falta de inspeção periódica nos almoxarifados e depósitos de materiais residuais visando a verificação de possíveis deteriorações ou descolamento de rótulos devido a respingos, vazamentos, derramamentos ou envelhecimento;
- e) pessoas que deixam a instituição não são instadas a identificar todos os recipientes antes de sua saída oficial (FIGUERÊDO, 2006).

De acordo com Jardim (1998), é muito comum encontrar frascos sem rótulos, mas que contêm reagentes caros, ainda íntegros, e cujo reuso depende apenas de testes analíticos relativamente simples.

Figuerêdo (2006) acrescenta que a identificação e caracterização de produtos desconhecidos visando seu reaproveitamento ou descarte seguro no ambiente é um processo que implica em riscos acentuados, além de demandar tempo, paciência, cuidado e recursos.

Uma vez identificado e caracterizado da melhor maneira possível, o passo seguinte é avaliar as possíveis maneiras de se aproveitar ao máximo este estoque, o qual muitas vezes é passível de reaproveitamento. Jardim (2002) aconselha considerar as seguintes opções para o reaproveitamento desse material:

- I. Avaliação econômica do passivo;
- II. Recuperação e reuso "in situ";
- III. Tratamento "in situ";
- IV. Tratamento fora da unidade;
- V. Destinação final (JARDIM, 2002).

A existência deste passivo também pode ser encarada sob um ângulo mais otimista, pois a grande maioria dos laboratórios que não enfrenta este tipo de problema é por que já se livrou deste estoque, geralmente, através de métodos de descartes cômodos, porém pouco ortodoxos e não recomendados (JARDIM, 2002).

Contudo, a existência deste tipo de resíduo é altamente problemática para qualquer Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ), visto que o tratamento

e a destinação final deste estoque é quase sempre de difícil solução, não apenas sob o aspecto técnico, mas também sob o aspecto econômico (JARDIM, 2002). Assim, este passivo se apresenta como o maior desafio dentro de um PGRQ, e por isso é importante que se destine à caracterização e destinação final deste passivo, recursos humanos e financeiros bem dosados, de tal modo a não comprometer o futuro do programa (JARDIM, 2002).

Cabe também lembrar que após a implementação do programa, com a rotulagem e identificação de todos os reagentes e resíduos sendo feita em rotina, o passivo tende a ser cada vez menor e de mais fácil manejo (JARDIM, 1998). Entretanto, não basta rotular, importa manter os frascos armazenados em locais apropriados e realizar checagens periódicas, para evitar que condições ambientais desfavoráveis deteriorem os rótulos, e efetuar, logo que possível, a troca de rótulos avariados (FIGUERÊDO, 2006).

3.3 Gerenciamento e gestão de resíduos

A ausência de um órgão fiscalizador, a falta de visão e o descarte inadequado levaram muitas universidades a poluir o meio ambiente, promover o desperdício de material e arcar com o mau gerenciamento dos produtos sintetizados e/ou manipulados (AFONSO et al., 2003). Assim, frente ao papel importante que as universidades desempenham na nossa sociedade, frente à importância ambiental que estes resíduos podem apresentar, e por uma questão de coerência de postura, as universidades não podem mais sustentar esta medida cômoda de simplesmente ignorar sua posição de geradora de resíduos, até porque esta atitude fere frontalmente o papel que a própria universidade desempenha quando avalia (e geralmente acusa) o impacto causado por outras unidades geradoras de resíduo fora dos seus limites físicos (JARDIM, 1998).

Dentro desse contexto, diversas instituições de ensino federais, estaduais e particulares no Brasil vêm buscando gerenciar e tratar seus resíduos de forma a diminuir o impacto causado ao meio ambiente, criando também um novo hábito a fazer parte da consciência profissional e do senso crítico dos alunos, funcionários e professores (AFONSO et al., 2003).

A implementação de um programa de gestão de resíduos dentro de qualquer unidade geradora é uma tarefa complexa e exige antes de tudo mudança de atitudes e, por isto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer a reeducação e uma persistência contínuas. Portanto, além da instituição, disposta a implementar e sustentar o programa, o aspecto humano é necessário e muito importante, pois o êxito depende da colaboração de todos os membros da unidade geradora (AFONSO et al., 2003).

Gerenciamento de resíduos é uma prática que consiste em controlar o potencial de impactos ambientais dos resíduos gerados de uma determinada atividade (ROCCA *et al.*, 1993). O gerenciamento de resíduos é considerado uma prática de Produção Mais Limpa (P+L) na medida em que estabelece formas de conter ou minimizar uma geração demasiada de resíduos, ou até mesmo de buscar alternativas para as suas destinações (PENATTI, 2008).

Desde a publicação da Agenda 21, formalizada na Conferência das Nações Unidas que tratou do tópico Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO-92, ocorrida na cidade do Rio de Janeiro – RJ, reconheceu-se em seu capítulo 20 que o controle dos resíduos perigosos desde a sua geração até a disposição final é de fundamental importância para saúde do ser humano, a proteção do meio ambiente, o manejo dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável. De acordo com o disposto na Agenda 21, o objetivo geral da gestão de materiais residuais perigosos é “impedir, tanto quanto possível e reduzir, ao mínimo, a produção de resíduos perigosos, e submeter esses materiais residuais a um manejo que impeça danos ao meio ambiente” (FIGUERÊDO, 2006).

Como objetivo específico, o gerenciamento busca garantir que todos os materiais residuais gerados por uma atividade produtiva sejam tratados de forma apropriada e segura, desde a sua geração até a disposição final, envolvendo as etapas de geração, segregação na fonte, caracterização, inventário, minimização, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final (FIGUERÊDO, 2006).

Assim, esses programas de gerenciamento de resíduos químicos devem contemplar os dois tipos de resíduos: o ativo (gerado continuamente nas atividades rotineiras na unidade geradora) e o passivo, que compreende todo aquele resíduo estocado, comumente não caracterizado, por exemplo, frascos sem rótulos (AFONSO et al., 2003).

O princípio básico do gerenciamento de resíduos é chamado de responsabilidade objetiva, ou seja, o gerador do resíduo torna-se responsável pelo mesmo. A lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, mais conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece que a responsabilidade objetiva dispensa a prova de culpa no caso de um possível dano ao ambiente, ou seja, para que um potencial poluidor seja penalizado, basta que se prove um nexo de causa e efeito entre a atividade desenvolvida por uma organização e um dano ambiental. Com isso, um resíduo poluidor, ainda que esteja sendo emitido em concentrações que respeitem os limites estabelecidos pela legislação vigente, poderá causar um dano ambiental, e sujeitar o causador do dano ao pagamento de uma indenização, ou também um dano indireto e desde que seja provada sua relação com a dada instituição, a mesma será responsabilizada (MACHADO, 2002).

A implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos (PGRQ) em laboratórios de ensino e pesquisa é relativamente recente em grande parte das instituições. De acordo com Bendassolli, Nolasco e Tavares (2006) várias instituições, a partir da década de 70, implantaram seus PGRQ, como a Universidade da Califórnia, a Universidade do Estado do Novo México, a Universidade de Winsconsin, a Universidade de Illinois e a Universidade de Minnesota (HENRIQUE, 2008).

No Brasil, a preocupação e as ações relativas à gestão de resíduos perigosos em instituições de ensino e centros de pesquisa iniciaram-se timidamente na década de 80, através da instalação de comissões de segurança, após a ocorrência de incêndios e contaminação de corpos d'água com metais pesados. Estas ações foram se estruturando com um perfil norteado para a gestão de resíduos perigosos, tendo crescimento em meados dos anos 90 (FIGUERÊDO, 2006). Importantes programas de gerenciamento de resíduos químicos ou soluções para disposição e tratamento mais adequados foram implantados ou estão em fase de implantação em diversas universidades do país, atendendo-as como um todo ou em parte (determinados departamentos, centros ou institutos) (HENRIQUE, 2008).

Existe uma tendência na nossa sociedade em considerar como impactante ao meio ambiente somente aquelas atividades que geram grandes quantidades de resíduos. Consequentemente, são estes grandes geradores que estão sempre sob a fiscalização das agências estaduais de proteção ambiental, sendo passíveis de punição pelo órgão competente. Pequenos geradores de resíduos, tais como instituições de ensino e de pesquisa, laboratórios

de análises bioquímicas e físico-químicas, normalmente são considerados pelos órgãos fiscalizadores como atividades não impactantes, e assim sendo, raramente fiscalizados quanto ao descarte de seus rejeitos químicos (JARDIM, 2002).

Sabendo do grande número de pequenos geradores de resíduos existentes na nossa sociedade, e que os resíduos por eles gerados são de natureza variada, incluindo metais pesados, solventes halogenados, radioisótopos e material infectante, a premissa de que estas atividades dispensam um programa eficiente de gerenciamento de resíduos não procede (JARDIM, 2002).

A falta de um programa de gestão na maioria das instituições de ensino e de pesquisa do País tem levado, com frequência, a um descarte irresponsável dos materiais residuais no ambiente (FIGUERÊDO, 2006). Os resíduos gerados por universidades e instituições de pesquisa são preocupantes, uma vez que no Brasil cerca de 80% dos esgotos não recebem qualquer tipo de tratamento e são despejados diretamente em mares, rios, lagos e mananciais, segundo a Associação Brasileira de Entidades do Meio Ambiente (ABEMA) (MICARONI, 2002).

O manuseio inadequado desses resíduos pode provocar sérios danos ao meio ambiente e à saúde de funcionários, professores e alunos que têm contato direto com esses resíduos, podendo ser extensivo à sociedade ao provocar contaminação do solo e recursos hídricos da região (VEIGA, 2010). Além disto, a variedade de substâncias mesmo em baixas concentrações, quando lançadas na rede de esgotamento sanitário, podem provocar corrosão das tubulações, problemas nas estações de tratamento, poluição de águas superficiais e subterrâneas, acumulação de substâncias tóxicas na cadeia orgânica e contaminações dos locais de trabalho (MENDES, 2011).

Todas essas peculiaridades ligadas às instituições de ensino e pesquisa mostram a necessidade de adoção de estratégias únicas de gestão por parte destas instituições. Para cumprir com suas responsabilidades sócio-econômicas, ambientais e éticas e, auferir inerentes benefícios, é essencial que estas instituições desenvolvam e implantem um programa permanente de gestão de produtos químicos e materiais residuais, com melhorias contínuas, tendo à frente a vontade política dos dirigentes da instituição e, na base, o corpo técnico devidamente conscientizado, motivado e treinado (FIGUERÊDO, 2006).

3.4 Hierarquia da gestão

A gestão de materiais residuais é o controle sistemático de todo o longo ciclo de vida da substância química. Portanto, nada mais procedente do que adotar uma hierarquia que privilegia a utilização racional dos próprios produtos químicos como forma de minimizar a geração dos resíduos e, ao mesmo tempo, aumentar a segurança química nos laboratórios (FIGUERÊDO, 2006).

É fundamental o conhecimento das características dos materiais residuais para se avaliar opções de tratamento, redução, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final. A etapa de caracterização inicial consiste na determinação qualitativa e quantitativa das propriedades físicas, químicas, biológicas e radiológicas dos resíduos gerados e na sua quantificação (volume e massa) (MENDES, 2011).

A prioridade num programa de gestão é utilizar a estratégia de **redução na fonte** que busca minimizar a própria geração dos resíduos, como parte de um enfoque mais amplo de mudança dos padrões de consumo, racionalização do uso de recursos naturais e substituição de processos poluidores por tecnologias limpas. Essa estratégia encontra ressonância com o novo caminho que está sendo traçado pela química, denominado de química sustentável ou química verde, ou seja, a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas (PRADO, 2003; SILVA et al., 2005; LENARDÃO, 2001). A redução na fonte afirma que é amplamente desejável e vantajoso não gerar, pois a simples existência de um material residual implica em riscos químicos e numa série de medidas a serem tomadas para o correto manuseio, tratamento e disposição final, de modo a não ocorrer agressões à qualidade do ar, da água, do solo e à vida humana (FIGUERÊDO, 2006).

A segunda prioridade é verificar se os materiais residuais inevitavelmente gerados podem ser reutilizados, recuperados ou reciclados para uso na própria instituição ou no meio externo (FIGUERÊDO, 2006). Reciclar é refazer o ciclo por completo, voltar à origem, ou seja, é quando determinado material retorna como matéria prima ao seu processo produtivo. Recuperar é retirar do resíduo um componente energético de interesse seja por questões ambientais e/ou financeiras. Já a reutilização ou reuso é quando um resíduo é utilizado, tal

qual foi gerado, em um processo qualquer, dentro ou fora da unidade geradora (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005). Apesar de não reduzir a geração de material residual na fonte, o **reaproveitamento dos resíduos** é importante, pois permite converter os resíduos em materiais úteis e reintegrá-los a um ciclo econômico, obtendo economia de recursos materiais e financeiros e reduzindo a quantidade de rejeitos enviada para tratamento e disposição final (FIGUERÊDO, 2006).

Esgotadas as possibilidades de reaproveitamento dos resíduos, esses passam a se caracterizar como rejeitos e, com isso, devem sofrer, preferencialmente, um **tratamento interno** para redução de seu volume e/ou toxicidade (FIGUERÊDO, 2006). O tratamento é a penúltima prática a ser realizada, podendo ser químico, físico, biológico ou térmico. O tratamento biológico é mais recomendado para grandes volumes de resíduos, principalmente orgânicos (o que não é o caso de resíduos de laboratórios) e o tratamento térmico (frequentemente a incineração) é considerado dispendioso, assim os métodos físicos e químicos são os mais promissores (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005).

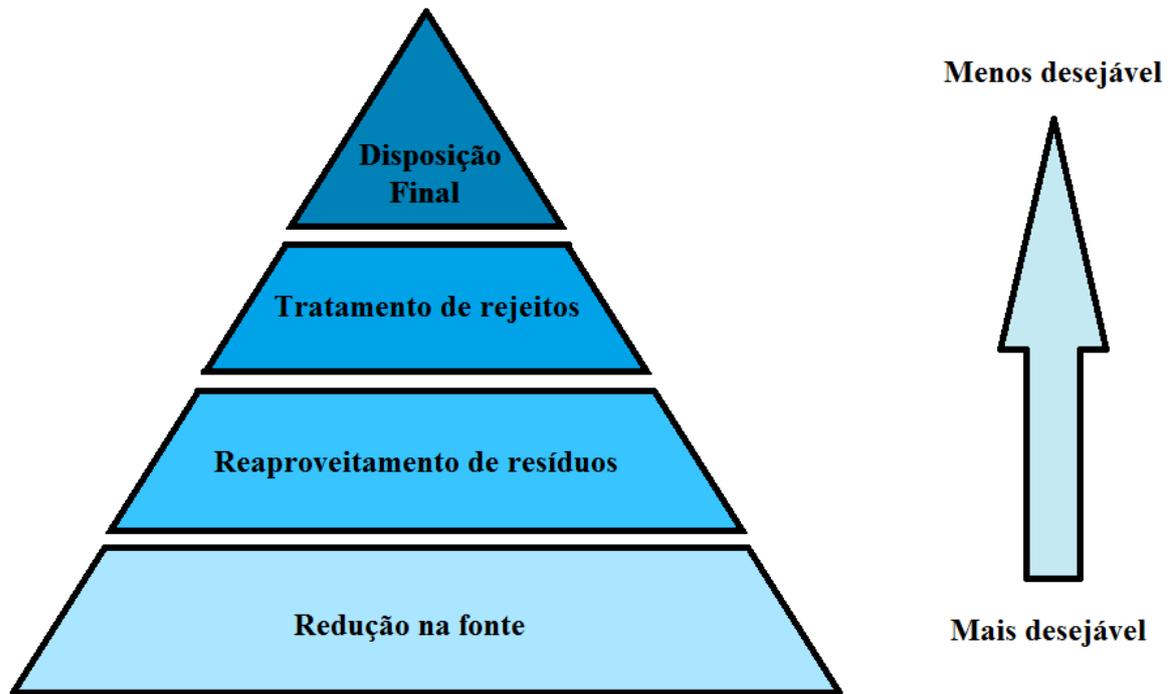
Se não for possível eliminar a carga de poluição dos rejeitos na própria instituição geradora, a próxima tentativa são as opções de **tratamento externo** disponíveis no mercado (FIGUERÊDO, 2006). A última etapa na hierarquia do gerenciamento é realizar a **disposição final** dos rejeitos de forma a não sujeitar o ambiente e a sociedade a riscos indesejáveis, podendo realizar a disposição em aterros ou outros locais apropriados (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005).

Em síntese, a estratégia básica proposta para o gerenciamento de resíduos baseia-se na aplicação sequencial das seguintes medidas:

- I. **Redução na fonte:** é qualquer ação que elimina ou reduz a geração de resíduo na fonte;
- II. **Reaproveitamento de resíduos:** é qualquer ação que permita a reutilização, reciclagem ou recuperação de um material residual dentro ou fora da instituição geradora;
- III. **Tratamento de rejeitos:** é qualquer ação que reduza o volume ou a toxicidade de um rejeito a ser encaminhado para disposição final;
- IV. **Disposição final:** é qualquer ação que garanta a disposição final do rejeito no ambiente respeitando as normas e padrões legais (FIGUERÊDO, 2006).

Entretanto, essa hierarquia (figura 03) é, na maioria das vezes, observada no sentido inverso, o que geralmente inviabiliza a atividade gerenciadora (LEVADA, 2008).

Figura 3 - Hierarquia do gerenciamento de materiais residuais perigosos.



Fonte: FIGUERÊDO, 2006.

3.4.1 Minimização de resíduos

A implantação de um PGRQ deve obedecer a uma escala de prioridades que estimule, a princípio, a *prevenção da geração de resíduos*, a qual pode ser obtida pela modificação de um processo (ou método analítico), substituição de matérias-primas ou insumos. Embora seja esta a primeira e principal prática a ser implementada, é também a mais difícil de ser atingida, uma vez que a busca incessante por resultados é uma realidade atual, e o desenvolvimento, nesse caso, é pontual. Em pesquisas que vêm sendo desenvolvidas desde seu início empregando determinado procedimento é inadequada uma mudança metodológica em algumas situações, sob o risco de trazer prejuízo aos resultados obtidos (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

Quando não é possível prevenir a geração de resíduos, muitas vezes é possível *minimizá-la* (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006). A minimização de resíduos envolve qualquer ação que resulte tanto numa utilização racional, segura e ambientalmente adequada de insumos, métodos e processos, como na consideração de que em muitos materiais residuais gerados existe um potencial de reaproveitamento. Assim, o objetivo primeiro da minimização é buscar não gerar ou então reduzir a geração do resíduo na fonte e, em segundo lugar, procurar reutilizar, reciclar ou recuperar aqueles materiais de geração inevitável. Na prática da minimização, aplica-se, portanto a teoria dos 4R's: Reduzir, Reusar, Reciclar e Recuperar. A partir dessas considerações, pode-se definir: (FIGUERÊDO, 2006).

- **Minimização** como qualquer ação que reduz a quantidade ou a toxicidade dos resíduos gerados antes de um eventual tratamento para disposição final. Inclui as estratégias de *redução na fonte e de reaproveitamento de resíduos*, os quais são definidos a seguir:
 - a) **Redução na fonte** é qualquer ação que reduz ou elimina a própria geração do material residual na fonte geradora;
 - b) **Reaproveitamento de resíduos** é qualquer ação que resgata o resíduo para uso, com ou sem tratamento, eliminando ou reduzindo a quantidade de rejeito a ser enviada para disposição final adequada (FIGUERÊDO, 2006).

A *redução na fonte*, também conhecida como prevenção da poluição (REINHARDT et al, 1995), é a estratégia preferencial de minimização de resíduos na medida em que busca viabilizar tecnologia limpas e racionalizar o uso de recursos naturais. A redução na fonte pode ser obtida mediante melhorias no gerenciamento de materiais e melhorias no gerenciamento das práticas laboratoriais (FIGUERÊDO, 2006).

Dentre as medidas possíveis para reduzir a geração de resíduos químicos na fonte geradora, podem ser citadas: planejamento de experimentos e ensaio, substituição de métodos, redução de escala do experimento, implementação e controle do inventário, aquisição de produtos químicos em menores frascos, redução da diversidade de produtos químicos consumidos, entre outras medidas (FIGUERÊDO, 2006).

O *reaproveitamento de resíduos* é a estratégia secundária de minimização de resíduos. Apesar de não reduzir a geração do material na fonte, é uma técnica importante e necessária, pois reduz custos de aquisição de produtos químicos e a quantidade de rejeito a ser

enviada para disposição final. O reaproveitamento inclui o reuso, a reciclagem e a recuperação (FIGUERÊDO, 2006).

As definições sobre essa terminologia são variadas, mas Tavares (2004) explica que a reutilização ou reuso é quando um resíduo é utilizado, tal qual foi gerado, em um processo qualquer, dentro ou fora da unidade geradora (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006). De acordo com Jardim (2002), entende-se por reuso a possibilidade de utilização de um material no estado em que se encontra, sem que para isto seja necessário submetê-lo a qualquer processo. O reuso pode ser feito dentro ou fora da unidade, e o material pode ser reutilizado tanto dentro de suas funções originais como em novas funções.

Para Tavares (2004), reciclar é refazer o ciclo por completo, voltar à origem, ou seja, é quando determinado material retorna como matéria-prima ao seu processo produtivo. Enquanto que Jardim (2002), explica que reciclar é utilizar um resíduo ou o seu conteúdo energético após submetê-lo a algum tipo de processamento. Os pré-tratamentos rotineiramente exigidos na reciclagem de um resíduo são quase sempre a filtração e a destilação. Nas instituições acadêmicas, a destilação é sem dúvida o processo mais utilizado na reciclagem de resíduos, principalmente quando se trata de solventes orgânicos. Esta atividade pode rotineiramente ser feita em menor escala, dentro dos laboratórios individuais de pesquisa, ou numa escala bem maior, centralizada em algum setor da unidade (JARDIM, 2002).

Para Tavares (2004), recuperar é retirar do resíduo um componente energético de interesse, seja por questões ambientais e/ou financeiras. De acordo com Figuerêdo (2006), recuperação é qualquer ação que viabilize a reutilização de um material, em forma diferente da original, mediante o submetimento deste material a algum tipo de processamento. É o caso da recuperação de metais de catalisadores e da recuperação de metais preciosos, na forma elementar, a partir do processamento de sais metálicos residuais (FIGUERÊDO, 2006).

Dentre as medidas que podem ser tomadas para reaproveitar os resíduos químicos, cuja geração foi inevitável e com isso reduzir o seu potencial de impacto no meio ambiente, podem ser citadas as seguintes: redistribuição ou doação de produtos químicos excedentes, utilização de soluções residuais de experimentos como insumos de outros experimentos, utilização de materiais residuais em operações de limpeza e/ou para tratamento de rejeitos, reciclagem de reagentes e recuperação de reagentes (FIGUERÊDO, 2006).

3.4.2 Tratamento de materiais residuais perigosos

Após as tentativas de evitar a geração do material residual, reduzir a geração inevitável de resíduos químicos e, em seguida, verificar a possibilidade de reaproveitar, com ou sem tratamento os resíduos gerados. Os rejeitos devem ser tratados antes de serem dispostos no ambiente (FIGUERÊDO, 2006).

A Resolução Nº 358/05 do CONAMA estabelece ainda que os resíduos pertencentes ao Grupo B, com características de periculosidade quando não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser submetidos a tratamento e disposição final.

Assim, a Resolução ANVISA RDC Nº 306, de 07 de dezembro de 2004, define tratamento como a aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características de riscos inerentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de dano ao meio ambiente. A mesma norma continua afirmando que o tratamento pode ser aplicado no próprio estabelecimento ou instituição geradora, sendo necessário observar, as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento ou instituição geradora e o local do tratamento.

Já Figuerêdo (2006) afirma que tratamento é qualquer método, técnica ou processo utilizado para alterar as características ou a composição física, química ou biológica de qualquer material residual de modo a recuperar ou reciclar materiais de interesse, recuperar energia e reduzir volume e/ou transformar o material em não perigoso ou menos perigoso para transporte, estocagem e disposição final.

O tratamento, enquanto uma ação que apenas reduz a quantidade e/ou a toxicidade dos rejeitos para disposição final, é a opção menos desejável, embora necessária, num programa de gerenciamento. Contudo, se for utilizado para viabilizar o reaproveitamento de resíduos, o tratamento é a estratégia preferencial que deve ser incentivada e executada em toda instituição comprometida com o desenvolvimento sustentável (FIGUERÊDO, 2006).

Seja para reaproveitamento ou para disposição final, o tratamento de resíduos pode ser feito utilizando métodos químicos, físicos, térmicos e biológicos, além da disposição

final no solo (figura 04). A neutralização, a precipitação química e a oxi-redução são os métodos frequentemente utilizados para tratar as principais correntes inorgânicas de materiais residuais, enquanto que as correntes orgânicas podem ser com muita frequência, reaproveitadas, como ocorre com a destilação de solventes, ou tratadas por oxi-redução e outros métodos. O tratamento térmico, em incineradores e fornos de clínquer e a disposição final em aterros classe I são os métodos externos normalmente aplicados tanto aos rejeitos orgânicos como inorgânicos (FIGUERÊDO, 2006).

Figura 4 - Principais métodos de tratamento de resíduos.

Tratamento Químico	Neutralização ácido-base Precipitação química Oxidação-redução Absorção em carvão ativado Troca Iônica	Tratamento físico	Microencapsulação Estabilização Remoção física: - destilação - evaporação - extração por solvente - extração por arraste de vapor - troca iônica - precipitação - cristalização - filtração - adsorção - osmose reversa
Tratamento térmico	Incineração Co-processamento Combustão em caldeiras e fornos Detonação Vitrificação		
Tratamento biológico	Bioremediação		
Disposição no solo	Aterro industrial		

Fonte: FIGUERÊDO, 2006.

O tratamento biológico é mais recomendado para grandes volumes de resíduos, principalmente orgânicos, o que não é o caso dos resíduos de laboratórios, e o tratamento térmico (frequentemente a incineração) é considerado dispendioso. Assim, os métodos físicos e químicos se tornam os mais promissores (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

O tratamento deve ser prioritariamente executado dentro da própria instituição, no próprio laboratório ou setor gerador ou ainda numa central institucional que agregue corrente maior ou mais complexa de materiais residuais para tratamento, estando sob a responsabilidade do gerador. A condução de rejeitos para tratamento externo deve ser na medida do possível, evitada e, quando necessária, o rejeito deve estar com seu volume e toxicidade reduzidos para minimizar riscos durante o transporte e por ocasião do seu tratamento e disposição final (FIGUERÊDO, 2006).

3.4.2.1 Tratamento químico

De acordo com Figuerêdo (2006), os principais métodos de tratamentos químicos aplicados pelas instituições de ensino e pesquisa aos resíduos perigosos são a neutralização ácido-base, precipitação química/clarificação, oxi-redução, absorção em carvão ativado e a troca iônica. Estas tecnologias usualmente empregam algum tipo de produto químico para transformar os componentes originais em outros menos perigosos ou até para reduzir volume ou facilitar a posterior remoção física dos substituintes perigosos dos materiais residuais.

A **neutralização** é um procedimento simples usado para reduzir a corrosividade de um material por meio da elevação ou redução do pH, atingindo uma faixa considerada neutra, geralmente entre 6 e 9 (FIGUERÊDO, 2006).

A **oxidação/redução** é um método que transforma materiais perigosos em outros menos perigosos através da quebra de ligações químicas por transferência de elétrons de uma substância para outra. Oxidação é o processo em que ocorre a perda de elétrons por uma substância, enquanto a redução consiste no ganho de elétrons, os quais são incorporados à estrutura interna do átomo. Tais processos são simultâneos e a reação resultante é chamada de oxi-redução (FIGUERÊDO, 2006).

A **precipitação química** remove os constituintes perigosos solúveis ou em suspensão presentes nos materiais residuais, convertendo-os à forma insolúvel por meio de reações químicas frequentemente realizadas através da adição de um produto químico alcalino ou por meio de mudanças na composição do solvente. Os sólidos precipitados são removidos da solução por coagulação e/ou floculação e por uma subsequente separação sólido-líquido, filtração ou decantação. Os materiais perigosos precipitados necessitam de tratamento adicional para reduzir sua toxicidade (FIGUERÊDO, 2006).

3.4.2.2 Tratamento físico

Segundo Figuerêdo (2006), os métodos de tratamento físico envolvem a remoção física, a microencapsulação e a estabilização. A **remoção física** é um processo que remove os constituintes perigosos dos materiais residuais através de técnicas de separação como destilação, evaporação, extração por solvente e por arraste de vapor, cristalização, precipitação, filtração, troca iônica, adsorção, osmose reversa, entre outros. Os constituintes removidos podem requerer posterior tratamento para reduzir sua toxicidade (FIGUERÊDO, 2006).

A **microencapsulação** é um procedimento que recobre a superfície do material residual com uma fina camada de plásticos ou resina para impedir a lixiviação de constituintes perigosos do resíduo. Já a **estabilização** é um processo que reduz a mobilidade dos constituintes perigosos do resíduo ou os tornam mais fáceis de serem manuseados. Os agentes de estabilização mais comumente empregados são o cimento Portland, cal e a poeira dos fornos clínquer (FIGUERÊDO, 2006).

3.4.2.3 Tratamento térmico

Conforme Figuerêdo (2006), tratamento térmico é todo processo cuja operação é realizada acima da temperatura mínima de 800°C (Resolução CONAMA, nº 316/02). Os principais processos são a incineração, o coprocessamento, a combustão em caldeiras e fornos, a detonação e a vitrificação (FIGUERÊDO, 2006).

A **incineração** é um processo de decomposição térmica, via oxidação a altas temperaturas, geralmente maiores que 900°C, usado para destruir a fração orgânica do material residual, e diminuir o seu volume, enquanto a fração inorgânica (metais pesados) é recolhida pelos equipamentos de controle de poluição e disposta em aterros industriais. A incineração é também um processo de reciclagem da energia liberada na queima dos materiais, visando produzir energia elétrica e vapor (FIGUERÊDO, 2006).

O **coprocessamento** é a técnica de queimar rejeitos, concomitantemente com a produção de cimento, em fornos de fabricação de clínquer. Os compostos orgânicos são queimados com alta eficiência devido à elevada temperatura de operação do forno, da ordem de 1400°C, enquanto que os materiais inorgânicos reagem com as matérias primas passando a fazer parte da estrutura cristalina do clínquer, sem prejudicar a qualidade do cimento (FIGUERÊDO, 2006).

A incineração e o coprocessamento são os processos de tratamento térmico mais usados. Pequenas quantidades de soluções contendo metais pesados podem ser coprocessadas em fornos de cimento ou serem encaminhadas para incineração, contudo, neste caso, as cinzas devem ser colocadas em um aterro seguro. Entretanto, rejeitos contendo mercúrio, tálio, gálio, ósmio, selênio, arsênio, chumbo e cádmio não devem ser incinerados ou coprocessados, pois se formam produtos de combustão voláteis e tóxicos, que poderiam ser liberados na atmosfera, caso as instalações não disponham de sistemas de limpeza e monitoramento dos gases altamente eficientes (FIGUERÊDO, 2006).

3.4.2.4 Disposição no solo

Disposição final de resíduo é o termo técnico usado para designar a forma e o local escolhido para receber definitivamente qualquer resíduo descartado. No caso de resíduos urbanos, a disposição final é geralmente um aterro sanitário (ou lixão). No caso dos resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino, pesquisa e prestação de serviços, o destino final encontrado pela grande maioria não é o mais adequado, como pias, ralos, terrenos baldios, agregado ao lixo doméstico, etc (JARDIM, 2002). Contudo, os principais e mais adequados métodos que devem ser utilizados pelas instituições de ensino e pesquisa devem ser os aterros e barragens de rejeitos, todavia esta última é usada para grandes volumes de materiais residuais, o que não é o caso frequente nas instituições (FIGUERÊDO, 2006).

O aterro industrial é uma técnica de disposição final no solo, que utiliza princípios de engenharia para confinar os materiais residuais a uma menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra, na conclusão da jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. Os aterros devem ser providos de sistemas de

drenagem e de coleta dos líquidos percolados. A tendência é eliminar os rejeitos perigosos de aterros e de usá-los basicamente para a disposição final de materiais inertes e não inertes e para receber materiais menos perigosos processados em incineradores, por exemplo (FIGUERÊDO, 2006).

Os aterros industriais são divididos em três classes: I, II e III, de acordo com o tipo de rejeito que está apto a receber. Aterros classe I podem receber rejeitos industriais perigosos; os classe II, rejeitos não perigosos não-inertes; e os classe III somente rejeitos não perigosos inertes. Segundo a ABNT NBR 10.004/2004, quando um rejeito contiver substâncias classificadas como perigosas deve ser previsto o seu confinamento em aterros industriais para rejeitos perigosos (FIGUERÊDO, 2006).

O aterro classe I para resíduos perigosos pode receber resíduos sólidos, semissólidos e líquidos, não passíveis de tratamento convencional, desde que sejam não inflamáveis e não reativos (FIGUERÊDO, 2006). No entanto, independentemente do resíduo ser sólido ou líquido, a destinação final deve sempre ser feita conforme normas e procedimentos exigidos pelo órgão estadual de proteção ambiental (JARDIM, 2002).

A maior restrição quanto ao uso dos aterros classe I é que os rejeitos permanecem potencialmente perigosos no solo até que possam eventualmente ser incorporados naturalmente ao meio ambiente. A disposição em aterros implica em eterno risco e responsabilidades para o gerador na medida em que o material perigoso não é destruído, mas apenas acondicionado e/ou disposto no terreno. Com o tempo, estes recipientes podem sofrer avarias, vazar e seu conteúdo ser lixiviado em direção ao lençol freático, se o aterro não for bem construído, operado e mantido (FIGUERÊDO, 2006).

Além disso, leis ambientais mais rígidas, a demanda por grandes extensões de terreno, a falta de áreas próximas às cidades e o distanciamento cada vez maior das fontes geradoras de rejeitos, têm resultado em um considerável acréscimo nos custos de transporte de carga perigosa e da disposição final em aterros (FIGUERÊDO, 2006).

3.5 Legislação ambiental

Pode-se afirmar que um dos problemas mais graves relacionado ao mau uso da química refere-se aos danos ambientais. Para contornar essa situação, as legislações ambientais de todos os países do mundo, inclusive o do Brasil vem evoluindo e se adaptando às novas realidades, visando coibir severamente os abusos. Essas legislações estão incorporando novas exigências no monitoramento das emissões de voláteis no ar e no lançamento de resíduos industriais nos corpos aquíferos. As Universidades brasileiras, que realizam pesquisas nas áreas da química e de ciências afins, não podem ficar alheias às drásticas mudanças estruturais que vêm ocorrendo na legislação ambiental do nosso país. Devemos estar conscientes de que os benefícios oriundos da nossa atividade científica e profissional (publicações, patentes, reconhecimento científico, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias) podem gerar, paralelamente, resíduos químicos de diversos graus de periculosidade, que podem necessitar de tratamento químico adequado, antes de serem enviados à disposição final (GERBASE, 2005).

De acordo com Figuerêdo (2006), o Brasil é signatário de convenções e acordos internacionais relacionados à gestão de substâncias químicas, participa de foros intergovernamentais sobre segurança química e dispõe de uma numerosa coleção de leis, decretos, resoluções e normas que demonstram a enorme preocupação com o meio ambiente e, particularmente com a situação das substâncias químicas e dos resíduos perigosos. Entretanto, não dispõe ainda de diretrizes e de uma política nacional de resíduos químicos perigosos.

Afonso *et al.* (2005, pág 157), afirma sobre a inexistência de uma legislação específica para resíduos químicos oriundo de instituições de ensino e pesquisa: “Ainda não parece existir no país uma legislação específica relativa os resíduos gerados em laboratórios e nem o enquadramento de universidades e órgãos de pesquisa como unidades poluidoras”. Jardim (2002) também faz esta afirmativa sobre a inexistência de uma legislação específica para disposição final de resíduo oriundo de estabelecimentos de ensino e pesquisa. Além da falta de legislação específica, de acordo com Jardim (1998), não há um órgão fiscalizador para este problema. No entanto, continua afirmando que isto não deve ser utilizado como pretexto para uma falta de gerenciamento e uma disposição adequada do resíduo.

Conforme Henrique (2008), encontram-se na legislação diversas leis, normas, decretos e resoluções que não são específicas para resíduos químicos gerados em atividades de laboratório, mas que podem ser utilizadas para balizar o seu gerenciamento e assim incentivar o controle e a sua disposição adequada.

A nível federal encontram-se leis, decretos e resoluções relacionadas a resíduo químico. Pode-se citar, por exemplo, a Lei 6.938/1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, Brasil (1981). Essa lei estabelece o princípio da responsabilidade objetiva mediante a qual o poluidor é obrigado a indenizar ou reparar o dano causado ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade, independentemente da existência de culpa. Configura-se, portanto a responsabilidade civil do poluidor, bastando que se estabeleça uma relação de causalidade entre sua atividade e o dano ambiental, sem a necessidade de haver qualquer investigação sobre a sua intenção de causar ou não o dano (FIGUERÊDO, 2006). De acordo com Machado (2002) e Nolasco, Bendassolli e Tavares (2006), afirmam ainda que caso o poluidor libere resíduo ao ambiente, mesmo respeitando os padrões de emissões estipulados pela legislação vigente, se este causar um dano ambiental, o mesmo estará sujeito aplicação de pena.

Também se encontra disponível o Artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), inserido no capítulo VI do Meio Ambiente, que é redigido da seguinte maneira:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL 1988).

Nesse momento, segundo De Martini Júnior et al. (2003), “o Brasil passa a ser o primeiro país a adotar o Princípio do Desenvolvimento Sustentável na sua constituição, dando caráter legal à sua aplicabilidade”.

Outro aspecto legal relacionado a resíduo químico é o Decreto Federal 96.044/1988 o qual “Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências” (BRASIL, 1988).

Em 1992, no Rio de Janeiro, foi firmada na ECO-92, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Agenda 21. Essa declaração contempla

dois capítulos exclusivos sobre o manejo ecologicamente saudável das substâncias químicas tóxicas e dos resíduos perigosos. O capítulo 19 reconhece que apesar das melhores práticas demonstrarem que os produtos químicos podem ser utilizados com uma boa relação custo-eficiência e segurança, ainda resta muito a fazer para assegurar o manejo saudável das substâncias químicas tóxicas dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável e de melhoria da qualidade de vida da humanidade (FIGUERÊDO, 2006).

O capítulo 20 da Agenda 21, sobre os resíduos perigosos, coloca como objetivo geral: “Impedir, tanto quanto possível e reduzir ao mínimo a geração de resíduos perigosos e submeter esses resíduos a um manejo que impeça danos ao meio ambiente”. Reafirma citando que a prevenção da geração de resíduos e a reabilitação dos locais contaminados são os elementos essenciais e que ambos exigem conhecimentos, pessoal qualificado, instalações, recursos financeiros e capacidades técnicas e científicas (FIGUERÊDO, 2006).

Também se pode citar a Lei de Crimes Ambientais 9.605/1998 (Brasil, 1998) a qual “Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”. Segundo esta lei e seu decreto, toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente é considerada infração administrativa ambiental e será punida com as sanções do presente diploma legal. Essas sanções administrativas vão desde a advertência, multa simples ou multa diária, apreensão de instrumentos ou equipamentos, destruição ou inutilização do produto, penas restritivas de direito até a suspensão parcial ou total das atividades, além da reparação dos danos causados (FIGUERÊDO, 2006).

Como último exemplo tem-se ainda a Resolução 357/2005 do CONAMA, (BRASIL, 2005), que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Na mesma resolução no seu Art. 24, pág. 19, consta que:

“os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis”.

3.5.1 Política Nacional dos resíduos sólidos

Após 25 anos de análise no Congresso Nacional, em agosto de 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305/2010 instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, alterando a Lei nº 9.605/98, e determinando a criação de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos em níveis federal, estadual e municipal (MENDES, 2011).

As alterações na Lei nº 9.605/98, que versa sobre a Lei de Crimes Ambientais, afeta diretamente o setor privado trazendo outras orientações quanto à conduta e à operacionalização das ações. O compartilhamento das responsabilidades quanto ao ciclo de vida dos produtos é uma das inovações, ou seja, ela não se restringe somente aos fabricantes, mas consideram também responsáveis os importadores, distribuidores, comerciantes e os consumidores, além dos titulares dos serviços de limpeza urbana ou manejo. Deste modo, aquele que tem alguma participação no crime ambiental, no que diz respeito à falta de gerenciamento dos resíduos, será responsabilizado (BRASIL, 2011). O princípio da responsabilidade compartilhada prevê uma obrigação “pós-consumo”, o que deve ser interpretado como uma medida voltada a adequação da destinação e disposição dos resíduos de forma correta (MENDES, 2011).

A PNRS especifica que os custos econômicos, ambientais e sociais decorrentes de uma má gestão de resíduos sólidos devem ser repartidos entre todos os agentes que participam da cadeia de produção, consumo e geração de resíduos, de forma a impedir que apenas alguns agentes tenham que suportar sozinhos o custo que deveria ser distribuído entre todos (MENDES, 2011).

No seu Artigo 15 a PNRS prevê ainda um Plano Nacional de Resíduos Sólidos com a finalidade de apresentar um diagnóstico de resíduos sólidos no Brasil, bem como estabelecer metas programadas e ações relacionadas aos resíduos para os próximos 20 anos, devendo esse Plano Nacional ser atualizado a cada 4 anos e contemplará o seguinte conteúdo mínimo:

- I. diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;
- II. proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas;

- III. metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
- IV. metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;
- V. metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- VI. programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;
- VII. normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;
- VIII. medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos;
- IX. diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico;
- X. normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos;
- XI. meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social (MENDES, 2011).

Já na esfera estadual, os Planos de Resíduos Sólidos previstos no Artigo 17 da PNRS têm prazos idênticos e conteúdo semelhante ao Plano Nacional, porém, com a exigência de um maior detalhamento dos instrumentos de controle e fiscalização das atividades poluidoras (MENDES, 2011).

Quanto aos Planos Municipais de Gestão dos Resíduos Sólidos, segundo o Artigo 18, eles estão mais voltados para a operacionalização e realização dos objetivos, metas e diretrizes definidos no Plano Nacional e de cada estado, e não somente ao planejamento. Ressalta-se que a elaboração do Plano Municipal, assim como a dos outros planos, é uma condição para que os estados e municípios tenham acesso aos repasses de recursos da União (MENDES, 2011).

Um ponto importante da PNRS (BRASIL, 2010) está no Capítulo IV referente aos resíduos perigosos. O Artigo 37 afirma que:

“A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos.”

Com isso, o poder público busca incentivar o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, inclusive dos resíduos perigosos, através da menor geração possível de resíduos, reutilizando e utilizando matérias-primas recicladas. Assim, essas atitudes servirão de exemplo e disseminarão a adoção de práticas ambientalmente corretas e sustentáveis por parte da sociedade (FIGUERÊDO, 2006).

3.6 Segurança e saúde no ambiente dos laboratórios

A rotina dos laboratórios que trabalham com produtos químicos geralmente envolve: xampus, detergentes, óleos, cervejas, desodorantes, água, inseticidas, sais, tintas, remédios, perfumes e outros milhares de exemplos que fazem parte do nosso cotidiano. Pela grande quantidade dos exemplos referenciados, percebe-se que o manuseio de produtos químicos deve ser sempre realizado de maneira responsável e sem desperdícios, levando-se em conta a segurança, saúde pública e o meio ambiente (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

É muito importante notar que a presença de produtos químicos no local de trabalho não quer dizer que, obrigatoriamente, há perigo para a saúde. Isso depende da combinação de muitas condições, como, por exemplo, a natureza do produto químico, sua concentração e o tempo de exposição do trabalhador a tal produto. É possível constatar algumas consequências à saúde quando um trabalhador fica exposto aos riscos existentes no ambiente de trabalho por não haver um controle efetivo do Serviço de Segurança Ocupacional. A figura 05 ilustra alguns produtos químicos, seus usos e possíveis riscos à saúde (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

Figura 5 - Riscos possíveis decorrentes da exposição a produtos químicos.

Produto	Risco para Saúde
Acetileno	Transforma-se em narcótico quando se mistura com o oxigênio, provocando sonolência e perda dos sentidos.
Ácido nítrico	É tóxico para a pele, os olhos e a mucosa das vias respiratórias. Pode produzir edema pulmonar.
Ácido sulfúrico	Provoca irritação do sistema respiratório. Quando diluído pode causar dermatite e lesões nos pulmões. Seus vapores são corrosivos para a pele e os olhos.
Alumínio	Oferece riscos na forma de pó.
Antimônio	Encontra-se associado ao chumbo e arsênio. Seus compostos podem irritar olhos, pele e mucosas das vias respiratórias. Pó e fumos podem provocar lesões nos pulmões.
Cádmio	Os fumos podem causar envenenamento.
Chumbo	O chumbo penetra no organismo por inalação e ingestão. Pode provocar lesões nos rins e no fígado. Alguns compostos do chumbo podem provocar câncer.
Cloro	Irrita os olhos, a pele e as mucosas das vias respiratórias.
Mercúrio	O mercúrio acumula-se nos rins, fígado, baço e ossos. O envenenamento provoca inchaço das glândulas salivares e pode resultar em queda dos dentes e úlceras na boca e gengivas.
Metanol	Os efeitos no organismo ocorrem pela contaminação por meio da respiração, ingestão e contato com a pele. Se ingerido, pode provocar cegueira e ser fatal.
Níquel	Pode provocar dermatites e alergias. É também um agente cancerígeno, podendo atingir os pulmões, a cavidade nasal, os ossos e o estômago.
Zinco	Os fumos provocam calafrios, febre alta e secura na boca. Seus compostos prejudicam os olhos, a pele e as mucosas.

Fonte: Alberguini, Silva e Rezende (2005).

A consolidação das Leis do Trabalho e as Normas Reguladoras do Ministério do Trabalho dedicam grande parte de seu texto às medidas de proteção adotadas na gestão e gerenciamento de resíduos químicos (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005). Os programas de gestão e gerenciamento de resíduos têm importância não somente na redução de impactos ambientais, mas principalmente na educação ambiental de alunos que será disseminada em sua vivência pessoal e profissional (REIS, 2009).

Por outro lado, os laboratórios são espaços físicos que apresentam alto potencial de acidentes, pela especificidade do trabalho que pressupõe a presença de diversas substâncias letais, tóxicas, corrosivas e irritantes, inflamáveis ou instáveis (LIMA, 2012).

A segurança nas atividades laboratoriais, incluindo a proteção do pessoal e do meio ambiente, é essencial na prática de uso dos laboratórios de pesquisa e ensino ou na manipulação dos materiais. Nas diversas áreas laboratoriais onde haja atividades com

produtos químicos, biológicos, farmacológicos ou infectocontagiosos e outros, devem ser diagnosticados os fatores de risco e, a partir deles, efetivar o controle e ações de segurança (DE CONTO, 2010).

A respeito do avanço tecnológico, os profissionais estão expostos a vários riscos, devido às técnicas onde são utilizados reagentes químicos, ao material biológico suspeito de contaminação, aos equipamentos, aos materiais perfurocortantes, etc (LIMA, 2012). A prevenção ou a redução dos riscos de serem desenvolvidos acidentes ou doenças por exposição a diversos agentes no ambiente de laboratório pode ser alcançada pelo uso de práticas seguras e medidas que visem à saúde/segurança e ao meio ambiente (DE CONTO, 2010). Assim, essa exposição é minimizada à medida que forem adotadas as boas práticas laboratoriais, instalados os equipamentos de proteção individual e coletiva, e implantadas instalações adequadas a cada nível de biossegurança envolvido e a capacitação dos técnicos (LIMA, 2012).

Os tipos de risco associados às atividades desenvolvidas no ambiente de trabalho de laboratório ou no manuseio dos resíduos de laboratórios podem ser classificados, como: físicos, biológicos, químicos, ergonômicos e acidentes (DE CONTO, 2010).

O ambiente de laboratório deve ser projetado, dimensionado ou adequado devidamente de modo a oferecer condições confortáveis e seguras de trabalho. As áreas de trabalho devem ser definidas com a finalidade de separar as de maior risco (manipulação de produtos químicos e biológicos) daquelas que apresentam menor probabilidade de acidentes (áreas administrativas) (LIMA, 2012).

Uma das atribuições da universidade como empregadora e unidade de ensino na formação dos alunos é assegurar capacitação e conhecimento de regras de segurança, antes do início das atividades e de forma contínua, sempre que ocorram alterações de exposição dos professores, alunos e funcionários aos agentes de riscos, durante a jornada de trabalho, evidenciando os riscos inerentes aos agentes químicos e biológicos (BRASIL, 2011).

A implantação dos Serviços em Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) e a criação do Programa de Controle Médico da Saúde Ocupacional (PCMSO), do Programa dos Riscos Ambientais (PPRA) e das Comissões Internas de Prevenção de Acidentes (CIPAs) são partes integrantes de uma série de medidas estabelecidas pelo poder público em relação ao

assunto. Esses tópicos são complementados pelas medidas específicas de proteção ao trabalhador, que consistem em equipamentos de proteção coletiva e individual. A implantação de medidas de proteção individual ao trabalhador deve, necessariamente, ser priorizada em favor das medidas de proteção coletiva (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

A NR-6, da Portaria 3.214 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho, estabelece medidas sobre a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), nas quais todo dispositivo de uso individual, de fabricação nacional ou estrangeira será destinado a proteger a saúde e a integridade física do trabalhador (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

Esses equipamentos são utilizados em ambientes de trabalho sempre que constatada a presença de agentes insalubres pelos métodos qualitativos ou quantitativos, de acordo com a NR-15, aprovada pela Portaria 3.214, de junho de 1978, e que poderão causar algum dano à saúde do trabalhador ou quando medidas de ordem coletiva forem inviáveis (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

Os equipamentos de proteção coletiva (EPCs) são medidas de proteção que visam à eliminação de um agente agressivo, físico, químico, biológico ou mecânico, a fim de tentar eliminar o risco existente (ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005).

É importante que as pessoas se habituem a trabalhar com segurança, preservando a sua integridade física e a dos demais. Toda tarefa a ser executada deve ser cuidadosamente programada e efetuada com segurança, pois é responsabilidade de cada um zelar pela própria segurança e das pessoas com quem trabalha (COUTINHO, 2006).

3.7 Exemplos de gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa

3.7.1 Gerenciamento de resíduos químicos no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR)

A proposta a seguir foi integralmente compilada do trabalho de Cunha (2001) que mostra como surgiu a ideia de realizar o gerenciamento de resíduos químicos no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e como o programa se desenvolve no departamento.

De acordo com Cunha (2001), o programa de gerenciamento de resíduos surgiu da mobilização de um grupo de professores conscientizados para o problema e não como fruto de imposição de lei ou de pressões causadas por ações paliativas pós-tragédias. A preocupação dos professores era devido ao armazenamento precário dos resíduos químicos nos laboratórios do Departamento de Química (DQUI), que ao longo dos anos, se tornaram passivos ambientais.

Cunha (2001) relata que havia três possibilidades de disposição final do resíduo químico do DQUI que eram: aterro controlado (na Cidade Industrial de Curitiba), incineração (em São Paulo ou Rio de Janeiro) e o co-processamento em forno de cimento (na Região Metropolitana de Curitiba). No caso, os responsáveis pelo programa, optaram pelo coprocessamento, pois, conforme Cunha (2001, página 424) “é o mais versátil e efetivo método de tratamento para o tipo de resíduo gerado em nossos laboratórios”. Além disso, o co-processamento seria realizado por cortesia pela Companhia Cimenteira Rio Branco do grupo Votoran, localizada em Rio Branco do Sul na Região Metropolitana de Curitiba, no Estado do Paraná.

O programa foi baseado no co-processamento em forno de cimento. O co-processamento consiste em adicionar resíduos químicos, combustíveis ou não, na forma de sólidos líquidos ou pastas, ao forno de cimento durante a formação do clínquer. Os líquidos combustíveis são misturados e queimados com o combustível auxiliar do forno, os sólidos e

pastosos são adicionados em bocas de lobo que levam ao interior da parte alta do forno e os aquosos são adicionados junto com a água de resfriamento dos gases do forno. No Paraná o coprocessamento é licenciado para tratar: ácidos e bases, solventes halogenados e não halogenados, cianetos e arsenatos, sais de quase todos os metais exceto os de mercúrio, cádmio e tálio. É vetado o tratamento de agrotóxicos, materiais radioativos, explosivos, material infeccioso e bifenilas policloradas (PCBs) (CUNHA, 2001).

Escolhido o processo de tratamento, o programa foi montado, em jornadas anuais com cinco etapas, (CUNHA, 2001): 1) Coleta e tratamento, 2) Armazenamento, 3) Licenciamento (para transporte e co-processamento), 4) Transporte e 5) Co-processamento.

De acordo com Cunha (2001), a primeira etapa é realizada dentro de cada um dos 28 laboratórios e foi dividida em quatro fases: coleta, neutralização, teste de incompatibilidade e mistura em bombona. Além disso, os coordenadores do programa fornecem treinamento para o pessoal responsável pelo resíduo em cada laboratório.

Cunha (2001), afirma que na fase 1-1 é realizada a **coleta dos resíduos** em frascos pequenos, tipicamente de 1L, e o conteúdo do frasco é registrado em uma ficha de resíduos (figura 06) que acompanha cada frasco. Estes frascos podem ser usados para coletar resíduos de um pesquisador, de um aluno, de várias pessoas da mesma bancada ou de várias pessoas que trabalham com uma mesma linha de pesquisa. A definição de quantos frascos de coleta ficam disponíveis e as suas localizações fica a critério dos usuários de cada laboratório. Ainda de acordo com Cunha (2001), é necessário um conhecimento sobre a possível incompatibilidade dos resíduos. Além disso, o conteúdo dos frascos não deve ultrapassar a marca de 80 % de sua capacidade.

Cunha (2001) segue explicando que quando um ou mais frascos ficam cheios eles devem ser neutralizados, iniciando a fase 1-2 de **neutralização**. Esta neutralização consiste em minimizar a periculosidade do resíduo por meio de reações químicas que aumentem a sua compatibilidade com demais resíduos. As substâncias incompatíveis podem ser divididas em seis grandes classes de incompatibilidade: {1} ácido, {2} base, {3} oxidante, {4} redutor, {5} metal ou liga, e {6} hidrolisável. Cunha (2001) recomenda que para neutralizar a incompatibilidade dos resíduos, deve-se reagir os ácidos fortes com bases fracas, reagir as bases fortes com ácidos fracos, reagir os oxidantes enérgicos com um redutor brando, reagir os redutores enérgicos com oxidante brando e reagir os hidrolisáveis com água. Os metais e

ligas devem ser lavados, secos e guardados como resíduos sólidos. A equipe que coordena o programa fornece orientação para se tratar substâncias que não se enquadram nestas classes ou que mereçam atenção especial. Assim, os resíduos neutralizados são adicionados a uma bombona que deve conter apenas substâncias compatíveis.

Figura 6 - Fichas de identificação de resíduos químicos - UFPR.

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUO QUÍMICO - UFPR.

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 _____ Laboratório _____
Departamento _____ Setor _____
Telefone _____ ramal _____ Identificação do Frasco _____
Data do preenchimento da ficha ____/____/____.

Marque com X as características do resíduo químico:

<input type="checkbox"/> ácido	<input type="checkbox"/> cáustico (básico)
<input type="checkbox"/> inflamável	<input type="checkbox"/> aquoso
<input type="checkbox"/> explosivo	<input type="checkbox"/> radioativo
<input type="checkbox"/> contém mercúrio, cádmio ou tálio	<input type="checkbox"/> reage violentamente com água
<input type="checkbox"/> contém agrotóxicos	<input type="checkbox"/> material biológico infeccioso
<input type="checkbox"/> oxidante enérgico	<input type="checkbox"/> redutor enérgico

Descrição dos componentes do resíduo (pode agrupar em classes tais como haletos de chumbo, solventes halogenados, hidrocarbonetos, nitrilas, etc):
Marque com ? quando a estimativa de quantidade de um componente não puder ser feita.

nome da substância	quantidade (mL, g)	observações

Fonte: Cunha, 2001.

Conforme Cunha (2001), por motivos de segurança, os coordenadores do programa sugerem que seja feito um **teste de incompatibilidade**, iniciando, portanto, a fase 1-3. Este teste consiste em juntar, em um béquer, uma amostra de 1 gota do resíduo neutralizado com uma amostra de 1 gota do conteúdo da bombona. Caso não haja reação violentamente exotérmica e nem liberação de gás o teste deve ser repetido com 1 mL de cada resíduo. Caso não haja reação violentamente exotérmica e nem liberação de gás, os resíduos serão considerados compatíveis. Cunha (2001) aconselha que esses testes sejam realizados na capela.

A última fase da etapa 1 é a **mistura em bombona**, que é representada no programa pela Fase 1-4. Segundo Cunha (2001), após a realização do teste de incompatibilidade, o resíduo sendo considerado compatível com o resíduo da bombona, o

resíduo neutralizado pode ser adicionado a esta. A ficha de resíduo do material recém adicionado deve ser anexada às fichas que acompanham a bombona. O número da bombona deve ser escrito nesta ficha. O conteúdo da bombona não deve ultrapassar a marca de 80 % de sua capacidade que, em geral, é de 25 a 30L.

No caso do resíduo sólido, Cunha (2001) relata que o programa procede da seguinte forma: para o caso de resíduo sólido que necessite de neutralização, recomenda-se a realização em baldes plásticos. Com relação à neutralização de ácido, sugere-se o uso de cal hidratada em conjunto com bicarbonato de sódio. A reação de ácidos com cal hidratada é muito exotérmica ao passo que a reação com bicarbonato de sódio é endotérmica, assim se pode combinar ambos os reagentes para evitar superaquecimento do meio reacional. No caso de base forte, recomenda-se a neutralização com ácido fraco. O bicarbonato de sódio também pode ser utilizado, pois o pH de uma solução aquosa saturada em bicarbonato de sódio fica próximo a 8, condição na qual os sistemas sulfeto aquoso e amônia aquosa encontram-se majoritariamente na forma iônica, o que reduz o mau cheiro destas soluções. Para neutralizar redutor pode ser usado peróxido de hidrogênio e para neutralizar oxidante pode ser usado hidrogenossulfito de sódio. No caso de metal e liga recomenda-se o descarte direto como resíduo sólido seco, que em geral não necessita de neutralização prévia. Com exceções para os metais alcalino e alcalino-terroso que podem ser rapidamente neutralizados com água ou ácido diluído.

Cunha (2001) afirma que para o resíduo sólido que não necessite de neutralização, e que esteja seco, o programa indica que o mesmo seja embalado em saco plástico e acondicionado em balde de resíduo sólido, acompanhado de sua respectiva ficha de resíduo, sendo este balde disponibilizado para cada laboratório.

Ainda de acordo com Cunha (2001), a segunda etapa consiste em armazenar as bombonas e baldes de resíduos em um depósito com acesso restrito, os conteúdos descritos nas fichas são verificados e a acidez do conteúdo das bombonas é conferida.

Cunha (2001) afirma que na terceira etapa, os coordenadores do programa recolhem todas as fichas de resíduos e preparam uma lista unificada que é encaminhada à cimenteira para fazer um plano de co-processamento que é encaminhado para o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) para licenciamento.

Após essa licença, inicia-se a quarta etapa do programa, na qual os resíduos são transportados para a cimenteira. A quinta e última etapa, segundo Cunha (2001), é a realização do co-processamento dos resíduos, finalizando a jornada.

No caso do resíduo considerado no programa como especial, ou seja, material proibido para o co-processamento, tais como agrotóxicos, sais de cádmio, mercúrio e tório e material passível de recuperação tais como sais de chumbo, irídio e rutênio, no programa recomenda-se a coleta em separado desses materiais, seguidos da sua recuperação ou envio para o aterramento. Mas, de acordo com Cunha (2001), certos materiais estão sem destino no DQUI, devido a suas características peculiares, como no caso de agrotóxico que era enviado à Secretaria Estadual de Agricultura do Paraná, que agora se encontra desativada.

Cunha (2001) afirma que dentro das diretrizes do programa está a orientação aos geradores de resíduos para a possibilidade de substituição do uso de uma substância perigosa por uma não perigosa, minimização da geração de resíduos, recuperação e/ou reciclagem dos resíduos. Além disso, Cunha (2001) recomenda que a classificação de substâncias e resíduos não identificados seja feita com o método estabelecido por Jardim (1998).

Cunha (2001) enfatiza que todos os resíduos que chegam ao armazenamento devem ter sido inertizados por tratamento químico e todas as bombonas contendo líquidos ou pastas devem ser neutras ou levemente básicas e levemente redutoras, pois em caso de mistura acidental, o risco de incompatibilidade é minimizado.

Conforme Cunha (2001), o Programa de Gerenciamento de Resíduos do Departamento de Química está consolidado e tem sido referência para outras unidades da Universidade e da região de Curitiba.

3.7.2 Gerenciamento de resíduos químicos no Laboratório de Resíduos Químicos da Universidade de São Paulo (USP) – Campus I São Carlos

A proposta a seguir foi integralmente compilada do livro “Tratamento de resíduos químicos – Guia prático para a solução dos resíduos químicos em instituições de ensino superior” de Leny Borghesan Alberguini, Luís Carlos da Silva e Maria Olímpia de Oliveira

Rezende. No trabalho desses autores mostra como surgiu a ideia de realizar o gerenciamento de resíduos químicos na Universidade de São Paulo – Campus I São Carlos e como o programa se desenvolve nessa instituição de ensino e pesquisa.

De acordo com Alberguini, Silva e Rezende (2005), a grande motivação para tratar resíduos químicos no Campus da Universidade de São Paulo em São Carlos veio do interesse dos professores do Instituto de Química de São Carlos (IQSC), que armazenavam os resíduos gerados em seus laboratórios de pesquisa à espera de tratamento adequado. Esse material armazenado constituía-se em perigoso passivo ambiental devido ao grande volume e às precárias condições de armazenamento.

Assim para acabar com essa problemática, a universidade optou pela criação de um único laboratório capaz de tratar os resíduos químicos provenientes de todos os laboratórios com atividades químicas do campus. Com isso, criava-se o Laboratório de Resíduos Químicos do Campus de São Carlos (LRQ-São Carlos).

Segundo Alberguini, Silva e Rezende (2005), esse laboratório conta com dois funcionários integralmente dedicados e com o acompanhamento da engenharia de segurança, além de vários estagiários. Os autores ressaltam que o gerenciamento dos resíduos químicos somente torna-se viável com a participação de mão-de-obra especializada e isso possibilita pesquisas, além da implementação e da avaliação de novas rotinas de trabalho que contemplem a extensa gama de resíduos gerados nos muitos laboratórios de ensino e pesquisa de uma IES.

Com isso os autores destaca-se que após o tratamento, o que era resíduo químico transforma-se em produto químico recuperado, ficando disponível para reutilização. Assim, a tomada de uma consciência ética com relação ao uso e descarte de produtos químicos busca atingir os denominados 5R's: reduzir, reutilizar, recuperar, reaproveitar e reprojeter. Reduzir a quantidade de produtos químicos utilizados, reprojeter o desenho experimental, reutilizando-os após recuperá-los e reaproveitá-los.

O Programa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Químicos foi implantado pelo LRQ-São Carlos em 1999. Esse programa se baseia nos seguintes procedimentos:

- a) rotulagem *in situ* dos frascos;
- b) acondicionamento dos resíduos para transporte seguro;
- c) envio de memorando ao LRQ-São Carlos solicitando a retirada dos resíduos químicos;
- d) transporte dos resíduos químicos até o LRQ-São Carlos;
- e) disposição adequada dos resíduos no LRQ-São Carlos;
- f) tratamento dos resíduos químicos;
- g) certificação química do produto químico recuperado;
- h) disponibilização do produto químico;
- i) disposição adequada dos resíduos não-recuperados.

As atividades (a), (b) e (c) são de inteira responsabilidade do laboratório gerador.

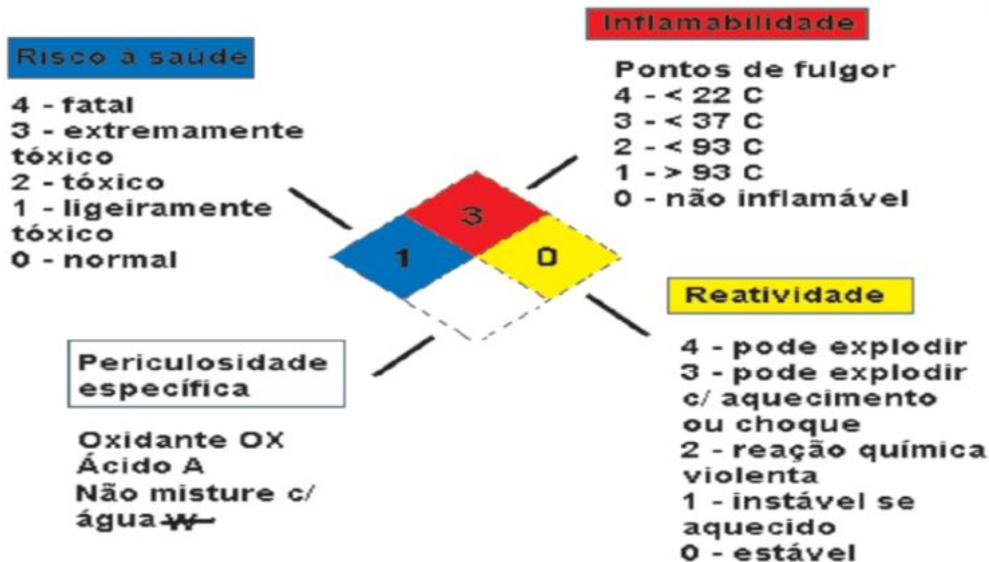
Já atividade (d) é de responsabilidade do laboratório gerador com acompanhamento de funcionários do LRQ-São Carlos. Por fim, as atividades (e), (f) e (g) são de inteira responsabilidade do LRQ-São Carlos. A atividade (h) é de responsabilidade conjunta do LRQ-São Carlos e da unidade receptora do produto químico obtido. A atividade (i) é de responsabilidade da unidade geradora sob gestão do LRQ-São Carlos.

a) rotulagem *in situ* dos frascos:

A rotulagem adotada pelo LRQ-São Carlos baseia-se numa classificação feita pela National Fire Protection Association (NFPA), que desenvolveu um sistema padrão para indicar a toxicidade, a inflamabilidade e a reatividade de produtos químicos perigosos.

Esse sistema é representado pelo Diamante do Perigo (DP), o qual é dividido em quatro quadrantes associados à periculosidade do material, variando de 1 a 4. Quanto maior o número, maior o risco. Esse rótulo possui sinais de fácil reconhecimento e entendimento, os quais podem dar uma ideia geral do comportamento do material, assim como de seu grau de periculosidade (figura 07).

Figura 7 - Diamante do Perigo para rotulagem de reagentes químicos.



Fonte: Alberguini, Silva e Rezende (2005).

Alberguini, Silva e Rezende (2005) afirmam que o laboratório gerador deve dispor os resíduos químicos em frascos devidamente rotulados e se a rotulagem não for realizada corretamente, o material não é retirado do laboratório. Os autores ressaltam que a co-responsabilidade é a base para o gerenciamento de resíduos sem esquecer o foco principal: “quem gera os resíduos é responsável por eles”.

b) acondicionamento dos resíduos para transporte seguro:

Segundo Alberguini, Silva e Rezende (2005), para que ocorra o transporte seguro dos resíduos químicos, os mesmos devem estar bem acondicionados, de forma que não ocorram acidentes (vazamentos). Assim, algumas medidas devem ser seguidas:

- respeitar o limite de 80% do volume total de seu conteúdo no preenchimento do frasco;
- os resíduos devem ser coletados em recipientes compatíveis;
- os materiais deverão ser armazenados separadamente conforme suas compatibilidades químicas, a fim de evitar a promoção de reações secundárias e a formação de novos produtos, mesmo quando em pequenos volumes;

c) envio de memorando ao LRQ-São Carlos solicitando a retirada dos resíduos químicos:

Alberguini, Silva e Rezende (2005) relembram que o laboratório gerador é sempre o responsável pelos resíduos químicos gerados. Assim, o laboratório gerador, após segregar e armazenar os resíduos em recipientes adequados, são os responsáveis por solicitar ao LRQ-São Carlos, via memorando a retirada dos mesmos.

d) transporte dos resíduos químicos até o LRQ-São Carlos:

Ainda de acordo com Alberguini, Silva e Rezende (2005), a coleta dos resíduos químicos, após estarem devidamente rotulados e acondicionados de tal forma que não ocorram vazamentos durante o transporte, é realizada pelo LRQ-São Carlos, supervisionado por um responsável do laboratório gerador. O agendamento das coletas é definido pelo LRQ-São Carlos, não sendo recebidos resíduos químicos entregues por terceiros.

e) disposição adequada dos resíduos no LRQ-São Carlos:

Ao chegar ao LRQ-São Carlos, todos os recipientes contendo os resíduos químicos são segregados de acordo com suas características indicadas no DP e transferidos para um Entrepasto de Armazenamento, onde são acomodados respeitando-se a ficha de suas compatibilidades químicas. O resíduo químico permanece armazenado no Entrepasto até o momento em que é tratado ou destinado a um local adequado.

f) tratamento dos resíduos químicos:

Conforme Alberguini, Silva e Rezende (2005), os processos mais comuns de tratamento envolvem a destilação, a precipitação e a neutralização. No entanto, é premente que se pesquisem novos tratamentos, pois rotineiramente chegam resíduos gerados de novas pesquisas. No campus de São Carlos optou-se por um único laboratório de tratamento de resíduos químicos, tornando mais econômico e funcional o gerenciamento dos resíduos.

g) certificação química do produto químico recuperado:

Para disponibilizar o produto químico após o tratamento e recuperação dos resíduos químicos, devem ser realizadas determinações químicas que assegurem a pureza do produto, para que o mesmo possa ser disponibilizado para reutilização.

h) disponibilização do produto químico:

Alberguini, Silva e Rezende (2005) relatam que a disponibilização do produto químico acontece por meio do programa Bolsa de Resíduos Químicos, o qual surgiu das necessidades encontradas de atender a outras instituições de ensino e pesquisa, na divulgação de produtos recuperados e na troca de materiais e informações encontradas.

Os autores explicam que por meio da Bolsa de Resíduos Químicos, o material recebido é identificado, classificado e recuperado no LRQ-São Carlos, ficando disponível aos interessados via correio eletrônico.

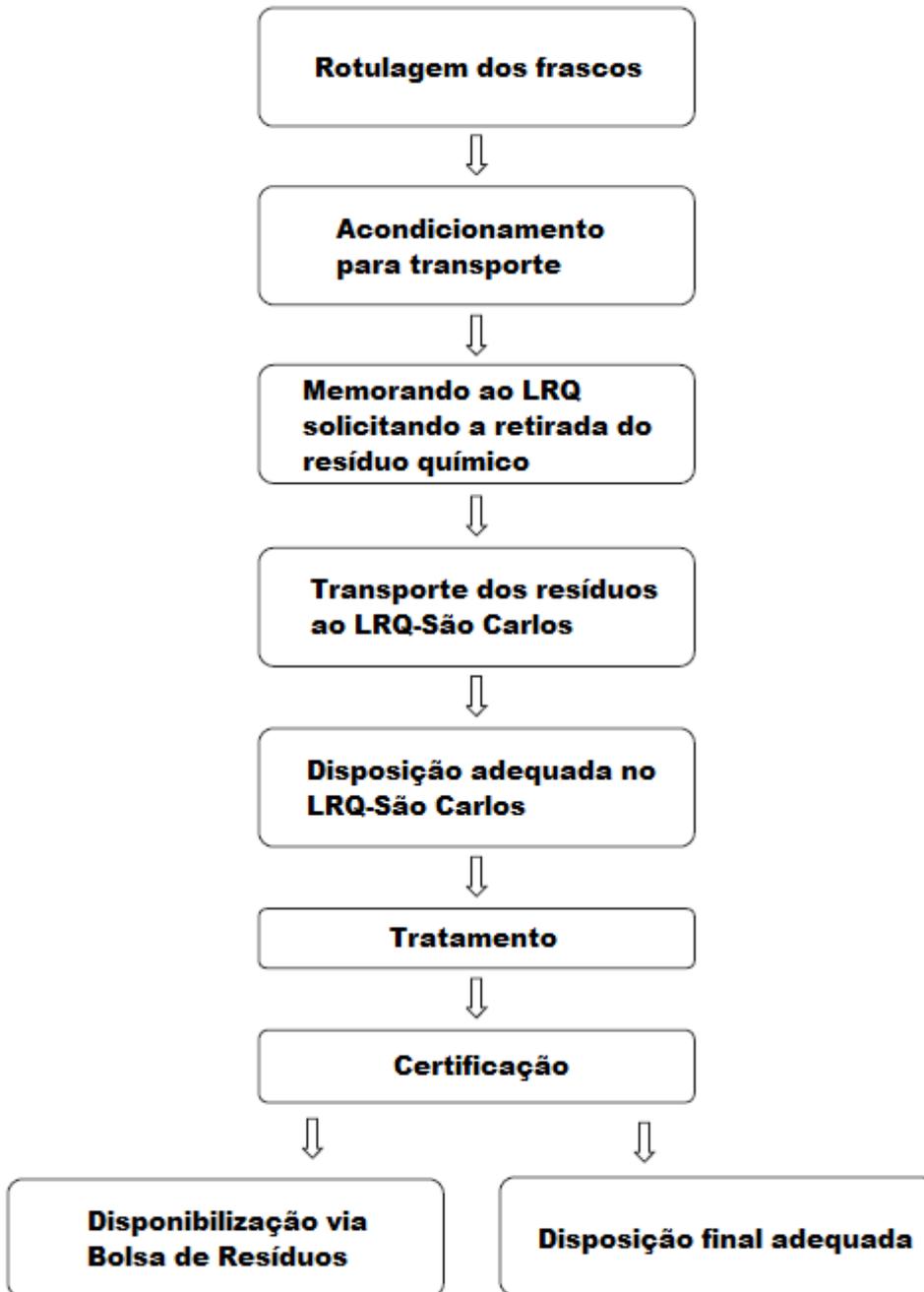
Com consequência desse programa, houve agilização no reaproveitamento e troca de produtos recuperados entre as diversas instituições. Tal fato trouxe benefícios ao ambiente pela diminuição do volume de resíduos descartados e, também, pela economia em relação à compra de novos produtos.

i) disposição adequada dos resíduos não-recuperados:

Alberguini, Silva e Rezende (2005) afirmam que devido a implantação do programa de gerenciamento e com o tratamento realizado pelo LRQ-São Carlos, o material residual não passível de tratamento soma 20% do total recebido. Esse material residual é disposto em bombonas por classe de materiais e o mesmo é encaminhado à incineração ou ao aterro industrial para disposição final.

Com o objetivo de facilitar a compreensão do processo de gerenciamento dos resíduos químicos. Alberguini, Silva e Rezende (2005) apresentam o seguinte fluxograma dos procedimentos utilizados para a implantação do programa pelo LRQ-São Carlos (figura 08):

Figura 8 - Fluxograma dos procedimentos utilizados para a implantação do PGRQ pelo LRQ-São Carlos.

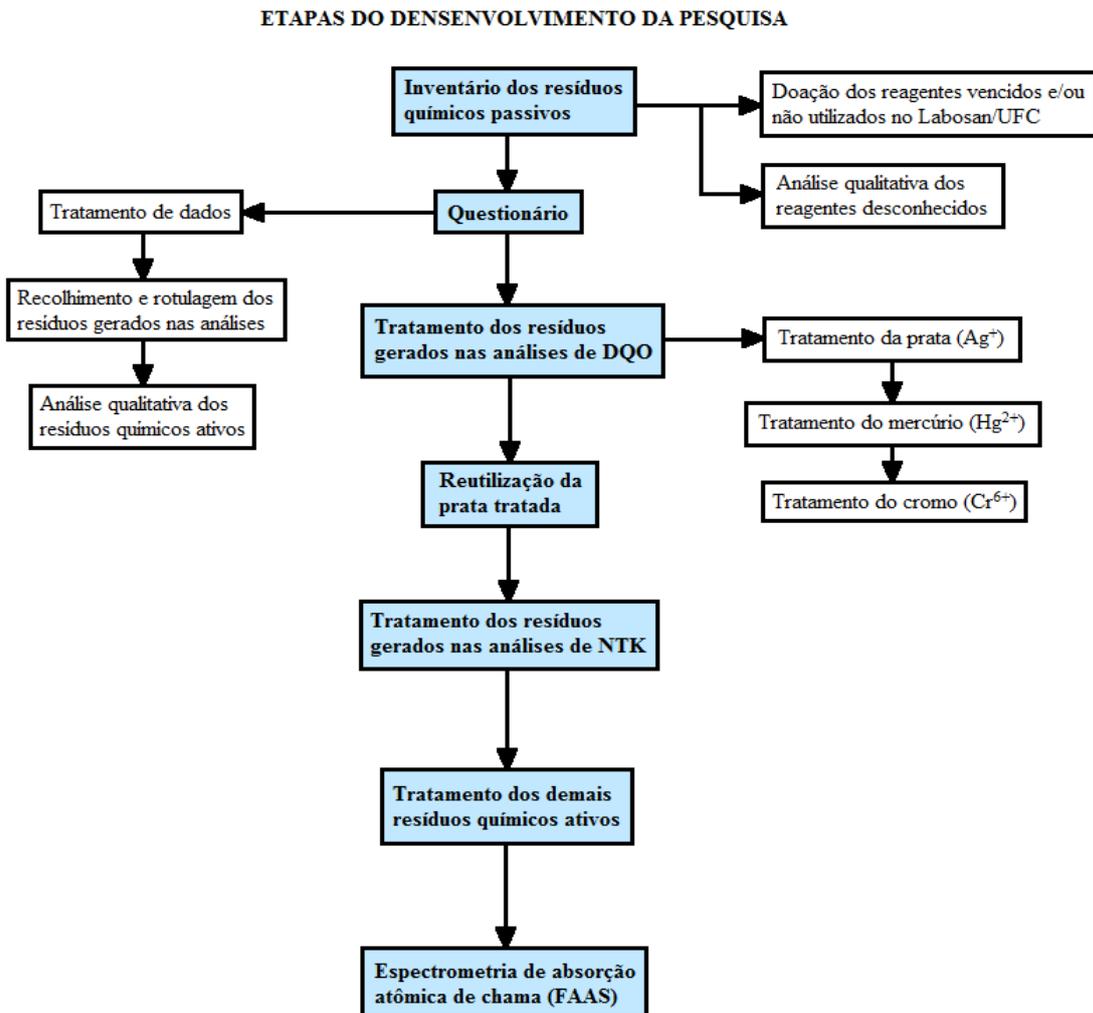


Fonte: ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2005.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção foram descritos os passos seguidos para a realização da pesquisa, visando atingir os objetivos propostos. Assim, a metodologia foi dividida em: inventário dos resíduos químicos passivos, questionário e análise qualitativa dos resíduos químicos ativos, tratamento dos resíduos gerados nas análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO) (prata, mercúrio e cromo), reutilização da prata tratada, tratamento dos resíduos gerados nas análises de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), tratamento dos demais resíduos químicos ativos e análise de espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS). (figura 09).

Figura 9 - Etapas do desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 Inventário dos resíduos químicos passivos

O inventário foi realizado no Laboratório de Saneamento Ambiental (Labosan) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da UFC. O formulário utilizado para elaboração do inventário foi cedido pelo Programa de Gerenciamento de Resíduos (PROGERE) da UFC (ANEXO A). Primeiramente, os resíduos químicos gerados no laboratório foram identificados como resíduos químicos ativos e resíduos químicos passivos. Foram classificados como resíduos químicos ativos aqueles resíduos gerados das análises rotineiras do laboratório. Já os resíduos químicos passivos seriam aqueles resíduos gerados das análises não rotineiras estocados no laboratório, ou ainda, aqueles reagentes vencidos e/ou não utilizados armazenados no Labosan. Com isso, observou-se que o laboratório não continha resíduos químicos passivos originados das análises não rotineiras, assim, apenas os reagentes vencidos e/ou não utilizados armazenados no laboratório foram inventariados. Para o preenchimento do formulário foram observadas as seguintes características dos resíduos químicos passivos: nome do reagente, quantidade dos reagentes, forma de acondicionamento (metal, vidro, plástico, outros) e observações.

4.1.1 Doação dos reagentes vencidos e/ou não utilizados no Labosan/UFC

Após a elaboração do inventário, os dados obtidos foram organizados numa planilha do Excel. Nesse inventário, além das informações necessárias como o nome dos reagentes, a quantidade e a forma de acondicionamento, foram anotadas observações como: data de validade dos reagentes, o estado do reagente (pedrado, lacrado, coloração suspeita ou possível contaminação), estado físico do reagente, estado do acondicionamento/embalagem e qualidade do rótulo.

Com o inventário estruturado, foi apresentada a situação da geração e gerenciamento dos resíduos químicos passivos na unidade para o professor coordenador do Labosan. A partir disso, foi apresentada uma sugestão para reutilizar os reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan e, conseqüentemente, reduzir esses resíduos químicos

passivos na unidade. Assim, foi proposta a doação desses reagentes vencidos e/ou não utilizados para outras unidades e laboratórios da UFC.

4.1.2 Análise qualitativa dos reagentes não identificados

Durante o inventário, foi necessário classificar alguns reagentes químicos passivos do Labosan como reagentes não identificados, pois a identificação dessas substâncias era desconhecida. A falta de identificação desses produtos químicos foi devido ao péssimo estado dos rótulos, alguns de difícil visualização: rótulos rasgados ou apagados. Além disso, alguns reagentes não continham mais o rótulo na sua embalagem. Assim, essas substâncias foram encaminhadas para o Laboratório de Química Analítica Qualitativa no Departamento de Química Analítica e Físico-química (DQAFQ) do Centro de Ciências da UFC, onde foram realizados testes analíticos qualitativos para a identificação das mesmas (KING, 1981). Após a identificação, os mencionados reagentes foram encaminhados para a doação.

4.2 Questionário

Existem diversos instrumentos de coleta de dados, sendo o questionário um dos métodos mais comuns. Tanto nas entrevistas como nos questionários dá-se um grande peso aos relatórios verbais dos entrevistados para a obtenção de informações sobre os estímulos ou experiências a que estão expostos e para o conhecimento de seus comportamentos. Conforme o tipo de pergunta, os questionários podem ser classificados em três categorias: questionários com perguntas fechadas, com perguntas abertas e os que combinam ambos os tipos de perguntas (RICHARDSON, 1985).

Para a obtenção dos dados dos resíduos químicos ativos do Labosan foi elaborado um questionário (APÊNDICE A), onde se buscou identificar os principais resíduos químicos ativos gerados no laboratório, bem como medir o conhecimento e/ou o nível de informação dos usuários quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos químicos.

Assim, esse questionário foi aplicado na população envolvida com a manipulação de produtos químicos e geração de resíduos químicos no laboratório, ou seja, o mesmo foi aplicado com os seguintes usuários: alunos de iniciação científica (graduação), alunos de mestrado e doutorado (pós-graduação) e técnicos.

De acordo com Gil (2010), a elaboração de questionários consiste em traduzir os objetivos específicos da pesquisa em questões bem redigidas. Dessa forma, foi planejada, previamente, a estrutura de todas as questões que deveriam ser abordadas no questionário para fornecer um diagnóstico sobre a situação da geração e gerenciamento dos resíduos químicos do laboratório em estudo, ou seja, o que é feito com o resíduo desde sua geração até o destino final. Assim, foi elaborado um questionário constituído de 10 questões fechadas, as quais são referentes aos tipos de análises realizadas no laboratório, descarte de resíduos, preocupação quanto aos impactos ambientais e destinação dos resíduos químicos. Além disso, na construção do questionário foram levados em consideração alguns princípios presentes na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/1981), na Lei da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e em alguns princípios sobre a classificação dos resíduos químicos.

Na elaboração desse questionário buscou-se, ainda, uma organização clara, concisa e de fácil compreensão dos respondentes, de modo que o usuário não necessitasse dispor de muito tempo para responder, sendo outra preocupação referente à sua elaboração para obter mais retorno. Algumas questões foram elaboradas, buscando-se também a imparcialidade, deixando alternativas em aberto para que os sujeitos pudessem indicar alguma outra informação que julgassem importante para acrescentar nesse estudo. No entanto, não foi possível a imparcialidade em todas as questões, pois algumas buscavam medir conhecimento e/ou nível de informação dos usuários do laboratório quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos químicos.

4.2.1 Tratamento dos dados

Após a elaboração do questionário, o mesmo foi aplicado com os usuários do Labosan até se atingir a meta de 80% dos usuários. Vale ressaltar que até agosto/2013, a população do Labosan era em torno de 30 pessoas, destas 25 responderam ao questionário, o que corresponde a 83,33% dos usuários. Assim, iniciou-se a fase de tratamento de dados para se obter os principais resíduos químicos ativos gerados no Labosan, bem como medir o conhecimento e/ou o nível de informação dos usuários do laboratório quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos químicos.

4.2.2 Recolhimento e rotulagem dos resíduos gerados nas análises

Tratados e analisados os dados, bem como os gráficos elaborados, foi possível conhecer as 10 análises mais realizadas no Labosan e, conseqüentemente, as 10 análises que mais geram resíduos químicos, são elas: amônia, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrito, nitrato, fósforo total, alcalinidade, sólidos totais, pH e cromatografia - biogás. A partir disso, buscou-se o recolhimento dos resíduos dessas análises em recipientes separados, os quais foram rotulados adequadamente.

No entanto, dentre as 10 análises mais realizadas no Labosan, o procedimento experimental de três análises não geram resíduos químicos, são elas: pH, sólidos totais e cromatografia – biogás. Assim, os resíduos químicos coletados das sete análises mais realizadas foram encaminhados para o Laboratório de Química Analítica Qualitativa no Departamento de Química Analítica e Físico-química da UFC para análise qualitativa.

Vale ressaltar que até o início da pesquisa, o Labosan não apresentava rótulos adequados para uma gestão apropriada dos resíduos químicos ativos gerados. Com isso, foi elaborado um rótulo para identificação dos mesmos (figura 10). Além disso, foi determinado um local para o armazenamento desses resíduos.

Figura 10 - Rótulo para identificação dos resíduos químicos.



RESÍDUOS QUÍMICOS

Laboratório Gerador: Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN).

Análise: _____

Observação: _____

PREENCHER DE FORMA LEGÍVEL!
TODOS OS RECIPIENTES CONTENDO RESÍDUOS QUÍMICOS
DEVEM ESTAR INDIVIDUALMENTE ROTULADOS.

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Análise qualitativa dos resíduos químicos ativos

Após a aplicação e tratamento dos dados do questionário, havia a necessidade de se analisar qualitativamente cada um dos sete resíduos químicos ativos mais gerados no Labosan. A análise qualitativa desses resíduos se faz importante, pois através da mesma é possível fazer a caracterização dos resíduos, ou seja, conhecer quais cátions e ânions estão presentes nessas amostras, sendo propostos tratamentos adequados de acordo com a característica de cada um.

Como falado anteriormente, três dentre as 10 análises mais realizadas no Labosan não geram resíduos químicos e, portanto, não serão necessários tratamentos. Contudo, as outras sete análises mais realizadas e que, portanto, devem gerar mais resíduos químicos no laboratório em estudo, são: DQO, NTK, alcalinidade, amônia, nitrito, nitrato e fósforo.

Para efetuar a análise qualitativa desses sete resíduos químicos, os cátions são identificados através de divisões de grupos (1º grupo de cátions ao 5º grupo de cátions) e os ânions são identificados através de testes de identificação específicos para cada um dos íons (KING, 1981).

4.3 Tratamento dos resíduos gerados nas análises de DQO

Durante os testes analíticos qualitativos, os resíduos químicos ativos gerados das análises de DQO (APHA, 2005) apresentaram resultado positivo para dois cátions, ou melhor, para dois metais pesados, havendo a necessidade de tratamento dos mesmos. Os metais pesados encontrados durante os testes foram: prata (Ag^+) e mercúrio (Hg^{2+}).

No entanto, ao analisar os reagentes utilizados numa análise de DQO, observou-se que o metal pesado cromo (Cr^{6+}) deve estar na composição dos resíduos químicos gerados dessa análise. Contudo, dentre os testes analíticos efetuados, não havia nenhum teste para a identificação do cromo hexavalente (Cr^{6+}), assim não foi possível obter nenhum resultado positivo para o mesmo. Todavia, pela presença do reagente dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) durante a preparação da solução digestora utilizada na DQO, podemos afirmar que o metal pesado cromo hexavalente (Cr^{6+}) também está presente na composição desse resíduo e, portanto, deve ser tratado.

4.3.1 Tratamento e recuperação da prata

A partir do resultado positivo obtido para a prata (Ag^+) durante os testes analíticos qualitativos, iniciou-se a etapa de tratamento desse metal pesado. Foram realizadas seis metodologias diferentes de tratamento e recuperação da prata, onde os procedimentos apresentaram diferenças devido a variações sofridas na temperatura, no tempo de aquecimento e nas quantidades, nos estados físicos e nas variações dos reagentes adicionados em cada procedimento.

Todas as variações propostas nas seis metodologias de tratamento desse metal foram realizadas após obter o resultado do tratamento anterior e verificar a necessidade de modificar o método buscando aumentar o rendimento e a eficiência da metodologia de tratamento utilizada. Assim, o 6º tratamento apenas foi realizado após a obtenção do resultado do 5º tratamento, assim como o 5º tratamento apenas foi realizado após a obtenção do resultado do 4º tratamento e assim respectivamente.

4.3.1.1 1º Tratamento e recuperação da prata

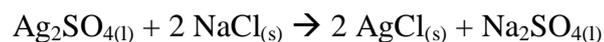
No primeiro tratamento da prata, foi seguida a metodologia descrita no “Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias” (OLIVEIRA; SILVA, 2006). No entanto, alguns passos foram adaptados para melhorar o tratamento do resíduo de DQO do Labosan.

I. reagentes:

- ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄);
- cloreto de sódio (NaCl);
- hidróxido de amônio (NH₄OH);
- pedaços de fios de cobre;

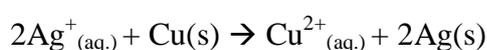
II. procedimento experimental:

- a) adicionar 10g de cloreto de sódio (NaCl) para cada 2L da solução final da DQO, para precipitar a prata. Misturar. Neste ponto a solução apresentará um aspecto leitoso, devido à formação do precipitado AgCl;



- b) deixar em repouso por até três dias;
- c) testar se o sobrenadante ainda contém prata, com a adição de cloreto de sódio (NaCl) a um pouco do sobrenadante. Se necessário, adicionar mais NaCl à totalidade do líquido. Misturar e deixar em repouso. Enquanto necessário, repetir sucessivamente esta operação, até que o sobrenadante não forme mais precipitado;
- d) drenar o líquido sobrenadante. Armazenar para realizar o tratamento do mercúrio (Hg²⁺) e do cromo (Cr⁶⁺) e realizar a análise de absorção atômica;
- e) transferir o sólido para um frasco de Erlenmeyer de 2000 ml;
- f) proceder várias lavagens do precipitado com água mili-Q, agitando e deixando a suspensão em repouso para, em seguida, drenar o sobrenadante. O precipitado apresentará cor branca;

- g) dissolver, sob agitação, o sólido com hidróxido de amônio (NH₄OH). Continuar a adição de hidróxido de amônio (NH₄OH), enquanto existir precipitado;
- h) filtrar a vácuo utilizando papel filtro de pequena porosidade ou papel filtro de fibra de vidro;
- i) transferir o filtrado para outro frasco Erlenmeyer;
- j) colocar pedaços de arame de cobre limpos dentro do erlenmeyer que contém o filtrado, deixar em repouso durante um dia para que se proceda a reação de substituição da prata por cobre no complexo amoniacal;



- k) remover os pedaços de cobre, retirar o sobrenadante e armazená-lo para posterior tratamento do cobre e realizar a análise de absorção atômica;
- l) lavar várias vezes o precipitado para retirar o excesso de hidróxido de amônio (NH₄OH), deixando em repouso durante 1 a 2 horas após cada lavagem;
- m) adicionar cerca de 5 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), para remover algum hidróxido eventualmente presente;
- n) lavar o precipitado 5 a 6 vezes com água mili-Q, para retirar o ácido sulfúrico em excesso, deixando em repouso por uma hora após cada lavagem. Retirar o sobrenadante;
- o) secar a prata metálica em estufa a 103°C, durante 1 hora;
- p) dessecar e proceder a pesagem da prata;
- q) repetir os itens o e p até que a prata apresente peso constante (OLIVEIRA; SILVA, 2006).

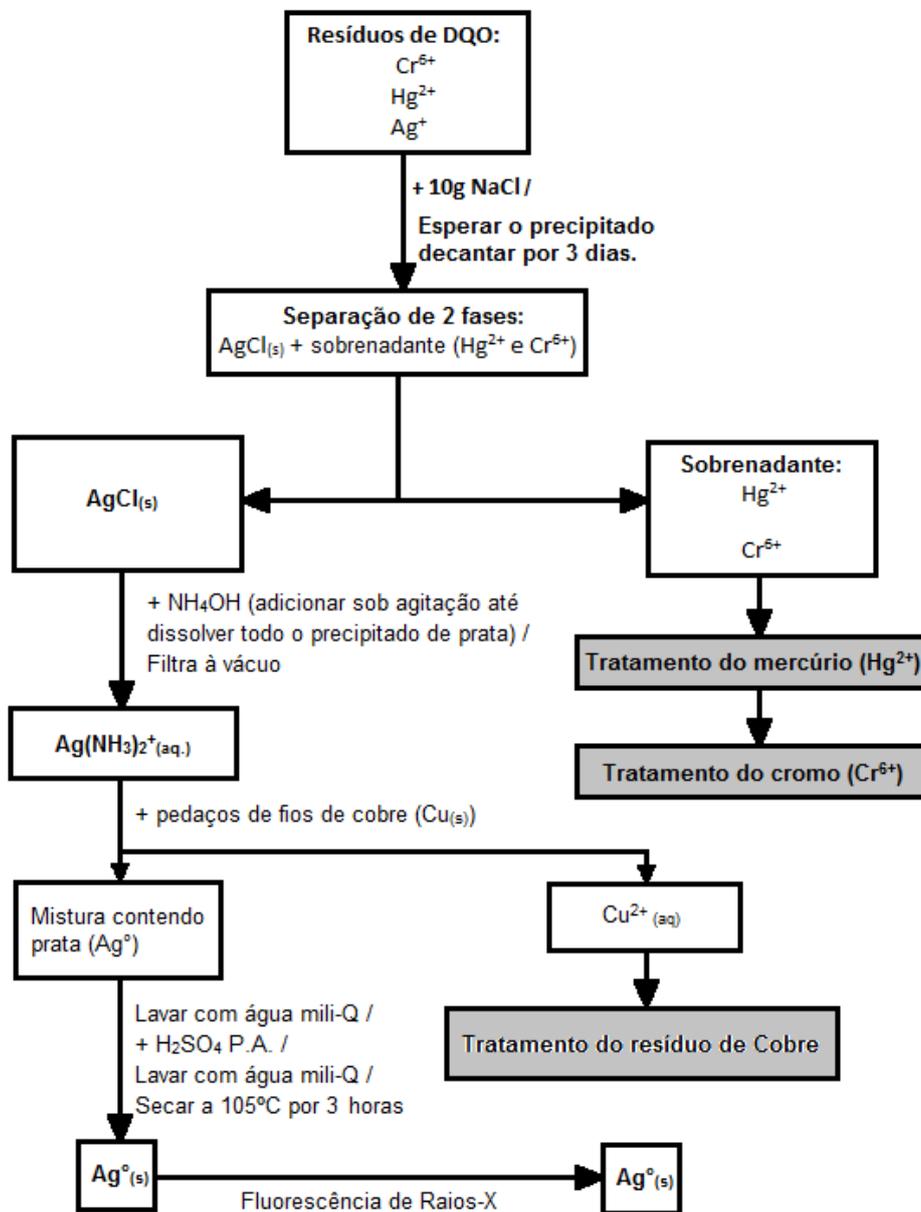
Após a secagem completa da prata, a mesma foi macerada utilizando o almofariz e pistilo, guardada num eppendorf devidamente etiquetado e enviado para o Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para a análise de fluorescência de raios-X. Essa análise é realizada para obtermos a composição percentual do sólido em estudo. Foi possível perceber que esse procedimento diferentemente dos procedimentos seguintes, gera um resíduo de cobre devido à adição de pedaços de fios de cobre para a redução da prata (Ag⁺) para prata metálica (Ag⁰), como descrito no item j.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 1º tratamento e recuperação da prata, assim como o resíduo de cobre gerado é mostrado no fluxograma da figura 11.

Figura 11 - 1º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.

Fluxograma - 1º Tratamento da prata (Ag^0) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.2 2º, 3º e 4º Tratamento e recuperação da prata

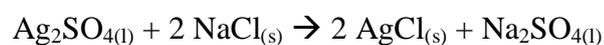
O 2º, 3º e 4º tratamento e recuperação da prata foram realizados tendo como base o 1º tratamento e recuperação da prata, sob o qual foram feitas algumas observações e adaptações em busca de um tratamento mais rápido, econômico e que obtivesse uma maior pureza da prata metálica (Ag^0). Esses três tratamentos de recuperação da prata (2º, 3º e 4º) apresentaram diferenças devido a variações sofridas no tempo de aquecimento, nas quantidades e nos estados físicos dos reagentes adicionados em cada procedimento. Nessas metodologias iniciou-se a utilização do método da dextrose para a redução da prata presente no cloreto de prata (AgCl) à prata metálica (Ag^0), evitando assim a utilização de fios de cobre (1º tratamento) para realizar essa redução e evitando a geração de resíduos de cobre. O 2º tratamento apenas foi realizado após o recebimento dos resultados do 1º tratamento e recuperação da prata efetuado anteriormente. Contudo, esses três processos utilizaram os mesmos reagentes, que são os seguintes:

I. reagentes:

- acetona P.A.;
- ácido clorídrico (HCl);
- cloreto de sódio (NaCl);
- dextrose;
- hidróxido de amônio (NH_4OH);
- hidróxido de sódio (NaOH);

II. procedimento experimental do 2º tratamento e recuperação da prata:

- a) adicionar 10g de NaCl para cada 2L da solução final da DQO, para precipitar a prata. Misturar. Neste ponto a solução apresentará um aspecto leitoso, devido à formação do precipitado AgCl ;



- b) deixar em repouso por até três dias;

- c) testar se o sobrenadante ainda contém prata, com a adição de NaCl a um pouco do sobrenadante. Se necessário, adicionar mais NaCl à totalidade do líquido. Misturar e deixar em repouso. Enquanto necessário, repetir sucessivamente esta operação, até que o sobrenadante não forme mais precipitado;
- d) drenar o líquido sobrenadante do béquer. Armazenar para realizar o tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) e do cromo (Cr^{6+}) e realizar a análise de absorção atômica;
- e) proceder várias lavagens do precipitado com água mili-Q, agitando e deixando a suspensão em repouso. O sobrenadante deve ser drenado após cada lavagem. Por fim, o precipitado apresentará cor branca e o mesmo deve ser transferido para um frasco de Erlenmeyer de 2000 ml;
- f) dissolver, sob agitação, o sólido com hidróxido de amônio (NH_4OH). Continuar a adição de hidróxido de amônio (NH_4OH), enquanto existir precipitado;
- g) filtrar a vácuo utilizando papel filtro de pequena porosidade ou papel filtro de fibra de vidro;
- h) transferir o filtrado para um béquer;
- i) adicionar ácido clorídrico P.A. para ocorrer a formação do precipitado cloreto de prata (AgCl) novamente. A adição de ácido clorídrico P.A. deve ser feita até que a quantidade do precipitado formado não se altere mais;
- j) remover o sobrenadante. Lavar várias vezes o precipitado para retirar o excesso de hidróxido de amônio (NH_4OH) e ácido clorídrico (HCl), deixando em repouso após cada lavagem até que duas camadas totalmente separadas tenham se formado e possibilite a retirada do sobrenadante sem que perca o precipitado;
- k) secar o cloreto de prata em estufa a 105°C , durante 1 hora;
- l) dessecar e proceder a pesagem do cloreto de prata;
- m) repetir os itens k e l até que o cloreto de prata apresente peso constante.

Após a secagem completa do cloreto de prata, o sólido foi macerado utilizando o almofariz e pistilo, guardado num eppendorf devidamente etiquetado e enviado para o

Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual do sólido em estudo.

Após a análise de fluorescência de raios-X, iniciou-se a recuperação da prata pelo método da dextrose, cujo objetivo é reduzir a prata (Ag^+) do cloreto de prata, obtido no tratamento da prata, à prata metálica (Ag^0). Assim, realizou-se o seguinte procedimento: (FELISBERTO et al., 2008).

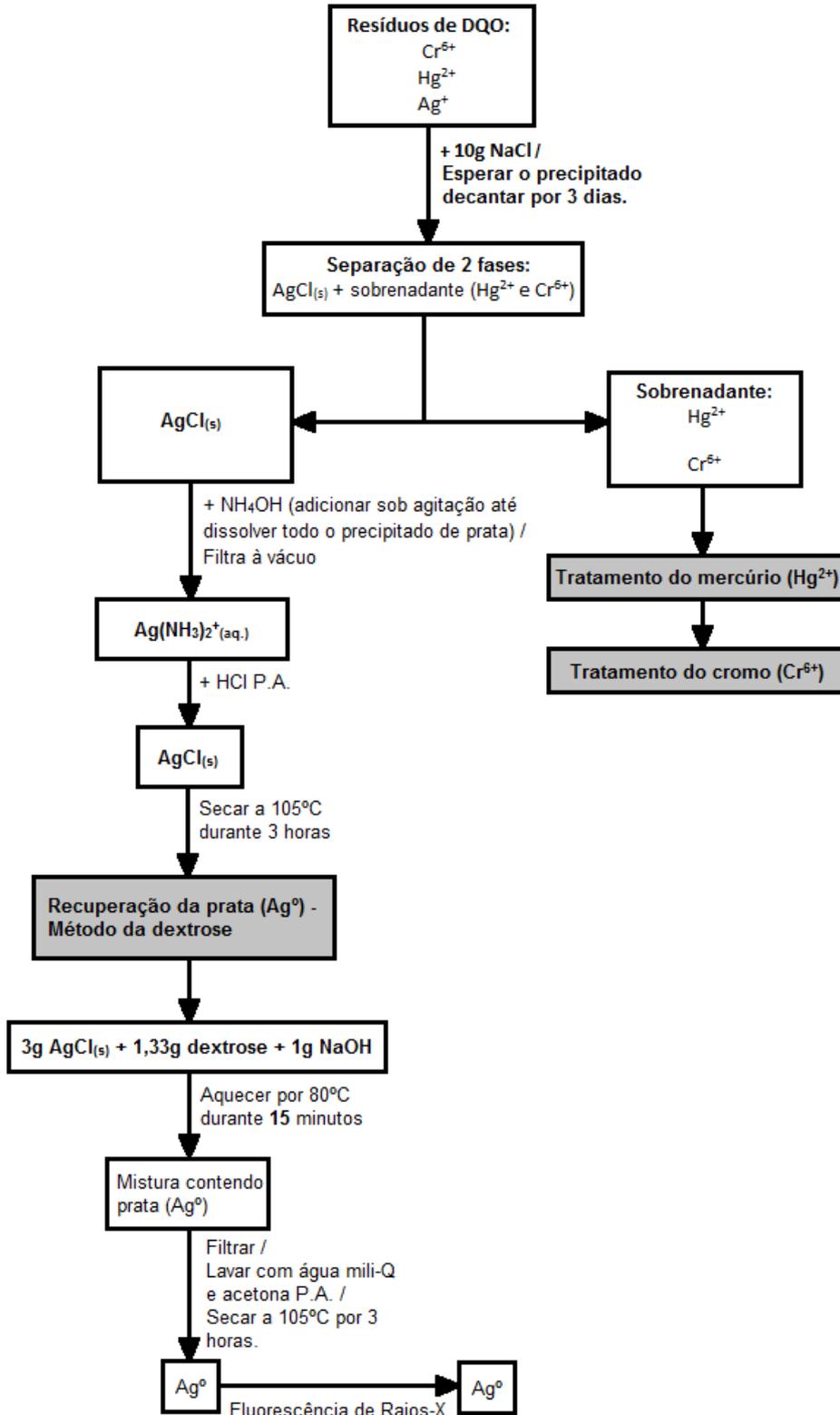
- n) pesar 3g do cloreto de prata (AgCl);
- o) adicionar 1,33g de dextrose e 1g hidróxido de sódio (NaOH). A reação deve ser realizada a temperatura de 80°C durante 15 minutos. O produto formado será uma mistura contendo prata;
- p) filtrar a mistura e lavar com água mili-Q e com acetona P.A.;
- q) secar a prata metálica (Ag^0) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
- r) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
- s) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual da prata metálica obtida após a recuperação pelo método da dextrose.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 2º tratamento e recuperação da prata é mostrado no fluxograma da figura 12.

Figura 12 - 2º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.

Fluxograma - 2º Tratamento da prata (Ag^0) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

III. procedimento experimental do 3º tratamento e recuperação da prata:

O procedimento realizado no 3º tratamento e recuperação da prata é basicamente o mesmo efetuado no 2º tratamento e recuperação da prata. O tratamento da prata realizado nos resíduos de DQO é o mesmo, a diferença ocorre durante a recuperação da prata pelo método da dextrose, pois no 3º tratamento e recuperação da prata as quantidades adicionadas dos reagentes dextrose e hidróxido de sódio são muito superiores às adicionadas no 2º tratamento e recuperação da prata. Além disso, a quantidade de cloreto de prata (AgCl) proveniente do tratamento da prata dos resíduos de DQO é duplicada para realizar a reação. Outra condição alterada foi o tempo de aquecimento da reação entre esses três reagentes, o qual também foi duplicado. A quantidade desses reagentes e o tempo de aquecimento foram elevados no 3º tratamento com o objetivo de melhorar o rendimento da reação e obter mais e numa qualidade (pureza) melhor o produto formado (Ag^0), essas variações foram propostas após o recebimento do resultado do 2º tratamento e recuperação da prata. Vale ressaltar que os estados físicos desses três reagentes é o mesmo no 2º e 3º tratamento e recuperação da prata, os mesmo foram adicionados e reagidos no estado sólido.

Com isso, sabendo que o tratamento da prata efetuado foi o mesmo, foi detalhado apenas o procedimento a partir da recuperação da prata. Assim, após a análise de fluorescência de raios-X realizada no cloreto de prata (AgCl), obtido no 3º tratamento da prata, foi realizada a seguinte recuperação da prata pelo método da dextrose, cujo objetivo é reduzir a prata (Ag^+) à prata metálica (Ag^0):

- n) pesar 6g do cloreto de prata (AgCl);
- o) adicionar 20g de dextrose e 10g hidróxido de sódio (NaOH). A reação deve ser realizada a temperatura de 80°C durante 30 minutos. O produto formado será uma mistura contendo prata;
- p) filtrar a mistura e lavar com água mili-Q e com acetona P.A.;
- q) secar a prata metálica (Ag^0) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
- r) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
- s) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição

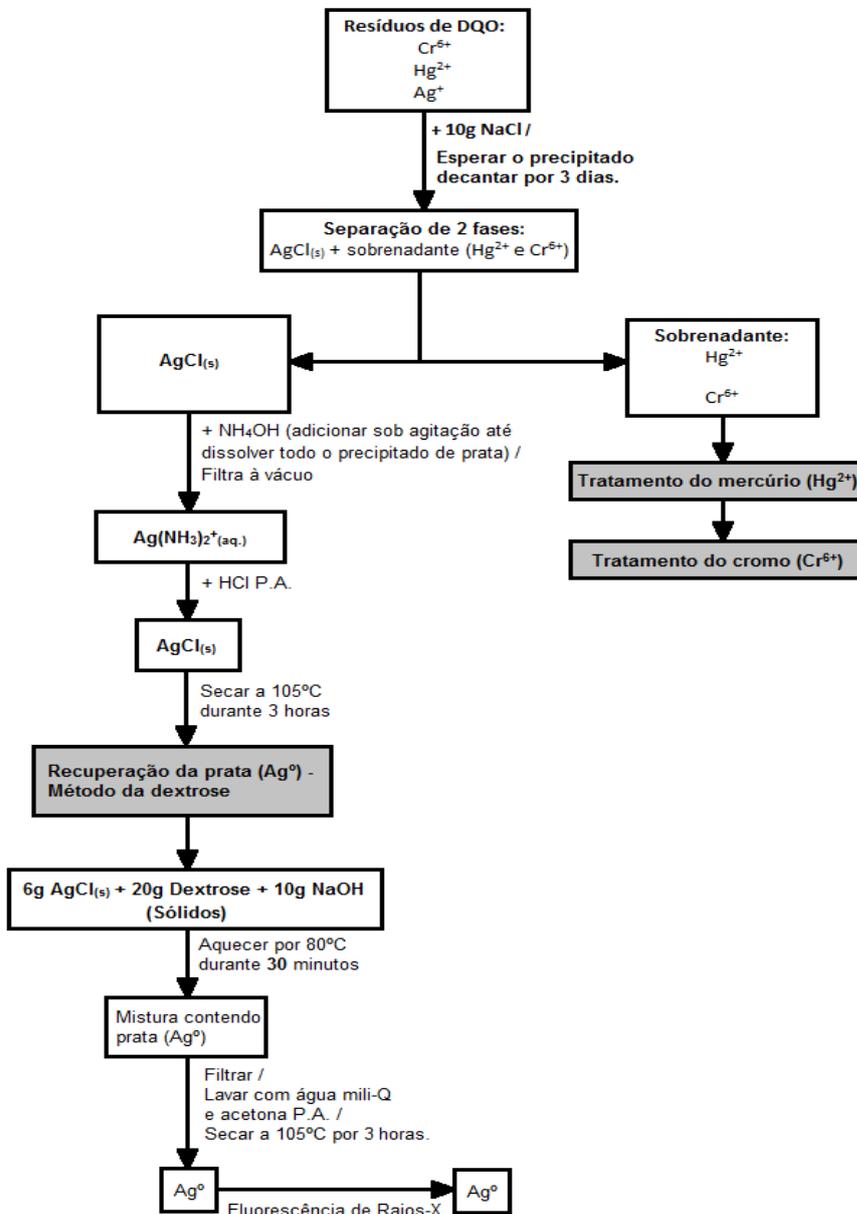
percentual da prata metálica obtida após a recuperação pelo método da dextrose.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 3º tratamento e recuperação da prata é mostrado no fluxograma da figura 13.

Figura 13 - 3º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.

Fluxograma - 3º Tratamento da prata (Ag^0) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

IV. procedimento experimental do 4º tratamento e recuperação da prata:

O procedimento realizado no 4º tratamento e recuperação da prata é basicamente o mesmo efetuado no 2º e 3º tratamento e recuperação da prata. O tratamento realizado nos resíduos de DQO é o mesmo, a diferença ocorre durante a recuperação da prata pelo método da dextrose, pois no 4º tratamento e recuperação da prata, além das quantidades adicionadas dos reagentes dextrose e hidróxido de sódio ser muito superiores às adicionadas no 2º tratamento e recuperação da prata e o tempo de aquecimento da reação ter sido duplicado, o estado físico dos três reagentes envolvidos na reação de recuperação da prata é alterado. A quantidade do cloreto de prata, dextrose e hidróxido de sódio e o tempo de aquecimento da reação foram mantidos os mesmos do 3º tratamento e recuperação da prata. No entanto, os estados físicos dos três reagentes (AgCl , dextrose e NaOH) foram alterados e os mesmos foram adicionados em forma de soluções. O objetivo dessa alteração no 4º tratamento é melhorar o rendimento da reação e obter mais e numa qualidade (pureza) melhor o produto formado (Ag^0). Além disso, buscou-se comparar o tempo e a facilidade com que o produto formado (mistura contendo prata) na recuperação da prata (método da dextrose) iria ser filtrado. Essas variações foram propostas após o recebimento do resultado do 3º tratamento e recuperação da prata.

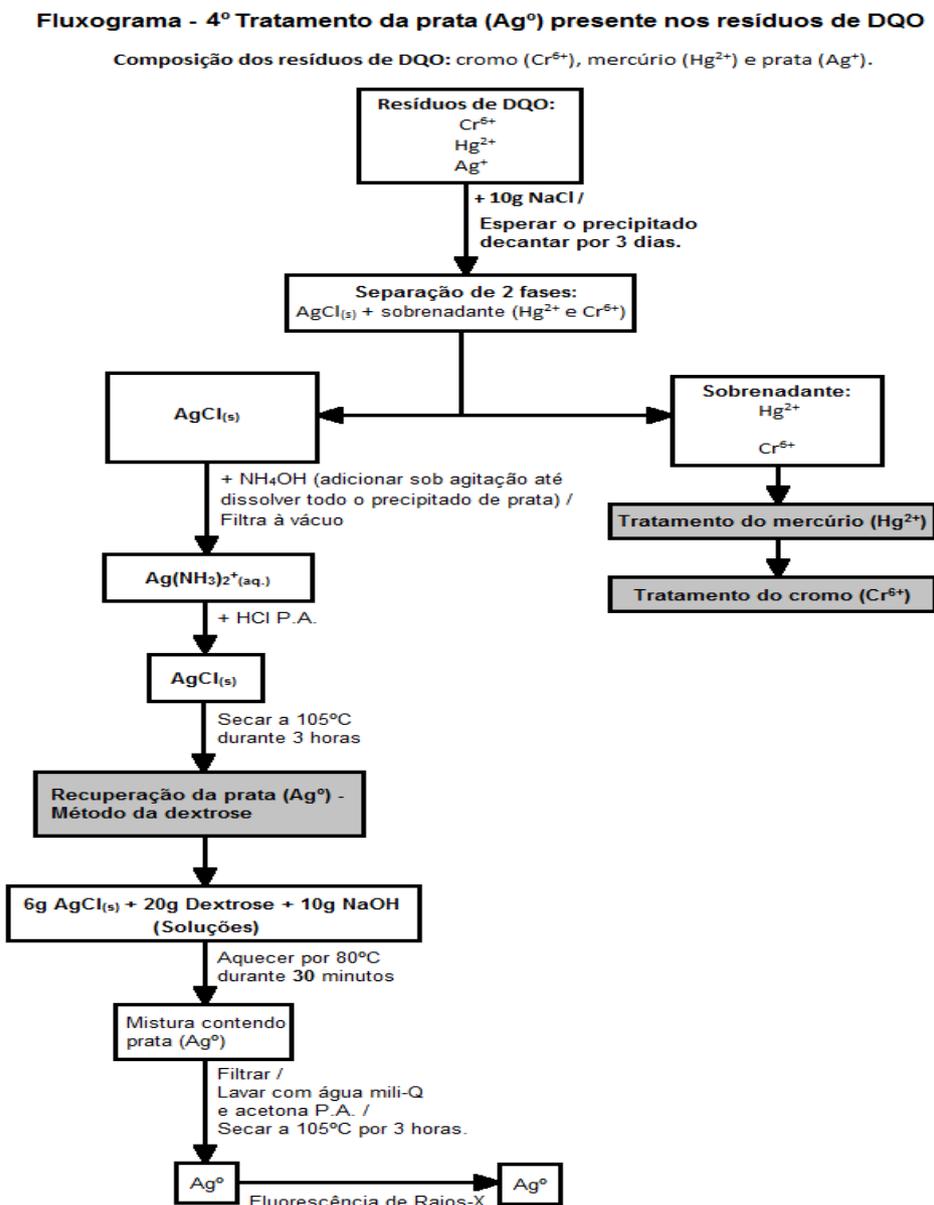
Com isso, sabendo que o tratamento da prata efetuado foi o mesmo, foi detalhado apenas o procedimento a partir da recuperação da prata. Assim, após a análise de fluorescência de raios-X realizada no cloreto de prata (AgCl), obtido no 4º tratamento da prata, foi realizada a seguinte recuperação da prata pelo método da dextrose, cujo objetivo é reduzir a prata (Ag^+) à prata metálica (Ag^0):

- n) pesar 6g do cloreto de prata e adicionar água mili-Q (solução);
- o) adicionar 20g de dextrose (solução) e 10g hidróxido de sódio (solução). A reação deve ser realizada a temperatura de 80°C durante 30 minutos. O produto formado será uma mistura contendo prata;
- p) filtrar a mistura e lavar com água mili-Q e com acetona P.A.;
- q) secar a prata metálica (Ag^0) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
- r) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;

- s) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual da prata metálica obtida após a recuperação pelo método da dextrose.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 4º tratamento e recuperação da prata é mostrado no fluxograma da figura 14.

Figura 14 - 4º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.3 5º e 6º Tratamento e recuperação da prata

O 5º e 6º tratamento e recuperação da prata foram realizados tendo como base as experiências obtidas com o 2º, 3º e 4º tratamento e recuperação da prata, sob os quais foram feitas algumas adaptações em busca de um tratamento mais rápido, econômico e que obtivesse uma maior pureza da prata metálica (Ag^0).

O 5º e 6º tratamento e recuperação da prata apresentaram diferenças entre eles apenas devido à variação sofrida no tempo de aquecimento durante o método da dextrose, pois as demais condições (quantidade e estado físico dos reagentes) entre esses dois tratamentos foram mantidos os mesmos, assim como os reagentes utilizados:

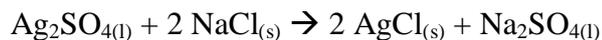
I. reagentes:

- acetona P.A.;
- cloreto de sódio (NaCl);
- dextrose;
- hidróxido de sódio (NaOH).

É importante destacar que o 5º e 6º tratamento e recuperação da prata diferem dos demais tratamentos e recuperação da prata, pois os mesmos testaram a utilização do primeiro cloreto de prata (AgCl) precipitado dos resíduos de DQO para realizar a recuperação da prata pelo método da dextrose, não tendo a necessidade de dissolver o precipitado com hidróxido de amônio (NH_4OH) e, em seguida, realizar novamente a precipitação do cloreto de prata pela adição do ácido clorídrico (HCl) como é feito nos 2º, 3º e 4º tratamentos e recuperação da prata. Com isso, buscou-se a realização de um tratamento mais limpo, no qual utilizou menos reagentes químicos. Essas variações foram propostas após o recebimento do resultado do 4º tratamento e recuperação da prata.

II. procedimento experimental do 5º tratamento e recuperação da prata:

- a) adicionar 10g de NaCl para cada 2L da solução final da DQO, para precipitar a prata. Misturar. Neste ponto a solução apresentará um aspecto leitoso, devido à formação do precipitado AgCl ;



- b) deixar em repouso por até três dias;
- c) testar se o sobrenadante ainda contém prata, com a adição de NaCl a um pouco do sobrenadante. Se necessário, adicionar mais NaCl à totalidade do líquido. Misturar e deixar em repouso. Enquanto necessário, repetir sucessivamente esta operação, até que o sobrenadante não forme mais precipitado;
- d) drenar o líquido sobrenadante do béquer. Armazenar para realizar o tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) e do cromo (Cr^{6+}) e realizar a análise de absorção atômica;
- e) proceder várias lavagens do precipitado com água mili-Q, agitando e deixando a suspensão em repouso. O sobrenadante deve ser drenado após cada lavagem. Por fim, o precipitado apresentará cor branca e o mesmo deve ser transferido para um béquer de 100 ml;
- f) secar o cloreto de prata (AgCl) em estufa a 105°C , durante 1 hora;
- g) dessecar e proceder a pesagem do cloreto de prata;
- h) repetir os itens f e g até que o cloreto de prata apresente peso constante.

Após a secagem completa do cloreto de prata, o sólido foi macerado utilizando o almofariz e pistilo, guardado num eppendorf devidamente etiquetado e enviado para o Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual do sólido em estudo.

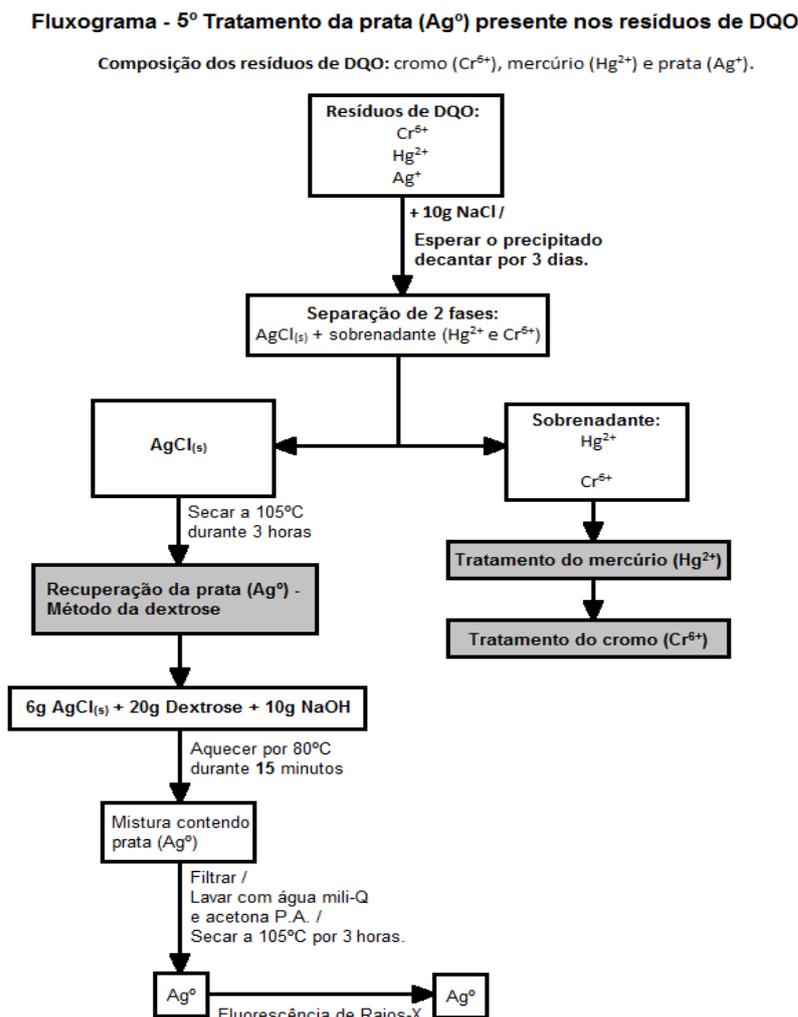
Após a análise de fluorescência de raios-X, iniciou-se a recuperação da prata pelo método da dextrose. Vale ressaltar que as quantidades dos reagentes utilizados na reação (cloreto de prata, dextrose e hidróxido de sódio) foram as mesmas quantidades utilizadas no método da dextrose do 3º e 4º tratamento e recuperação da prata. Já os reagentes foram utilizados no estado sólido. Assim, foi realizado o seguinte procedimento:

- i) pesar 6g do cloreto de prata (AgCl), obtido no tratamento dos resíduos de DQO;
- j) adicionar 20g de dextrose e 10g hidróxido de sódio (NaOH). A reação deve ser realizada a temperatura de 80°C durante 15 minutos. O produto formado será uma mistura contendo prata;

- k) filtrar a mistura e lavar com água mili-Q e com acetona P.A.;
- l) secar a prata metálica (Ag^0) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
- m) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
- n) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual da prata metálica.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 5º tratamento e recuperação da prata é mostrado no fluxograma da figura 15.

Figura 15 - 5º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.



Fonte: Elaborado pela autora.

III. procedimento experimental do 6º tratamento e recuperação da prata:

O procedimento realizado no 6º tratamento e recuperação da prata é basicamente o mesmo efetuado nos demais tratamento e recuperação da prata. O tratamento realizado nos resíduos de DQO é o mesmo, a diferença ocorre no tempo de aquecimento da reação realizada para a recuperação da prata pelo método da dextrose, pois no 6º tratamento e recuperação da prata o tempo de aquecimento é duplicado, passando para 30 minutos. No entanto, a quantidade e o estado físico dos reagentes utilizados na reação foram mantidos os mesmos do 5º tratamento e recuperação da prata. O tempo de aquecimento foi elevado com o objetivo de melhorar o rendimento da reação e obter numa qualidade (pureza) melhor do produto formado (Ag^0). Essa variação foi proposta após o recebimento do resultado do 5º tratamento e recuperação da prata.

Com isso, sabendo que o tratamento efetuado nos resíduos de DQO foi o mesmo, foi detalhado apenas o procedimento a partir da recuperação da prata. Assim, após a análise de fluorescência de raios-X realizada no cloreto de prata (AgCl), obtido no 6º tratamento da prata, foi realizada a seguinte recuperação da prata pelo método da dextrose, cujo objetivo é reduzir a prata (Ag^+) à prata metálica (Ag^0):

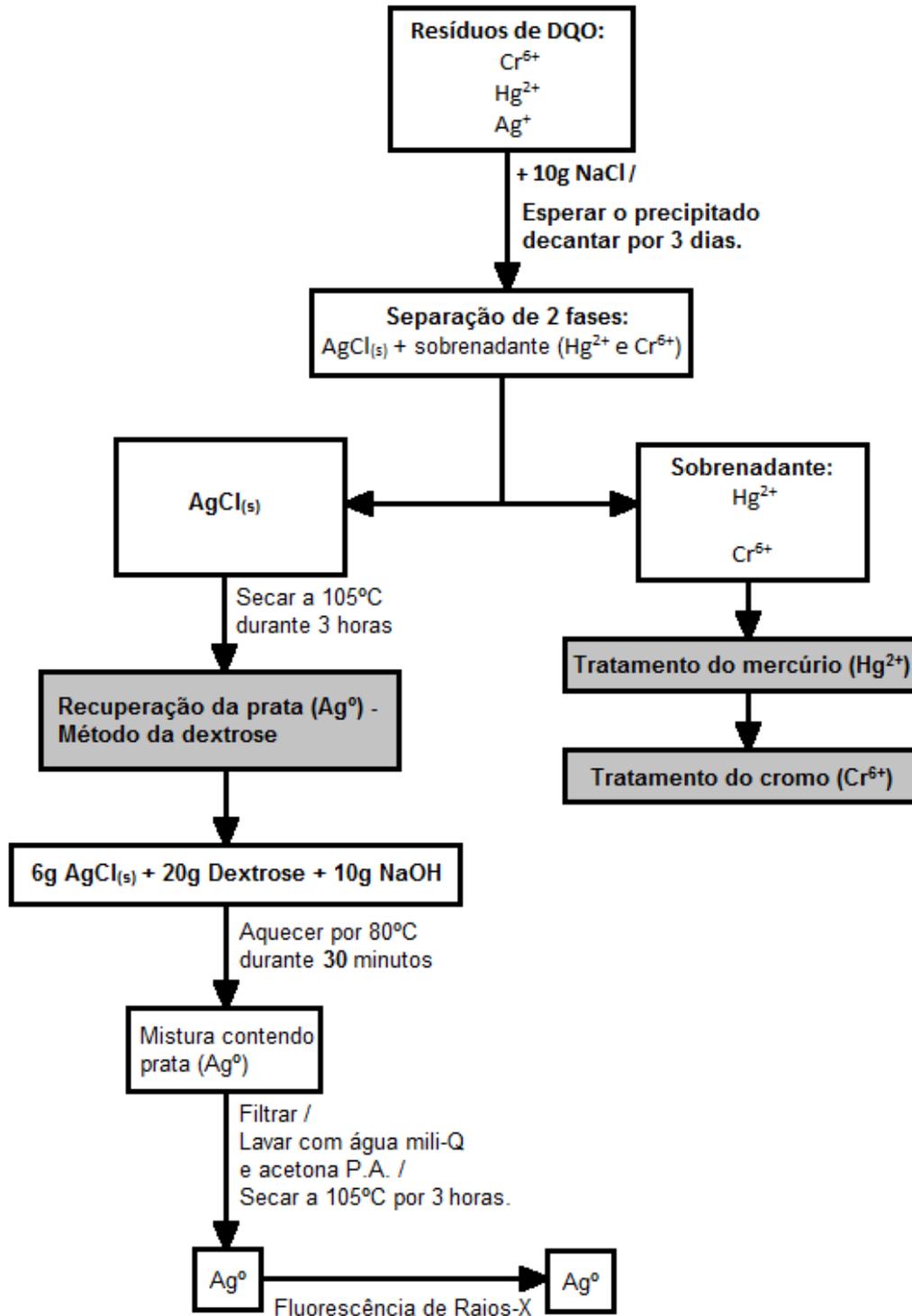
- i) pesar 6g do cloreto de prata (AgCl), obtido no tratamento dos resíduos de DQO;
- j) adicionar 20g de dextrose e 10g hidróxido de sódio (NaOH). A reação deve ser realizada a temperatura de 80°C durante 30 minutos. O produto formado será uma mistura contendo prata;
- k) filtrar a mistura e lavar com água mili-Q e com acetona P.A.;
- l) secar a prata metálica (Ag^0) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
- m) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
- n) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual da prata metálica obtida após a recuperação pelo método da dextrose.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do 6º tratamento e recuperação da prata é mostrado no fluxograma da figura 16.

Figura 16 - 6º Tratamento e recuperação da prata (Ag^+) presente nos resíduos das análises de DQO.

Fluxograma - 6º Tratamento da prata (Ag^0) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.2 Reciclagem da prata tratada

Após o tratamento completo dos resíduos gerados nas análises de DQO, buscou-se realizar o ciclo completo da prata, ou seja, buscou-se reutilizar a prata tratada e recuperada dos resíduos de DQO, como reagente nas análises de DQO. Contudo, o reagente utilizado nas análises de DQO que contém prata é a solução catalisadora ou solução ácida de sulfato de prata, preparada da seguinte maneira:

- a) adicionar 10,12g de Ag_2SO_4 para 1L de H_2SO_4 (conc.);
- b) deixar em repouso por 1 ou 2 dias para que ocorra a dissolução (APHA, 2005).

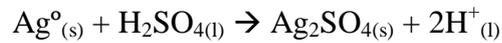
Assim, para que a prata metálica (Ag°) recuperada no tratamento dos resíduos de DQO ficasse na forma do reagente sulfato de prata (Ag_2SO_4), algumas reações teriam que ser realizadas. Foram propostos dois métodos de preparação da solução catalisadora a partir da reciclagem dessa prata metálica.

I. preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 01:

O primeiro método de obtenção da solução ácida de sulfato de prata foi proposto no “Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias” (OLIVEIRA; SILVA, 2006). Esse método está baseado no seguinte procedimento em que a prata metálica utilizada foi a prata recuperada através do tratamento dos resíduos de DQO:

- a) pesar a prata metálica (Ag° recuperada) numa quantidade equivalente a 10 gramas de sulfato de prata (Ag_2SO_4), ou seja, 7,2 gramas de prata metálica;
- b) dissolver a prata metálica em 100 - 300 ml de H_2SO_4 concentrado, a quente, numa chapa térmica;
- c) resfriar e oxidar os produtos reduzidos formados durante o aquecimento do ácido sulfúrico, com a adição de uns poucos cristais de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$);

- d) completar o volume para 1000 ml com ácido sulfúrico concentrado, esperar cerca de um dia e usar a solução resultante no teste da DQO (OLIVEIRA; SILVA, 2006).

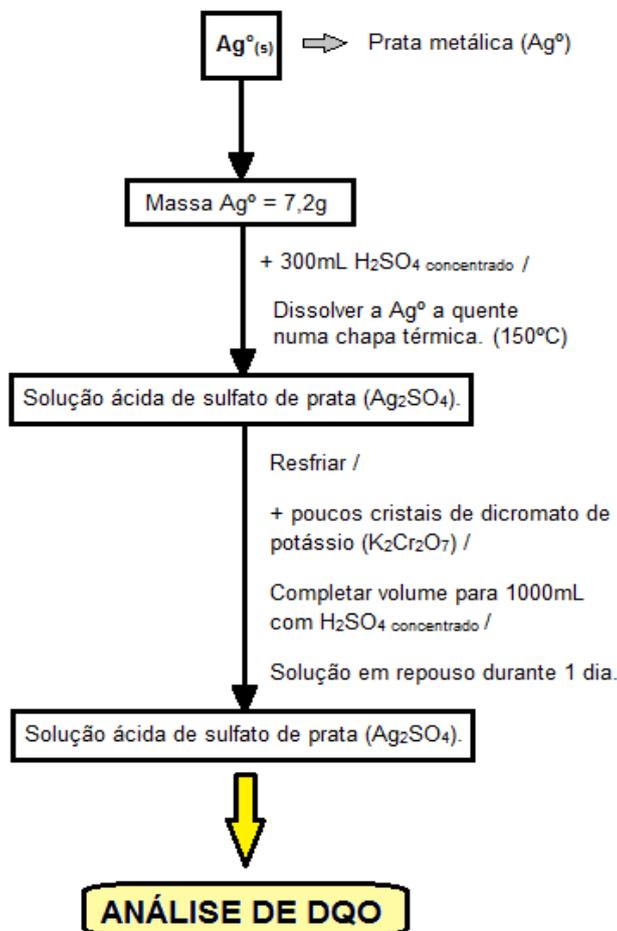


Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do primeiro método de preparação da solução catalisadora a partir da reutilização da prata recuperada dos resíduos de DQO é mostrado no fluxograma da figura 17.

Figura 17 - Preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 01.

Fluxograma - Reutilização da prata recuperada proveniente dos resíduos de DQO (1)

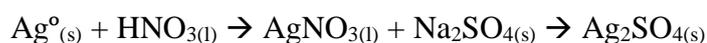
Observação: A prata (Ag°) utilizada é proveniente dos tratamentos realizados nos resíduos gerados das análises de DQO.



II. preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 02:

O segundo método de obtenção da solução ácida de sulfato de prata foi proposto como uma segunda alternativa de referência para comparar a eficiência dessas soluções preparadas nas análises de DQO. Assim como no primeiro método, a prata metálica utilizada foi a prata recuperada através do tratamento dos resíduos de DQO. Com isso, foi realizado o seguinte procedimento:

- a) pesar 1,5 gramas da prata metálica;
- b) adicionar 7,5 ml de água mili-Q. Dissolver a prata metálica presente na mistura, aquecendo a mesma durante 5 minutos na temperatura de 50°C;
- c) adicionar cuidadosamente 1,5 ml de ácido nítrico (HNO₃). Continuar o aquecimento por mais 30 minutos na temperatura de 50°C;
- d) adicionar cuidadosamente mais 1,0 ml de ácido nítrico (HNO₃). Continuar o aquecimento por mais 20 minutos na temperatura de 60°C;
- e) adicionar cuidadosamente 0,5 ml de ácido nítrico (HNO₃). Continuar o aquecimento por mais 40 minutos na temperatura de 70°C para garantir a oxidação de Ag⁰ à Ag⁺ e evaporar o excesso de HNO₃;
- f) resfriar e filtrar a solução de nitrato de prata (AgNO₃);
- g) adicionar 1,0g de sulfato de sódio (Na₂SO₄) e misturar;
- h) deixar a solução em repouso 12 horas. Filtrar a solução;
- i) secar o precipitado em estufa a 80°C até adquirir peso constante;
- j) adicionar 100 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) ao precipitado;
- k) aquecer essa solução durante 1 hora a 100°C;
- l) resfriar e deixar a solução em repouso um dia;
- m) usar a solução resultante (Solução ácida de sulfato de prata) na análise de DQO.

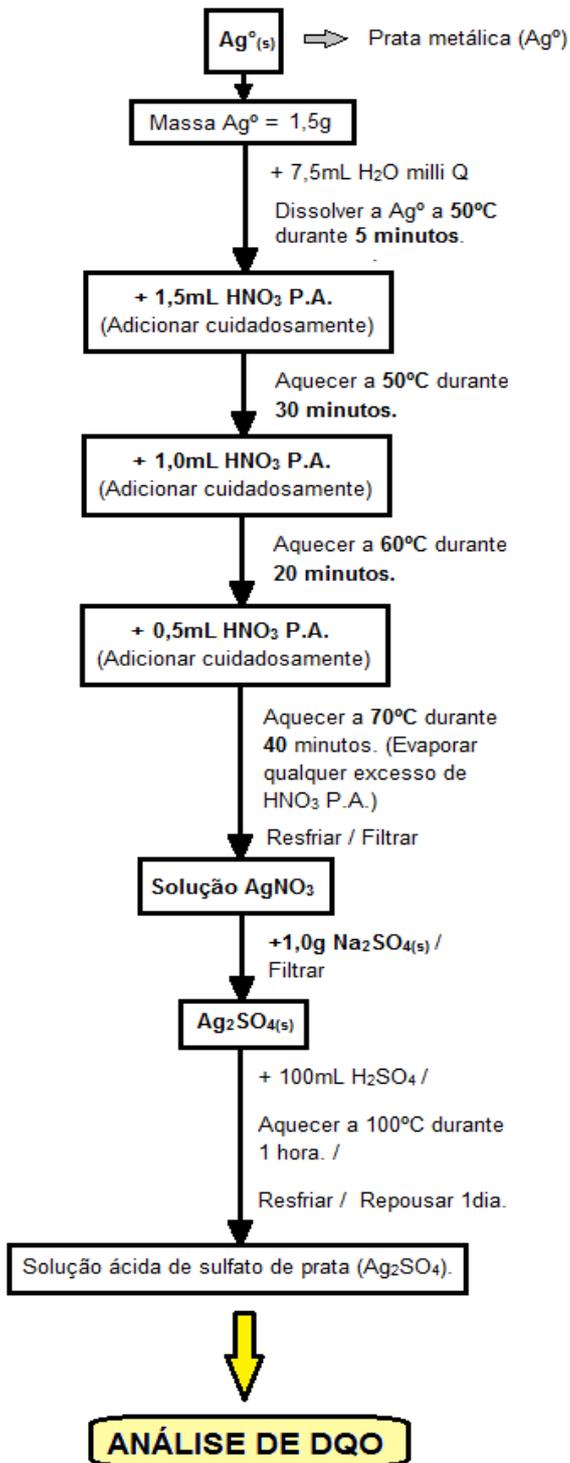


Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do segundo método de preparação da solução catalisadora a partir da reutilização da prata recuperada dos resíduos de DQO é mostrado no fluxograma da figura 18.

Figura 18 - Preparação da solução catalisadora a partir da prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 02.

Fluxograma - Reutilização da prata recuperada proveniente dos resíduos de DQO (2)

Observação: A prata (Ag^0) utilizada é proveniente dos tratamentos realizados nos resíduos gerados das análises de DQO.



III. análise de DQO – Testes das soluções catalisadoras:

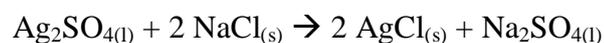
Para realizar a análise de DQO utilizando as soluções catalisadoras preparadas pelos dois métodos acima descritos, era necessária a realização de uma terceira análise de DQO que utilizasse na sua preparação apenas reagentes analíticos, podendo ser utilizada como parâmetro de comparação para as outras duas análises de DQO, as quais utilizaram soluções catalisadoras preparadas a partir de prata metálica recuperada. Vale ressaltar que essas três análises de DQO utilizaram a mesma amostra e a mesma solução digestora e seguiram o procedimento descrito no “Standard methods for the examination of water and wastewater”. As três soluções catalisadoras utilizadas nas três análises de DQO, estão descritas abaixo:

- i. solução catalisadora preparada com reagente analítico de sulfato de prata e ácido sulfúrico; (APHA et al., 2005).
- ii. solução catalisadora preparada através de prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 01;
- iii. solução catalisadora preparada através de prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 02.

A amostra utilizada nas três análises de DQO foi preparada utilizando o padrão da solução de hidrogeno-ftalato de potássio (KHP) de 800 mg O₂/L (ppm). Assim, foi realizado o teste entre essas 3 soluções, no qual foi preparada uma curva analítica de cinco pontos, variando a concentração de 50 ppm a 250 ppm. Cujas amostras analisadas foram preparadas na concentração de 75ppm.

4.3.3 Tratamento do mercúrio e do cromo hexavalente

Após cada adição do cloreto de sódio (NaCl) nos resíduos de DQO, a prata decantava e formava o cloreto de prata (AgCl), mas o mercúrio (Hg²⁺) e o cromo hexavalente (Cr⁶⁺), presentes na composição desses resíduos, permaneciam em solução.

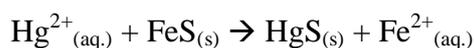


Assim, apesar do tratamento e da retirada da prata dos resíduos de DQO, o mesmo não podia ser descartado, pois era necessário realizar o tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) e do cromo (Cr^{6+}) que ainda estavam presentes nos sobrenadantes drenados desses resíduos. Com isso, esses sobrenadantes foram armazenados em todos os tratamentos da prata para que pudessem ser efetuados os tratamentos adequados para cada metal pesado:

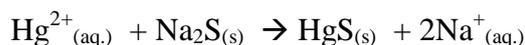
I. mercúrio (Hg^{2+}):

Iniciou-se o tratamento desses sobrenadantes com a retirada do mercúrio (Hg^{2+}). Para esse metal pesado, foram efetuados testes em tubos de ensaio com os seguintes reagentes:

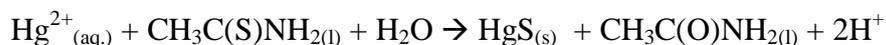
i. sulfeto de ferro (FeS):



ii. sulfeto de sódio (Na_2S):



iii. tioacetamida ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NS}$):



Esses reagentes foram utilizados, pois os mesmos realizam a retirada desse metal do sobrenadante por precipitação na forma de sulfeto de mercúrio (HgS). Assim, foi realizada a comparação entre esses três reagentes com o objetivo de conhecer qual reagente teria um melhor rendimento nas reações com o mercúrio, ou seja, qual reagente iria apresentar um maior rendimento de precipitação do sulfeto de mercúrio (HgS). Contudo, a reação com sulfeto de ferro (FeS) foi a que apresentou maior rendimento e, portanto, foi a escolhida para ser realizada em grande escala de acordo com o seguinte procedimento:

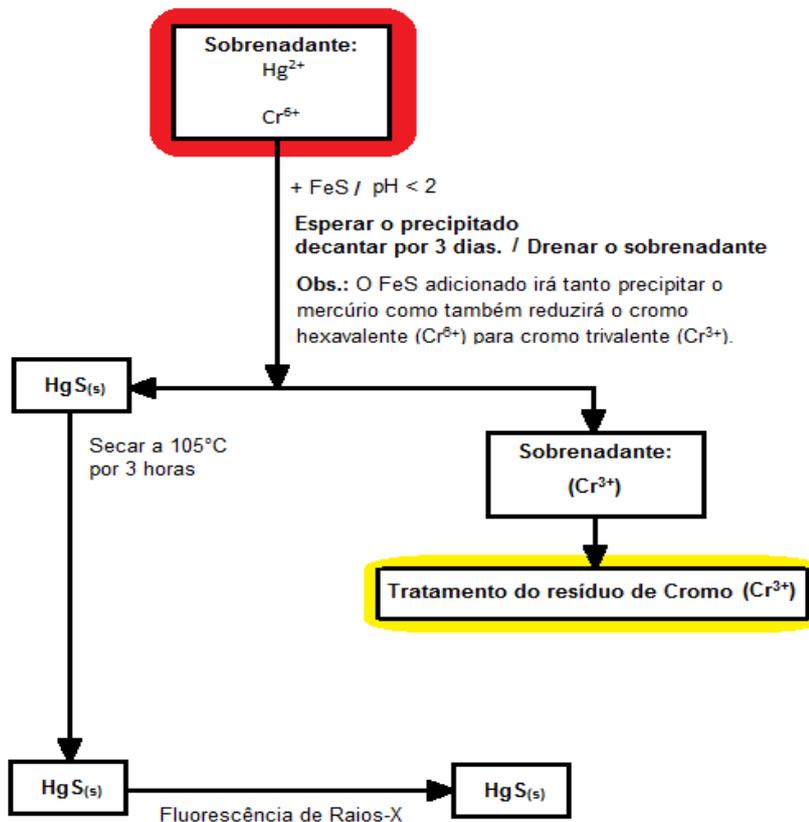
- a) adicionar aproximadamente 2g de sulfeto de ferro (FeS) a dois litros do sobrenadante proveniente do tratamento de prata;
- b) deixar em repouso por três dias ou até que o sólido formado (HgS) precipite totalmente;
- c) testar se o sobrenadante ainda contém mercúrio, com a adição de FeS a um pouco do sobrenadante. Se necessário, adicionar mais FeS à totalidade do líquido. Misturar e deixar em repouso. Enquanto necessário, repetir

- sucessivamente esta operação, até que o sobrenadante não forme mais precipitado;
- d) drenar o sobrenadante e armazená-lo para realizar o tratamento do cromo (Cr^{6+});
 - e) secar o sulfeto de mercúrio (HgS) na estufa a 105°C até adquirir peso constante;
 - f) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
 - g) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual do sulfeto de mercúrio (figura 19).

Figura 19 - Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) presente nos resíduos das análises de DQO.

Fluxograma - Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

II. cromo hexavalente (Cr^{6+}):

Após a remoção da prata e do mercúrio (Hg^{2+}) dos resíduos de DQO, os sobrenadantes ainda apresentavam na sua composição o cromo hexavalente (Cr^{6+}). Com isso, é necessário, portanto, realizar o tratamento do cromo (Cr^{6+}).

Todavia, o cromo hexavalente (Cr^{6+}) é solúvel em pH ácido e pH alcalino e para que ocorra a sua remoção é necessário reduzi-lo para a forma de cromo trivalente (Cr^{3+}) em pH inferior a 2,5 (POSSIGNOLO et al., 2011). Isso porque o cromo trivalente formado é menos tóxico do que o cromo hexavalente, mas mesmo assim não deve ser descartado, pois deve ser considerada a possibilidade de reoxidação do metal. Assim, após a redução desse metal, é necessário realizar a precipitação do mesmo na forma de hidróxido ($\text{Cr}(\text{OH})_3$), o que ocorrerá com a adição de hidróxido de sódio (NaOH).

Baseado em Possignolo (2011), existe a possibilidade de efetuar o tratamento desse metal pesado a partir da seguinte reação:

- i. reação com bissulfito de sódio (NaHSO_3) seguido da adição de hidróxido de sódio (NaOH);

Por tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) apresentar enxofre na sua composição, o mesmo pode reduzir o cromo hexavalente a cromo trivalente. Assim, o teste com esse reagente também foi proposto, como mostrado a seguir:

- ii. reação com tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) seguido da adição de hidróxido de sódio (NaOH);

Geralmente os resíduos de DQO apresentam a cor amarela, característica da presença de cromo hexavalente na solução. Quando ocorre a redução do cromo, o resíduo adquire uma coloração verde, característica da presença de cromo trivalente (Cr^{3+}). É importante ressaltar que durante os testes de tratamentos do mercúrio (Hg^{2+}) realizados com sulfeto de ferro (FeS), sulfeto de sódio (Na_2S) e tioacetamida ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NS}$), os sobrenadantes apresentaram mudança nas suas colorações para verde, o que caracterizou que esses reagentes além de estarem precipitando o mercúrio, estavam também promovendo a redução do cromo para a forma trivalente. Portanto, foi proposto um terceiro tratamento, no qual considerava que o sobrenadante proveniente do tratamento do mercúrio já apresentava o cromo na forma

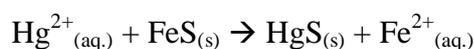
trivalente (solução verde) em sua composição, não necessitando, portanto, de um agente redutor, apenas da sua precipitação, o que ocorreria com a seguinte proposta:

iii. reação com hidróxido de sódio (NaOH).

Assim, foram realizadas várias cadeias de reações (tratamentos) iniciadas com o tratamento do mercúrio (Hg^{2+}), no qual foram utilizados os reagentes sulfeto de ferro (FeS), sulfeto de sódio (Na_2S) e tioacetamida ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NS}$), seguido do tratamento do cromo no qual utilizou as três propostas citadas acima. (APÊNDICE B).

Após a realização de todas as reações citadas no apêndice B, percebeu-se que a única reação na qual o sobrenadante final, ou seja, sobrenadante restante após o tratamento da prata, do mercúrio e do cromo, ficou incolor, indicando a ausência do cromo hexavalente na solução, foi a reação em que o sobrenadante proveniente do tratamento da prata foi reagido baseado no procedimento a seguir:

a) adicionar aproximadamente 2g de sulfeto de ferro (FeS) ao sobrenadante resultante do tratamento da prata para ocorrer a precipitação do mercúrio;



b) deixar em repouso por três dias ou até que o sólido formado (HgS) precipite totalmente;

c) testar se o sobrenadante ainda contém mercúrio, com a adição de FeS a um pouco do sobrenadante. Se necessário, adicionar mais FeS à totalidade do líquido. Misturar e deixar em repouso. Enquanto necessário, repetir sucessivamente esta operação, até que o sobrenadante não forme mais precipitado;

d) drenar o sobrenadante. Armazenar parte do sobrenadante para análise de absorção atômica. Transferir o sobrenadante para um béquer de 2L;

e) adicionar hidróxido de sódio 18M (NaOH) até a solução alcançar pH em torno de 10,0;

f) deixar em repouso por até 3 dias ou até ocorrer a separação total das duas fases. Drenar o sobrenadante;

g) transferir o precipitado para bandejas de plástico;

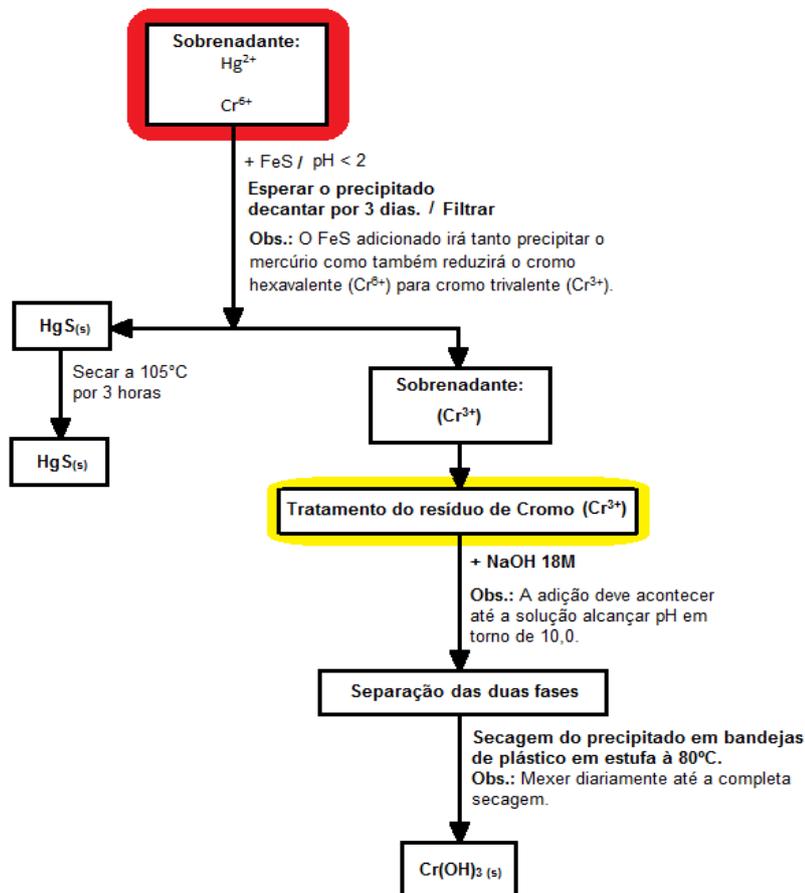
- h) secar o precipitado hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) na estufa a 80°C , mexendo a massa diariamente até a secagem completa;
- i) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado;
- j) enviar ao Laboratório de Raios-X, no Departamento de Física da UFC, para realizar a análise de fluorescência de raios-X e obtermos a composição percentual do sólido ($\text{Cr}(\text{OH})_3$).

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do tratamento do mercúrio seguido do tratamento do cromo a partir do sobrenadante resultante do tratamento da prata é mostrado no fluxograma da figura 20.

Figura 20 - Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) seguido do tratamento do cromo (Cr^{6+}).

Fluxograma - Tratamento do cromo (Cr^{6+}) presente nos resíduos de DQO

Composição dos resíduos de DQO: cromo (Cr^{6+}), mercúrio (Hg^{2+}) e prata (Ag^+).



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Tratamento dos resíduos gerados nas análises de NTK

Dentre os setes resíduos químicos ativos mais gerados no Labosan, está o resíduo da análise de NTK. Durante os testes analíticos qualitativos realizados, os resíduos químicos gerados dessa análise apresentaram resultado positivo para o metal pesado cobre (Cu^{2+}), havendo a necessidade de tratamento do mesmo.

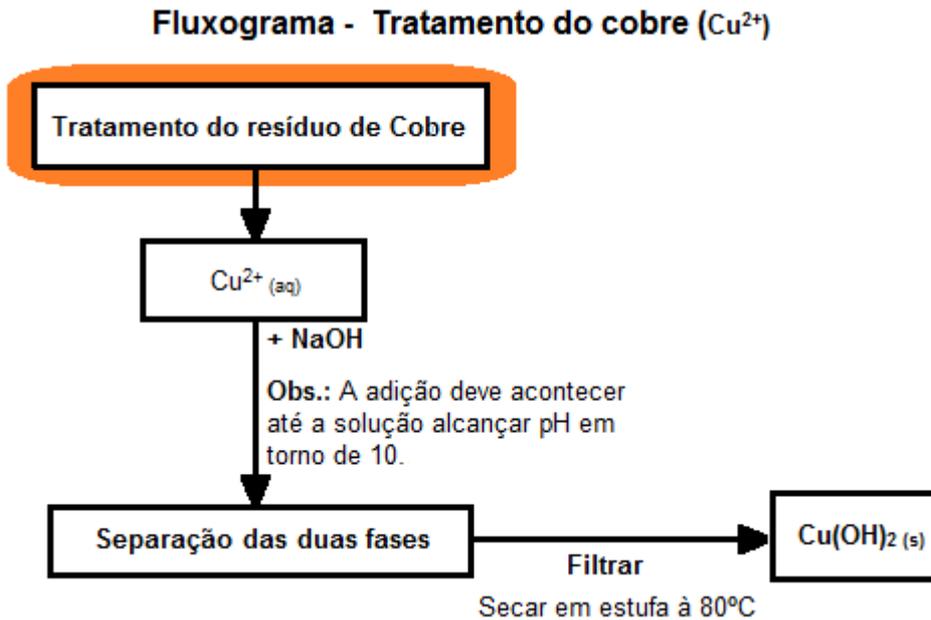
Um método de tratamento do cobre é realizando a sua precipitação na forma de hidróxido ($\text{Cu}(\text{OH})_2$), o que ocorrerá com a adição de hidróxido de sódio (NaOH). Assim, foi proposto o seguinte procedimento para tratamento desse cátion:

- a) adicionar hidróxido de sódio (NaOH) ao resíduo até que o mesmo atinja o pH em torno de 10;
- b) deixar a solução em repouso para que ocorra a separação das duas fases completamente;
- c) drenar o sobrenadante. Armazenar parte do sobrenadante para análise de absorção atômica;
- d) secar o precipitado hidróxido de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) na estufa a 80°C até o sólido adquirir peso constante;
- e) macerar o sólido utilizando o almofariz e pistilo, guardar num eppendorf devidamente etiquetado.

Esse procedimento também foi utilizado para o tratamento do resíduo de cobre gerado durante o 1º tratamento e recuperação da prata, proveniente dos resíduos das análises de DQO (Figura 03). Contudo, para o tratamento do resíduo de cobre gerado nas análises de NTK, foi sugerida a realização de uma pré-concentração no resíduo, pois durante o procedimento havia dificuldades na precipitação do sólido hidróxido de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$), devido a concentração do metal pesado não ser tão elevada nesse resíduo.

Para facilitar o entendimento, o procedimento completo do tratamento do metal pesado cobre (Cu^{2+}) é mostrado no fluxograma da figura 21.

Figura 21 - Tratamento do metal pesado cobre



Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Tratamento dos demais resíduos químicos ativos

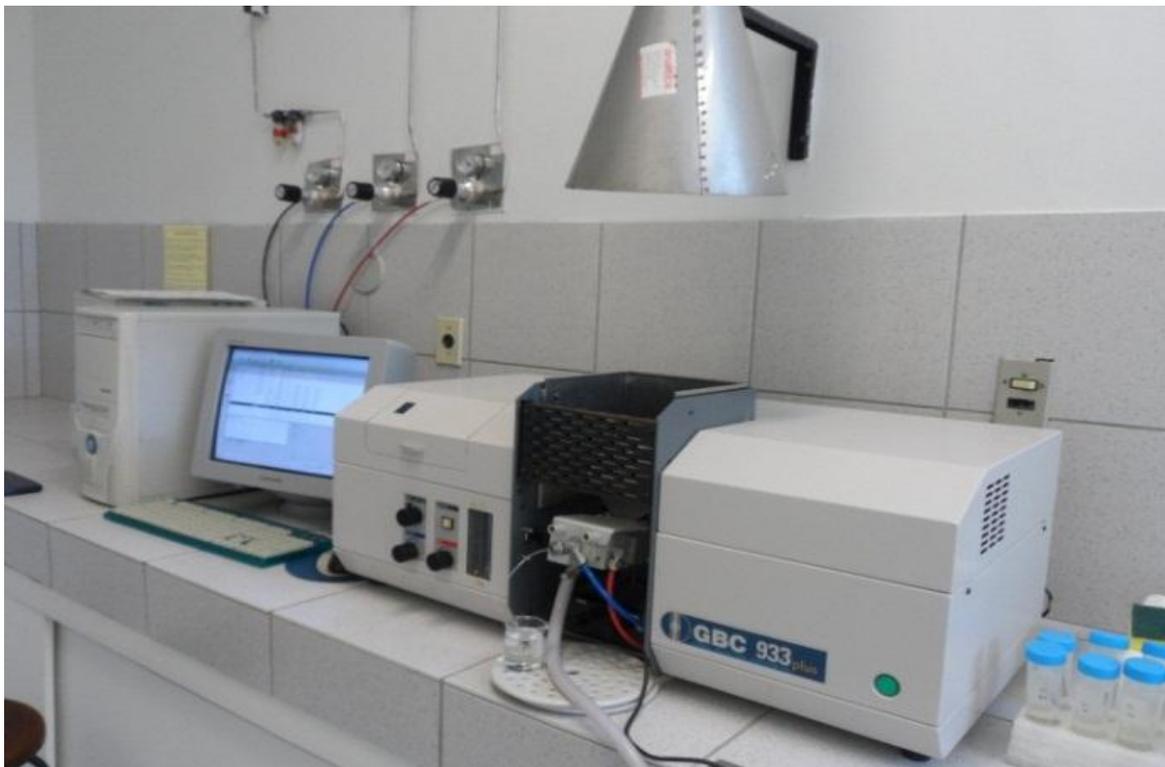
As demais cinco análises mais realizadas no Labosan e que, provavelmente geram mais resíduos químicos ativos no laboratório, são: alcalinidade, amônia, fósforo, nitrato e nitrito. Assim como os resíduos químicos gerados das análises de DQO e de NTK, os resíduos químicos dessas análises também foram caracterizados. No entanto, os resíduos químicos provenientes dessas cinco análises não contêm metais pesados em sua composição e, portanto, não necessitam de tratamento específico. Contudo, os efluentes dessas sete análises devem ser neutralizados para o pH em torno de 6 – 9 para que possam ser descartados. (BRASIL, 2011). Os resíduos finais das análises de DQO e de NTK devem ser neutralizados somente após a eliminação dos metais pesados da sua composição.

4.6 Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS)

A espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) consiste em determinar qualitativamente e quantitativamente a presença de metais. Como foi citado durante os procedimentos de tratamento dos resíduos de DQO e dos resíduos de NTK, os sobrenadantes após os tratamentos foram armazenados para a realização dessa análise. Assim, essa análise foi realizada nos sobrenadantes finais dos tratamentos da prata e do cromo. Além disso, foi realizada também no sobrenadante final do tratamento do cobre.

O equipamento utilizado para a realização foi o GBC 933 plus Atomic Absorption Spectrometer (Figura 22). Como especificado pelo equipamento, foram utilizados os comprimentos de onda adequados para cada metal pesado analisado, a prata foi analisada no comprimento de onda de 328.1nm, o cromo foi analisado no comprimento de onda de 357.9nm e o cobre foi analisado no comprimento de onda de 324.7nm.

Figura 22 - Equipamento utilizado na absorção atômica (GBC 933 plus Atomic Absorption Spectrometer).



Fonte: Elaborado pela autora.

Vale ressaltar que a análise de espectroscopia de absorção atômica de chama não foi realizada nos sobrenadantes finais do tratamento do mercúrio, pois esse metal somente pode ser quantificado através da técnica de espectrometria de absorção atômica com geração química de vapor (CVG AAS), não disponível no Laboratório de Análises de Traços (LAT) do DQAFQ, onde foram realizadas as análises.

4.7 Análise de fluorescência de raios-X (FRX)

A análise por fluorescência de raios X é um método de análise elementar qualitativo e quantitativo que se aplica à identificação de praticamente todos os elementos ($Z > 13$). Consiste na exposição de amostras sólidas ou líquidas a uma fonte de radiação X para ionizar os níveis internos dos átomos constituintes da amostra, por efeito fotoelétrico. Na reorganização do átomo e regresso ao estado fundamental, estes átomos podem libertar o excesso de energia através da emissão de um fóton X, de energia igual à diferença de energia de ligação dos níveis entre os quais se deu a transição. Esta radiação é característica do elemento. A detecção e análise deste espectro permitem a identificação e quantificação dos elementos constituintes da amostra. Trata-se de uma técnica não destrutiva e que na maior parte dos casos não necessita de qualquer preparação prévia da amostra, permitindo ainda a detecção simultânea dos diferentes elementos constituintes da amostra. (SANTOS, et al., 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção foram descritos os resultados e discussões da pesquisa, os quais foram divididos nos seguintes tópicos: resíduos químicos passivos; resíduos químicos ativos; tratamento dos resíduos gerados nas análises de DQO; reutilização da prata tratada; tratamento dos resíduos gerados nas análises de NTK e questionário.

5.1 Resíduos químicos passivos

Os resíduos químicos gerados no Laboratório de Saneamento Ambiental do DEHA/UFC foram identificados como resíduos químicos ativos e resíduos químicos passivos. Foram classificados como resíduos químicos ativos aqueles resíduos gerados das análises rotineiras do laboratório. Já os resíduos químicos passivos seriam aqueles resíduos gerados das análises não rotineiras estocados no laboratório, ou ainda, aqueles reagentes vencidos e/ou não utilizados armazenados no Labosan. Com isso, observou-se que o laboratório não continha resíduos químicos passivos originados das análises não rotineiras, assim, apenas os reagentes vencidos e/ou não utilizados armazenados no laboratório foram inventariados. Para a realização do inventário foram observadas as seguintes características dos resíduos químicos passivos: nome do reagente, quantidade dos reagentes, forma de acondicionamento (metal, vidro, plástico, outros) e observações.

Assim, o inventário dos reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan apresentou um total de 157 unidades, desses 42 apresentavam-se no estado líquido e 115 no estado sólido. Os reagentes líquidos apresentaram o total de 39,852L e os reagentes sólidos apresentaram o total de 35,145Kg. Além disso, foram inseridos no inventário os frascos de reagentes vazios (vidro e plástico) e sem utilização no laboratório, totalizando 159 unidades.

Essas substâncias estavam estocadas nas prateleiras do Labosan (figura 23), sem registro de controle da quantidade e identificação dos reagentes. Muitos desses reagentes se encontravam lacrados e ainda passíveis de serem utilizados em atividades experimentais de ensino, extensão e pesquisa.

Figura 23 - Reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após o inventário, foi iniciado o processo para reutilizar os produtos químicos vencidos e/ou não utilizados do Labosan e, conseqüentemente, reduzir esses resíduos químicos passivos na unidade. Assim, foi proposta a doação desses reagentes para outras unidades e laboratórios da UFC.

Assim, a doação foi realizada para 06 laboratórios do Departamento de Química Orgânica e Inorgânica (DQOI) e 04 laboratórios do Departamento de Química Analítica e Físico-química (DQAFQ) da UFC. Na tabela 01 são mostrados os laboratórios receptores com as respectivas quantidades (unidades, quilogramas e litros) de reagentes recebidos.

Tabela 1 - Detalhamento das doações de reagentes químicos vencidos e/ou não utilizados do Labosan.

Laboratório Receptor	Tipo do laboratório	Quantidade (unidades)	Quantidade Recebida (Kg/L)
Laboratório de Química Analítica	Ensino	16	2,595Kg / 0,6L
Laboratório de Química Orgânica	Ensino	4	0,25Kg / 2,7L
Laboratório de Química Geral	Ensino	29	8,725Kg/ 3,9L
Laboratório de Química Inorgânica	Ensino	13	4,3Kg / 1,2L
Laboratório de Adsorção e Catálise	Pesquisa	10	0,925Kg / 1,55L
Grupo de Química de Materiais Avançados	Pesquisa	5	1,31Kg
Laboratório de Fitoquímica Aplicada	Pesquisa	9	4,0Kg / 1L
Laboratório de Materiais Inorgânicos	Pesquisa	2	1,6Kg
Laboratório de Polímeros	Pesquisa	2	0,050Kg
Programa de Gerenciamento de Resíduos (PROGERE)	Pesquisa	2	0,050Kg / 0,8L
TOTAL		92	23,805Kg / 11,75L

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi realizada a doação de 92 unidades de reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan para outras unidades de ensino e pesquisa. Assim, 58,125% dos resíduos químicos passivos do Labosan foram reutilizados, não necessitando, portanto, gastos por parte do laboratório para realizar a correta destinação desse tipo de resíduo.

Em outras palavras, dentre os 42 reagentes que se apresentavam no estado líquido (39,852L), foram doados 21 unidades, que totalizaram 11,75L ou 29,48%. Já dentre os 115 reagentes que se apresentavam no estado sólido (35,145Kg), foram doados 69 unidades desses reagentes, que totalizaram 23,805Kg ou 67,73%. Os reagentes que não foram doados ficaram

organizados em caixas devidamente etiquetadas, informando o nome, quantidade, forma de acondicionamento e observações a respeito do mesmo, para facilitar futuras doações.

Os frascos de reagentes vazios (plástico e vidro) estocados tiveram seus rótulos retirados e efetuou-se a tríplice lavagem. Após isso, todas as unidades dos frascos de reagentes foram doados tanto para os próprios usuários do Labosan como para usuários de outros laboratórios. Assim, podemos afirmar que grande parte dos resíduos químicos passivos do Labosan teve uma destinação econômica e ambiental correta, utilizando os princípios do reaproveitamento e minimização de resíduos. Contudo, para que essa atividade tenha continuidade sugere-se que o Labosan utilize técnicas mais modernas de doação, inserindo no seu site uma planilha contendo os reagentes que ainda podem ser doados, juntamente com as informações necessárias a respeito dos mesmos, facilitando futuros contatos e doações para outros laboratórios.

5.1.1 Reagentes não identificados

Dentre os resíduos químicos passivos do Labosan, foram encontrados sete reagentes sem identificação (figura 24). Assim, esses reagentes foram encaminhados para o Laboratório de Química Analítica Qualitativa no Departamento de Química Analítica e Físico-química da UFC, onde foram realizados testes analíticos qualitativos para a identificação dos mesmos (KING, 1981).

Figura 24 - Reagentes desconhecidos do Labosan.



Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os sete reagentes não identificados, obteve-se a identificação de seis substâncias ou 85,714% desses produtos que são os seguintes: ácido sulfúrico (H_2SO_4), carbonato de sódio (Na_2CO_3), reagente pH-ISA (EDTA e NaOH), ácido nítrico diluído (HNO_3), SPADNS P.A. e resíduo da análise de DQO. Os reagentes já identificados foram rotulados (figura 25) e encaminhados para a doação, assim como os demais reagentes vencidos e/ou não utilizados do Labosan, com exceção do resíduo da análise de DQO que foi encaminhado para o tratamento. Vale ressaltar, que após a identificação, duas substâncias químicas foram doadas: ácido sulfúrico (H_2SO_4) e carbonato de sódio (Na_2CO_3).

Figura 25 - Reagentes desconhecidos após a identificação com rótulos.

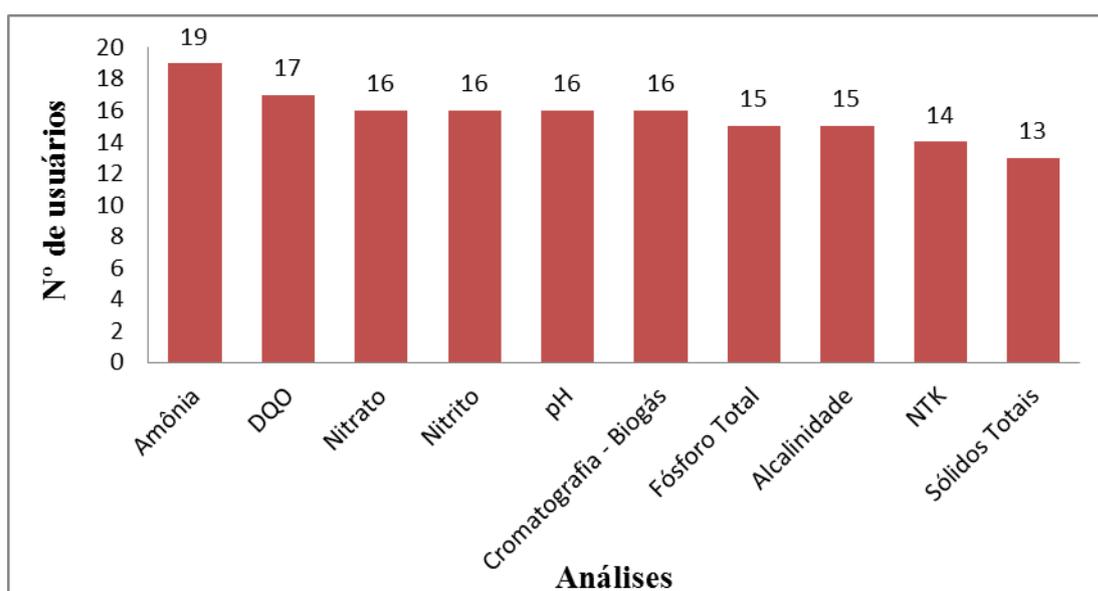


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Resíduos químicos ativos

Os principais resíduos químicos ativos gerados no Labosan foram identificados através da aplicação de um questionário (apêndice A). A partir do tratamento dos dados do questionário, foi possível identificar quais as dez análises mais realizadas no laboratório (figura 26): amônia, DQO, nitrato, nitrito, pH, cromatografia – biogás, fósforo total, alcalinidade, NTK e sólidos totais. Dentre essas análises, apenas três (pH, cromatografia – biogás e sólidos totais) não utilizam reagentes químicos para serem realizadas, assim podemos afirmar que as mesmas não geram resíduos.

Figura 26 - Análises realizadas no Labosan x N° de usuários que realizam a análise.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com isso, os resíduos das outras sete análises (DQO, nitrato, nitrito, amônia, NTK, alcalinidade e fósforo total) foram coletados em frascos, os quais foram devidamente rotulados (figura 27) e analisados qualitativamente quanto à presença de metais pesados no Laboratório de Química Analítica Qualitativa do DQAFQ.

Figura 27 - Resíduos químicos ativos rotulados adequadamente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos da análise de pH e da análise qualitativa dos sete resíduos químicos ativos, foram os seguintes:

Tabela 2 - Resultados da análise qualitativa (metais pesados) e de pH dos resíduos químicos ativos do Labosan.

Resíduos/Análise	pH	Metais pesados presentes
DQO	0,34	Prata (Ag^+), Mercúrio (Hg^{2+}) e Cromo (Cr^{6+}).
Nitrito	1,88	Sem metais pesados
Nitrato	12,64	Sem metais pesados
Fósforo	1,21	Sem metais pesados
Alcalinidade	4,38	Sem metais pesados
Amônia	6,73	Sem metais pesados
NTK	12,74	Cobre (Cu^{2+})

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Tratamento dos resíduos gerados nas análises de DQO

A partir dos resultados obtidos na análise qualitativa desses resíduos químicos, pode-se verificar a necessidade de tratamento para o descarte ambientalmente correto, devido à presença dos metais prata (Ag^+), mercúrio (Hg^{2+}) e cromo (Cr^{6+}).

5.3.1 Tratamento e recuperação da prata

O tratamento dos resíduos de DQO iniciou-se pelo tratamento e recuperação da prata (Ag^+). Todos os seis tratamentos realizados nos resíduos da análise de DQO para esse metal tiveram como objetivo chegar à prata metálica (Ag^0) (figura 28), sendo a mesma encaminhada para o Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da UFC para a realização da análise de fluorescência de raios-x, a qual nos informa sobre a porcentagem dos compostos presentes no material em estudo (tabela 3).

Figura 28 - Prata metálica (Ag^0).



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 – Resultado da análise de FRX para a prata metálica (Ag^0) recuperada nos diferentes tratamentos executados.

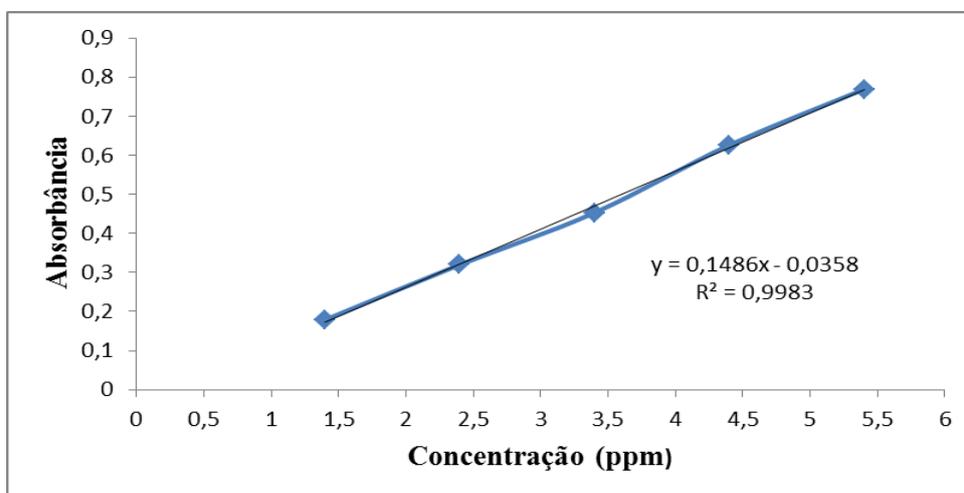
Tratamento e recuperação da prata metálica	Porcentagem de prata metálica (Ag^0) no sólido analisado (%)
1º tratamento	95,984
2º tratamento	95,648
3º tratamento	98,594
4º tratamento	98,925
5º tratamento	98,83
6º tratamento	99,223

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se perceber que os seis tratamentos realizados foram satisfatórios em termos da porcentagem de recuperação da prata. Com base nos resultados da análise de fluorescência de raios-X, verifica-se que o 6º tratamento obteve o melhor resultado em relação à pureza da prata metálica (99,223%), além de ter uma menor quantidade de etapas e de utilizar quantidade reduzida de reagentes durante o método, propondo-se, portanto, a implantação desta metodologia de recuperação no laboratório.

Após os seis tratamentos e recuperação da prata, os líquidos remanescentes foram analisados através da técnica de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) para verificar se a concentração de prata ainda presente nesses líquidos está de acordo com os limites estabelecidos pela norma vigente (Resolução CONAMA nº 430/2011). Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 29). Posteriormente, foram lidas as absorbâncias da amostra do resíduo de DQO e das amostras referentes aos líquidos remanescentes dos seis tratamentos da prata, para serem inseridas na curva (tabela 4).

Figura 29 - Gráfico da análise de absorção atômica da prata nos resíduos de DQO.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Resultados da concentração de prata presente nos líquidos remanescentes após os seis tratamentos desse metal pesado - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).

Amostras	Concentração de prata (ppm)	Absorbância
Ponto curva 1	1,4	0,179
Ponto curva 2	2,4	0,32
Ponto curva 3	3,4	0,453
Ponto curva 4	4,4	0,626
Ponto curva 5	5,4	0,769
Amostra do resíduo de DQO (diluída 1:540)	2346,78	0,61
1º tratamento	0,423	0,027
2º tratamento	0,55	0,046
3º tratamento	0,389	0,022
4º tratamento	0,396	0,023
5º tratamento	0,389	0,022
6º tratamento	0,369	0,019

Fonte: Elaborado pela autora.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 que “dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes”, afirma que qualquer fonte poluidora somente poderá lançar seus efluentes diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, o qual determina que o padrão de lançamento de efluentes contendo prata não deve ultrapassar a concentração de 0,1 mg/L (ppm).

Com isso, através dos resultados obtidos na análise de espectrometria de absorção atômica de chama referente à concentração de prata presente nos líquidos remanescentes após os tratamentos desse metal (tabela 4), pode-se afirmar que nenhum dos tratamentos efetuados foi eficaz o suficiente para remover toda a prata presente no resíduo. Contudo, dentre todos os tratamentos efetuados, o 6º tratamento foi o que obteve uma maior remoção, tendo 99,984% da prata removida do resíduo das análises de DQO, além de ter apresentado a concentração mais próxima (0,369mg/L) do que é determinado pela legislação (Resolução CONAMA nº 430/2011).

Apesar de não ter ficado na faixa determinada por legislação, a concentração de prata resultante do 6º tratamento é muito pequena para serem efetuados tratamentos adicionais para a remoção da prata restante. Assim, sugere-se que, após a neutralização desse resíduo para a faixa de pH entre 5 e 9, determinada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, o mesmo seja diluído de tal forma que possa ser descartado.

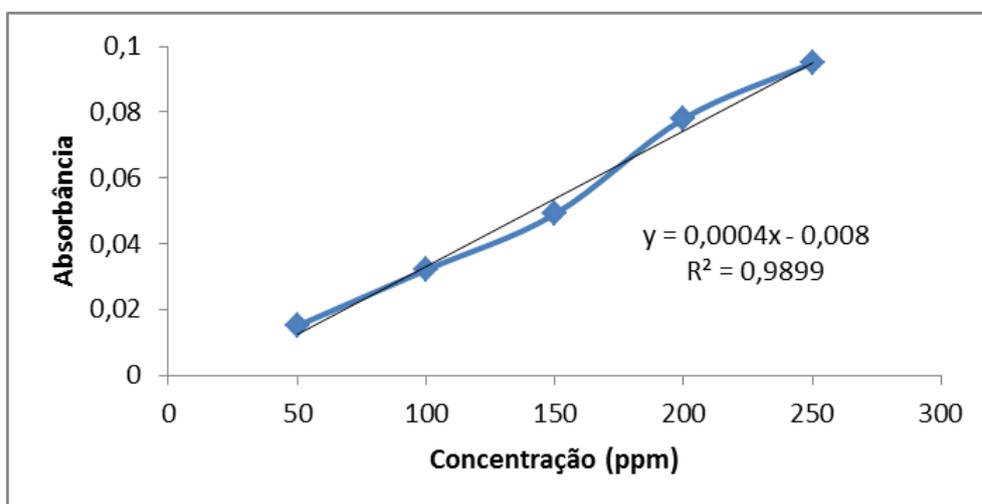
5.3.2 Reciclagem da prata tratada

A reciclagem da prata metálica (Ag^0), obtida nos tratamentos da prata, ocorreu por meio da preparação de duas soluções catalisadoras, usando duas metodologias diferentes. Contudo, para efeito de comparação, uma terceira solução catalisadora foi preparada com reagentes analíticos como determina a metodologia. Assim, foram realizadas três análises de DQO, as quais utilizaram a mesma amostra e a mesma solução digestora, diferindo apenas as soluções catalisadoras adicionadas em cada análise. A seguir são mostradas as três soluções catalisadoras utilizadas nas três análises de DQO:

- i. solução catalisadora preparada com reagente analítico de sulfato de prata e ácido sulfúrico; (APHA et al., 2005).
- ii. solução catalisadora preparada através de prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 01; (Figura 17).
- iii. solução catalisadora preparada através de prata recuperada dos resíduos de DQO – Método 02. (Figura 18).

Para a realização do teste, foi preparada uma curva analítica de cinco pontos, variando a concentração de 50 ppm a 250 ppm, já a amostra foi preparada na concentração de 75 ppm. A partir disso, foram realizados os testes com as soluções catalisadoras. A primeira análise de DQO foi realizada com a solução catalisadora preparada com reagentes analíticos. Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 30). A partir de então, a amostra foi analisada e o resultado da sua concentração foi de 72,5ppm (tabela 5).

Figura 30 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (reagentes analíticos).



Fonte: Elaborado pela autora.

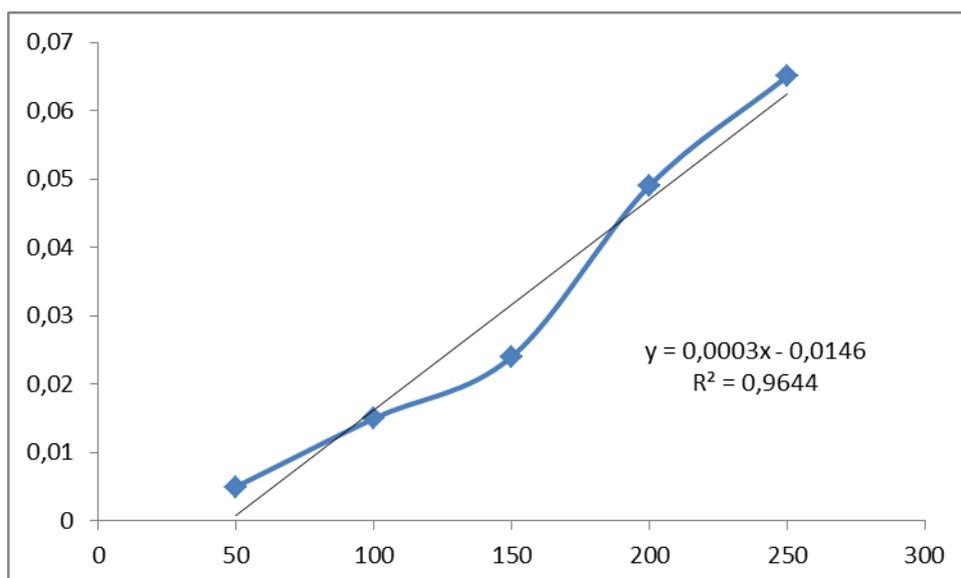
Tabela 5 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (reagentes analíticos).

Amostras	Concentração (ppm)	Absorbância Corrigida
Ponto curva 1	50	0,015
Ponto curva 2	100	0,032
Ponto curva 3	150	0,049
Ponto curva 4	200	0,078
Ponto curva 5	250	0,095
Amostra	72,5	0,021

Fonte: Elaborado pela autora.

A segunda análise foi realizada com a solução catalisadora preparada através do método 01, no qual é realizada a reação entre a prata metálica (Ag^0) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) para formar o sulfato de prata (Ag_2SO_4). Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 31). A partir de então, a amostra foi analisada e o resultado da sua concentração foi de 108,7ppm (tabela 6).

Figura 31 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 01).



Fonte: Elaborado pela autora.

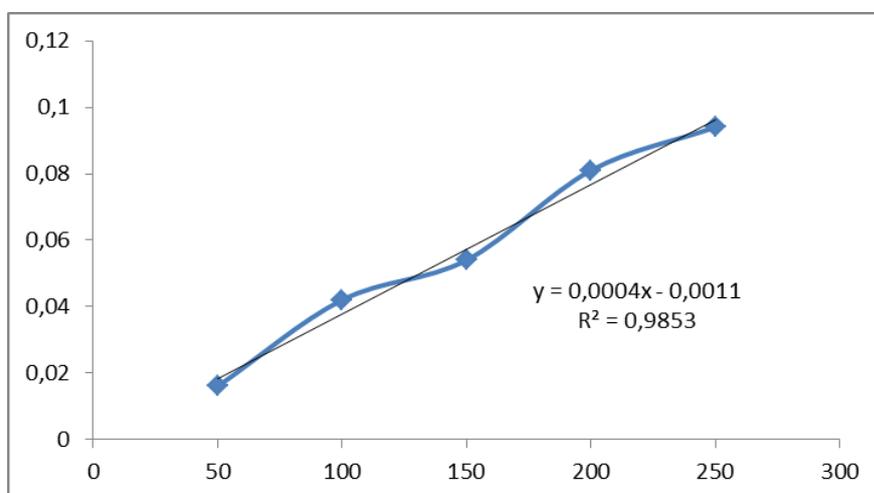
Tabela 6 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 01).

Amostras	Concentração (ppm)	Absorbância Corrigida
Ponto curva 1	50	0,005
Ponto curva 2	100	0,015
Ponto curva 3	150	0,024
Ponto curva 4	200	0,049
Ponto curva 5	250	0,065
Amostra	108,7	0,018

Fonte: Elaborado pela autora.

A terceira análise foi realizada com a solução catalisadora preparada através do método 02, no qual é realizada apenas a reação direta entre a prata metálica (Ag^0) e ácido nítrico (HNO_3) para formar o nitrato de prata (AgNO_3), o qual foi reagido com sulfato de sódio (Na_2SO_4) para formar o sulfato de prata (Ag_2SO_4). Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 32). A partir de então, a amostra foi analisada e o resultado da sua concentração foi de 77,75ppm (tabela 7).

Figura 32 - Gráfico da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 02).



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 - Resultados da análise de DQO realizada com solução catalisadora (método 02).

Amostras	Concentração (ppm)	Absorbância Corrigida
Ponto curva 1	50	0,016
Ponto curva 2	100	0,042
Ponto curva 3	150	0,054
Ponto curva 4	200	0,081
Ponto curva 5	250	0,094
Amostra	77,75	0,03

Fonte: Elaborado pela autora.

Podemos observar que os valores encontrados das concentrações das amostras, as quais foram analisadas, respectivamente, utilizando a solução catalisadora preparada com reagentes analíticos e utilizando a solução catalisadora preparada pelo método 02, foram de 72,5ppm e 77,75ppm, sendo resultados muito próximos do valor da concentração da amostra preparada (75ppm). Além disso, os valores dos coeficientes de correlação (R^2) da reta obtida das análises realizadas com essas duas soluções catalisadoras, foram os mais próximos entre si e mais próximos do valor 1, ou seja, quanto mais próximo estiver esse coeficiente da unidade, maior será a qualidade dos resultados.

No entanto, a amostra analisada com a solução catalisadora preparada pelo método 01, obteve uma concentração muito elevada (108,7ppm) e, portanto, distante do valor da concentração da amostra controle. Além disso, o seu coeficiente de correlação apresentou o valor abaixo dos demais ($R^2 = 0,9644$), sugerindo que seus resultados são menos confiáveis.

Assim, podemos afirmar que a solução catalisadora preparada através do método 02, a qual utiliza prata metálica recuperada em sua composição, apresenta qualidade similar à solução catalisadora preparada através de reagentes analíticos e, portanto, pode ser utilizada como prática de reaproveitamento de materiais residuais, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

5.3.3 *Tratamento do mercúrio e do cromo hexavalente*

Após o tratamento da prata presente nos resíduos da análise de DQO, iniciou-se o tratamento dos metais mercúrio (Hg^{2+}) e cromo (Cr^{6+}), os quais apresentaram os seguintes resultados:

a) mercúrio (Hg^{2+}):

Todos os três tratamentos realizados nos resíduos da análise de DQO para o mercúrio (Hg^{2+}) tiveram como objetivo precipitar e remover este metal presente nos líquidos remanescentes dos tratamentos da prata executados.

Dentre os três reagentes utilizados (sulfeto de ferro, sulfeto de sódio e tioacetamida 13%) para reação com o mercúrio (testes em tubos de ensaio), verificou-se um maior rendimento, em termos do precipitado sulfeto de mercúrio (HgS), com o uso do precipitante sulfeto de ferro. Esse teste em tubos de ensaio serviu como base para a escolha do reagente para tratar o mercúrio em grande escala.

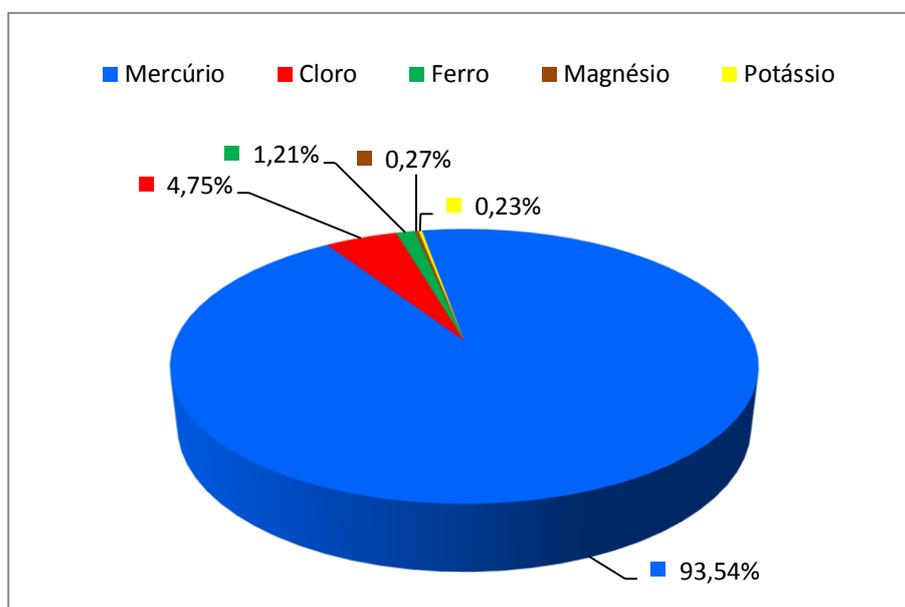
O produto obtido, sulfeto de mercúrio (HgS) (figura 33), a partir do tratamento com sulfeto de ferro em grande escala foi encaminhado para o Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da UFC para a realização da análise de fluorescência de raios-x, a qual nos informa sobre a porcentagem dos compostos presentes no material em estudo (figura 34).

Figura 33 - Sulfeto de mercúrio (HgS).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34 – Composição percentual do sulfeto de mercúrio (HgS) de acordo com a análise de FRX.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a figura 34, o precipitado sulfeto de mercúrio (HgS) apresentou um alto teor de mercúrio em sua composição (93,540%), mostrando que a reação entre o mercúrio presente no líquido remanescente do tratamento da prata (resíduo DQO) e o sulfeto de ferro é eficiente em termos de recuperar o metal em estudo, propondo-se, portanto, a implantação desta metodologia de tratamento no laboratório.

Vale ressaltar que a análise de espectroscopia de absorção atômica de chama não foi realizada nos sobrenadantes finais do tratamento do mercúrio, pois esse metal somente pode ser quantificado através da técnica de espectrometria de absorção atômica com geração química de vapor (CVG AAS), não disponível no Laboratório de Análises de Traços (LAT) do DQAFQ, onde foram realizadas as análises.

b) cromo hexavalente (Cr⁶⁺):

O tratamento do cromo (Cr⁶⁺) iniciou-se após o tratamento e remoção da prata (Ag⁺) e mercúrio (Hg²⁺), presentes nos resíduos das análises de DQO. Todavia, o cromo hexavalente (Cr⁶⁺) é solúvel em pH ácido e pH alcalino e para que ocorra a sua remoção é necessário reduzi-lo para a forma de cromo trivalente (Cr³⁺) em pH inferior a 2,5. O cromo

trivalente formado é menos tóxico do que o cromo hexavalente, mas não deve ser descartado, pois deve ser considerada a possibilidade de reoxidação do metal. Assim, após a redução desse metal, é necessário realizar a precipitação do mesmo na forma de hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$), o que ocorrerá com a adição do reagente hidróxido de sódio (NaOH).

Foram realizadas três reações com o líquido remanescente do tratamento do mercúrio para analisar qual das opções resultaria num maior rendimento do precipitado hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$):

- i. reação com bissulfito de sódio (NaHSO_3) seguido da adição de hidróxido de sódio (NaOH);
- ii. reação com tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) seguido da adição de hidróxido de sódio (NaOH);
- iii. reação com hidróxido de sódio (NaOH).

Verificou-se que apesar do tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) e do bissulfito de sódio (NaHSO_3) efetuarem a redução do cromo hexavalente a cromo trivalente (solução verde transparente), a reação iii, a qual não utiliza nenhum desses reagentes redutores, foi a única reação na qual o sobrenadante final, ou seja, sobrenadante restante após o tratamento da prata, do mercúrio e do cromo, ficou incolor, indicando a ausência do cromo na solução e a sua consequente precipitação como ($\text{Cr}(\text{OH})_3$). A não utilização de um agente redutor na reação iii deve-se ao fato de que o sulfeto de ferro, usado na precipitação do mercúrio, provavelmente atuou também como agente de redução do cromo hexavalente ao cromo trivalente.

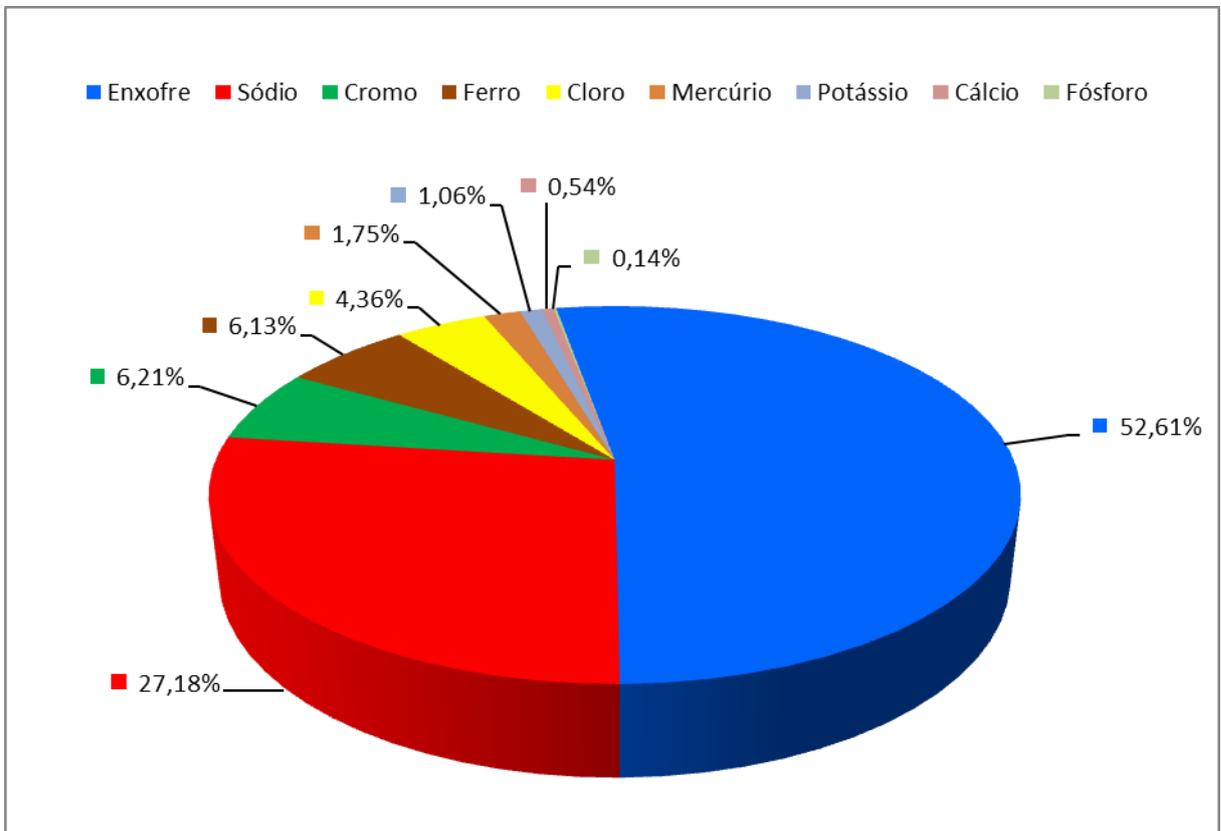
De acordo com esses fatos, realizou-se em grande escala a reação do líquido remanescente do tratamento do mercúrio com o hidróxido de sódio (NaOH), obtendo assim, o sólido hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) (figura 35), o qual foi encaminhado para o Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da UFC para a realização da análise de fluorescência de raios-X, a qual informa sobre a porcentagem dos compostos presentes no material em estudo (figura 36).

Figura 35 - Hidróxido de cromo (Cr(OH)₃).



Fonte: Elaborado pela autora.

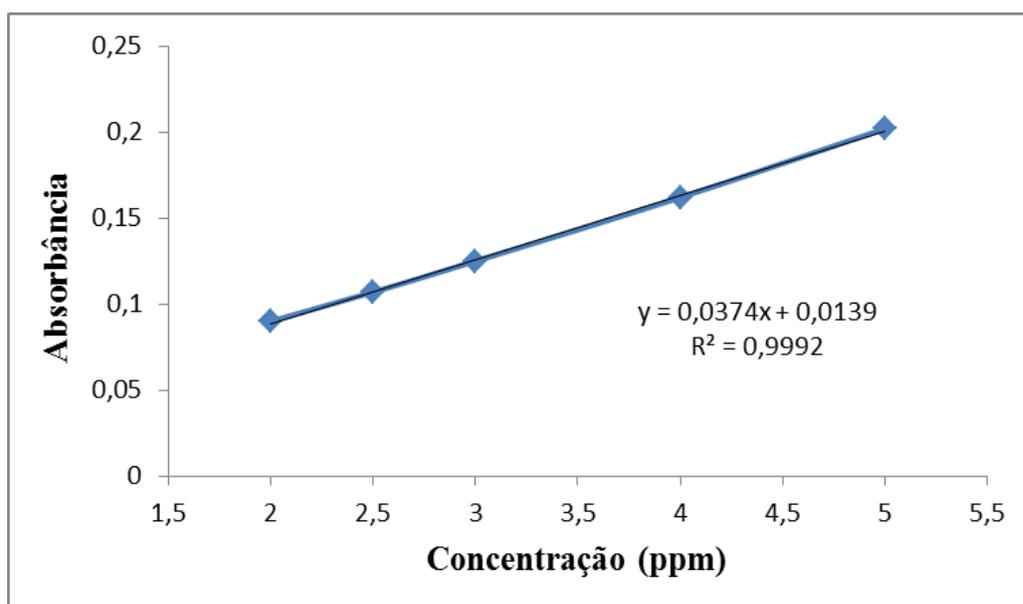
Figura 36 - Composição percentual do hidróxido de cromo (Cr(OH)₃) de acordo com a análise de FRX.



Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar do melhor rendimento da reação iii, os sobrenadantes finais das três reações de tratamento do cromo foram analisados através da técnica de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) para verificarmos se a concentração de cromo ainda presente nesses líquidos está de acordo com os limites estabelecidos pela norma vigente (Resolução CONAMA nº 430/2011). Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 37). Posteriormente, foram lidas as absorbâncias da amostra do resíduo de DQO e das amostras referentes aos líquidos remanescentes dos três tratamentos do cromo, para serem inseridas na curva (tabela 8).

Figura 37 - Gráfico da análise de absorção atômica do cromo nos resíduos de DQO.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 - Resultados da concentração de cromo presente nos líquidos remanescentes após as três reações de tratamento desse metal - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).

Amostras	Concentração de cromo (ppm)	Absorbância
Ponto curva 1	2	0,09
Ponto curva 2	2,5	0,107
Ponto curva 3	3	0,125
Ponto curva 4	4	0,162
Ponto curva 5	5	0,202
Amostra do resíduo de DQO (diluída 1:180)	549,144	0,128
<u>Sobrenadante reação i</u> (Reagente: bissulfato de sódio e NaOH)	0,778	0,043
<u>Sobrenadante reação ii</u> (Reagente: tiosulfato de sódio e NaOH)	0,297	0,025
<u>Sobrenadante reação iii</u> (Reagente: NaOH)	0,136	0,019

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a figura 36, o precipitado proveniente do tratamento do cromo apresentou um baixo teor desse metal em sua composição (6,214%). Contudo, avaliando a análise de espectroscopia de absorção atômica de chama referente à concentração de cromo presente nos líquidos remanescentes (tabela 8), podemos afirmar, que os três tratamentos efetuados foram eficazes o suficiente para remover grande parte do cromo presente e se adequar ao que a Resolução CONAMA nº 430/2011 determina para o padrão de lançamento de efluentes contendo cromo total ($\text{Cr}^{6+} + \text{Cr}^{3+}$), o qual não deve ultrapassar a concentração de 1,1 mg/L (ppm).

O tratamento, o qual utilizou a “reação iii”, obteve um maior rendimento, tendo 99,975% do cromo removido do resíduo das análises de DQO, além de ter apresentado a menor concentração de cromo no líquido remanescente (0,136mg/L), estando dentro do limite determinado pela legislação (Resolução CONAMA nº 430/2011). Além de ter apresentado

resultados mais satisfatórios, foi o que utilizou menor quantidade de reagentes, o que o qualifica, portanto, a ser implementado como metodologia de tratamento de cromo no Labosan.

5.4 Tratamento dos resíduos gerados nas análises de NTK

Dentre os setes resíduos químicos ativos mais gerados no Labosan, está o resíduo da análise de NTK. Durante os testes analíticos qualitativos realizados (tabela 2), os resíduos gerados dessa análise apresentaram resultado positivo para o cobre (Cu^{2+}), havendo a necessidade de tratamento do mesmo.

Assim, o método de tratamento do cobre foi a reação entre o resíduo contendo cobre e o reagente hidróxido de sódio (NaOH), ocorrendo a precipitação deste metal na forma de hidróxido ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) (figura 38). Não foi possível, entretanto, o envio deste material para a análise de fluorescência de raios-X, devido à pequena quantidade de precipitado obtido, sendo insuficiente para a realização da análise.

Figura 38 - Hidróxido de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$).

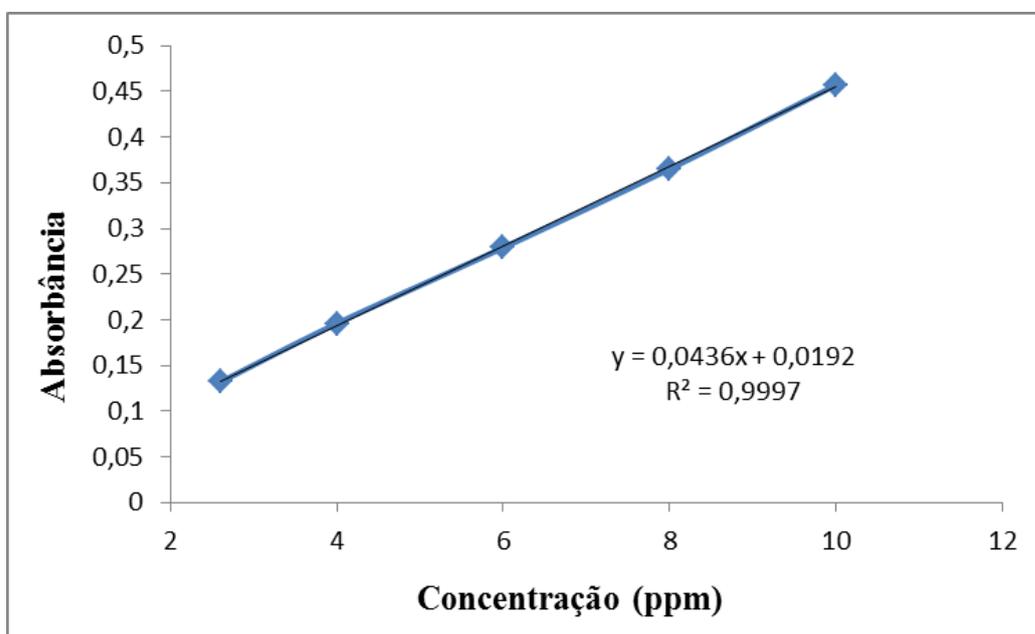


Fonte: Elaborado pela autora.

Esse tratamento foi aplicado tanto para o resíduo de cobre gerado no 1º tratamento da prata (figura 11) como para o resíduo de cobre gerado nas análises de NTK (figura 21). Assim, os sobrenadantes iniciais e finais do tratamento do cobre desses dois resíduos foram analisados através da técnica de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) para conhecermos a concentração inicial de cobre em cada resíduo e verificarmos se a concentração final desse metal, em cada um dos sobrenadantes, está de acordo com os limites estabelecidos pela norma vigente (Resolução CONAMA nº 430/2011).

Primeiramente foram lidas as absorbâncias relativas aos pontos da curva de calibração, a partir dos quais foi montado o gráfico e, conseqüentemente, a equação da reta (figura 39). A partir de então, a amostra do resíduo de cobre proveniente do 1º tratamento da prata, a amostra do resíduo de cobre proveniente da análise de NTK e as amostras referentes aos líquidos remanescentes do tratamento do cobre desses dois resíduos foram analisados (tabela 9).

Figura 39 - Gráfico da análise de absorção atômica do cobre nos resíduos de DQO.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Resultados da concentração de cobre presente nos líquidos remanescentes após o tratamento desse metal pesado - Análise de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).

Amostras	Concentração de cromo (ppm)	Absorbância
Ponto curva 1	2,6	0,132
Ponto curva 2	4	0,196
Ponto curva 3	6	0,279
Ponto curva 4	8	0,365
Ponto curva 5	10	0,457
Resíduo de cobre (1º tratamento da prata) (diluição 1:400)	1135,78	0,143
Sobrenadante final do 1º tratamento da prata	0,729	0,051
Amostra do resíduo de NTK (Diluição 1:4)	19,339	0,23
Sobrenadante final - Resíduo NTK	0	0,007

Fonte: Elaborado pela autora.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 determina que o padrão de lançamento de efluentes contendo cobre dissolvido não deve ultrapassar a concentração de 1,0 mg/L (ppm). Sabendo disso, podemos afirmar que o sobrenadante final do tratamento do cobre, gerado no 1º tratamento da prata, como o sobrenadante final do tratamento do cobre referente à análise de NTK (tabela 9), estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação e, portanto, o tratamento realizado nos dois resíduos de cobre foram eficazes para remover grande parte do cobre presente.

Em relação ao tratamento realizado no resíduo de cobre proveniente do 1º tratamento da prata, houve a remoção de 99,93% do cobre presente e apresentou como concentração final 0,729mg/L de cobre (Cu^{2+}). Vale ressaltar que o método utilizado para realizar o 1º tratamento da prata não é um método ambientalmente correto, pois o tratamento realizado acaba gerando outro resíduo, no caso, resíduo de cobre em elevadas concentrações. Assim, o mesmo não deve ser aplicado no laboratório.

Já o tratamento realizado no resíduo de cobre proveniente da análise de NTK removeu 100% do cobre presente. Assim, pode-se afirmar que o método utilizado para tratamento dos resíduos de cobre foi satisfatório. Além disso, outra vantagem é a utilização de quantidade reduzida de reagentes para a realização do mesmo.

5.5 Questionário

O questionário aplicado (APÊNDICE A) mostrou como os usuários do Labosan/DEHA percebem a situação dos resíduos químicos ativos gerados pelos mesmos. O resultado mostrou que em relação ao descarte realizado no laboratório, 42% dos usuários responderam que descartam seus resíduos na pia, enquanto que outros 42% afirmaram que armazenam seus resíduos, cujo tratamento não é realizado no Labosan. Contudo, após conhecermos as concentrações iniciais de cobre na análise de NTK (19,339ppm) e as concentrações iniciais de prata (2346,78ppm) e cromo (549,144ppm) na análise de DQO, podemos afirmar que grande parte dos resíduos não deve ser descartados no meio ambiente sem um tratamento prévio, pois as suas concentrações ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Com isso, é necessário buscar a aplicação de metodologias de tratamento cada vez mais limpas para evitar possíveis agressões ao meio ambiente.

Ainda referente ao questionário, 44% dos alunos responderam que apesar de haver uma preocupação ambiental quanto aos resíduos gerados por eles, os mesmos não pensam em tratá-los no laboratório. O dado que comprova esse tópico é o fato de que 68% dos usuários acreditam que a responsabilidade dos resíduos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa é do laboratório e da universidade. Contudo, de acordo com a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, a principal regra a ser adotada para o gerenciamento dos resíduos é a da responsabilidade objetiva, isto é, quem gerou o resíduo é o responsável pelo mesmo. Dessa forma, podem ser responsabilizados tanto o laboratório quanto o coordenador e os demais usuários do laboratório e indiretamente a universidade que ainda não iniciou o seu sistema de gerenciamento de resíduos químicos. No entanto, vale ressaltar que o primeiro passo já foi dado ao criar a Divisão de Gestão Ambiental da Pró-Reitoria de Planejamento da UFC.

Entretanto, apesar desse trabalho ter sido realizado apenas no Labosan/UFC, há a necessidade de se realizar um trabalho de consciência ambiental frequentemente com os usuários de todos os laboratórios, pois os resultados observados nesse questionário estão espelhados na situação de outros laboratórios de ensino e pesquisa. Assim, faz-se necessário a participação desses alunos em cursos, minicursos e palestras sobre gerenciamento de resíduos químicos para que haja uma mudança no pensamento e nas atitudes dos mesmos, para que possamos preservar o meio ambiente para a presente e futuras gerações.

6 CONCLUSÃO

Pode-se verificar em relação aos resíduos químicos passivos gerados no Labosan, que grande quantidade dos reagentes (58,125%) foram doados e serão reutilizados, contribuindo para a gestão dos resíduos e a preservação do meio ambiente e evitando desperdícios financeiros do laboratório para o tratamento adequado dos mesmos. Vale ressaltar que foram realizados testes qualitativos com os reagentes não identificados e conseguiu-se a identificação de 85,714% dos mesmos. Contudo, é necessário o monitoramento frequente desse tipo de resíduo através da atualização do inventário realizado, evitando o acúmulo de materiais passíveis de reaproveitamento dentro ou fora da unidade geradora, além de evitar avarias de rótulos e o aumento de reagentes não identificados. Assim, para facilitar as doações, é importante que o laboratório busque meios práticos, rápidos e tecnológicos de doar os produtos químicos não mais utilizados.

Quanto aos resíduos químicos ativos, foi possível identificar as principais análises geradoras: amônia, NTK, DQO, nitrito, nitrato, fósforo, alcalinidade, pH, sólidos totais e cromatografia – biogás. A análise qualitativa nos mostrou que é necessário o tratamento dos resíduos das análises de NTK, que contém o metal cobre (Cu^{2+}) e das análises de DQO, que contém prata (Ag^+), mercúrio (Hg^{2+}) e cromo hexavalente (Cr^{6+}) na sua composição.

Podemos notar que os métodos desenvolvidos para tratamento desses quatro metais pesados, foram de fácil execução e de baixo custo para o laboratório. Assim, pode-se dizer que os tratamentos efetuados foram satisfatórios, tendo apresentado remoção de 100% do cobre presente no resíduo da análise de NTK, remoção de 99,984% da prata e de 99,975% do cromo, ambos presentes no resíduo da análise de DQO. Além disso, através da técnica de fluorescência de raios-X (FRX), verificou-se que os sólidos precipitados dos respectivos metais apresentaram elevadas purezas, como é o caso da prata que apresentou pureza de 99,223% e do mercúrio que apresentou pureza de 93,540%. Além disso, através da técnica de espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS), foi observado que os sobrenadantes finais dos tratamentos do cromo e do cobre apresentaram resultados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 para descarte.

Foi possível utilizar a técnica de reciclagem, ou melhor, de reaproveitamento de materiais residuais com a prata recuperada dos resíduos das análises de DQO, fazendo a mesma retornar com sucesso para a análise que a gerou, completando o ciclo desse metal.

Entretanto, apesar das diversas atividades efetuadas e desenvolvidas e dos resultados satisfatórios, o gerenciamento dos resíduos químicos efetuado até o momento no Labosan/DEHA foi apenas o início. Deve-se buscar investigar mais profundamente todos os resíduos gerados no mesmo, utilizando técnicas modernas, sendo, portanto, um ato permanente, onde todos os esforços devem ser feitos para obter uma melhoria contínua da qualidade do meio ambiente.

Tendo em vista os debates acerca do tema e a busca constante pela sustentabilidade ambiental, o gerenciamento de resíduos químicos deve fazer parte da realidade nas instituições de ensino e pesquisa. Assim, há a necessidade dos laboratórios criarem condições de conscientização sobre as mudanças indispensáveis em relação ao estilo de vida de seus funcionários e alunos e à minimização da geração de resíduos químicos.

Os aspectos positivos da implantação de um gerenciamento adequado de resíduos químicos são: redução de gastos com a aquisição de produtos químicos; melhoria na imagem do laboratório e/ou instituição frente à comunidade universitária; desenvolvimento de técnicas de redução e tratamento dos resíduos, contribuindo com o crescimento científico da instituição; diminuição dos riscos ambientais; melhoria da qualidade de vida, do ensino e da pesquisa, entre outros.

Assim, frente a tantos aspectos relevantes, faz-se necessário que essas ações isoladas, sejam encaradas coletivamente por toda a comunidade universitária. É importante que cada um assuma conscientemente a sua responsabilidade frente aos rejeitos gerados nas unidades de laboratório, para que se torne possível a implantação de uma política institucional efetiva de gerenciamento de resíduos químicos.

REFERÊNCIAS

AFONSO, C. J.; SILVEIRA, A. J.; OLIVEIRA, S.A.; LIMA, G. M. R. Análise sistemática de reagentes e resíduos sem identificação. **Química Nova**, v. 28, n.1, p. 157 – 165, 2005.

AFONSO, J. C.; NORONHA, L. A.; FELIPE, R. P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 602-611, 2003.

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. **Revista Química Nova**, v. 26, n. 2, p. 291-295, 2003.

ALBERGUINI, L. B. A.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. **Tratamento de resíduos químicos: guia prático para a solução dos resíduos químicos em instituições de ensino superior**. São Carlos: Rima, 2005. 104p.

AMERICAN HEALTH PUBLIC ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.

ANVISA. Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004. Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, Seção 1. 10 de dez. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004:2004**: resíduos sólidos: classificação. São Paulo, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10006:2004**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. São Paulo, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10007:2004**: Amostragem de resíduos sólidos. São Paulo, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12808:1993**: Resíduos de serviços de saúde. Rio de Janeiro, 1993.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BRASIL, João Batista de Freitas. **Gerenciamento de resíduos químicos perigosos em uma instituição de ensino e pesquisa – Estudo de caso: Universidade de Brasília – UnB**. 2011. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Planejamento e Gestão Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 6938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acesso: 31 de mai. 2014a.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Lei nº 05**, 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/legiabre.cfm?codlegi=130>>. Acesso em: 15 jun. 2014b.

BRASIL. Conselho Nacional do meio ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 31 mai. 2014c.

BRASIL. Constituição (1988) **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm> Acesso em: 31 mai. 2014d.

BRASIL. **Decreto nº 7.404**, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23dez. 2010.

BRASIL. **Decreto nº 96044**, de 18 de maio de 1988. Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D96044.htm>. Acesso em: 31 mai. 2014e.

BRASIL. **Lei nº 9605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 31 mai. 2014f.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Resolução CONAMA nº 358**, de 29 de abril de 2005. Revoga as disposições da Resolução nº5/93, que tratam dos resíduos sólidos oriundos dos serviços de saúde, para os serviços abrangidos no art. 1º desta Resolução. Revoga a Resolução nº 283/01. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 84, 4 mai. 2005, Seção 1, p. 63-65.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2014g.

BRASIL. **Portaria MTE nº485**, de 11 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 nov. 2005. Seção 1 NR 32: Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/avalia/saude_do_trabalhador_portaria_485_aprova_NR32.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2014h.

CETESB. **Norma nº P4.262/2001**. Gerenciamento de resíduos químicos provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde - Procedimento. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Servicos/publicacoes/buscatitulo1.asp>> Acesso em: 30 jun. 2014.

COUTINHO, E. C. R. **Proposição de um plano de gerenciamento de resíduos para instituição de ensino. Estudo de caso: centro de tecnologia da UFPB – João Pessoa - PB**. 2006. Dissertação (Mestrado em engenharia urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

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

DE CONTO, S. M. **Gestão de resíduos em universidades**. Caxias do Sul: Educs, 2010. 299p.

DE MARTINI JÚNIOR, L. C.; GUSMÃO, A. C. F. Responsabilidades civil e criminal decorrentes de dano ambiental. In: International Biohidrometallurgy Symposium. Gestão ambiental na indústria. Rio de Janeiro: Destaque, 2003. p. 27-63. Cap. 3.

FELISBERTO, R.; VIEIRA, L. O.; COUTO, A.; SCHUH, R.; ALBINO, C. T.; LIBARDI, D. B. De resíduos a insumo: a construção do caminho para uma química mais limpa através de um projeto de ensino. **Quím. Nova**, Vol. 31, No. 1, p 174-177, 2008.

FIGUEIREDO, P. J. M. **A sociedade do lixo, os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. 2. ed. Piracicaba: UNIMEP, 1995.

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. 394p.

GERBASE, A. E. et al. Gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 28, n. 1, São Paulo, Jan./Fev. 2005.

GERBASE, A. E.; COELHO, F. S.; MACHADO, P. F. L.; FERREIRA, V. F. Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química nova**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 3, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184p.

HENRIQUE, O. S. **Resíduo químico gerado em laboratórios da Unicamp: Inventário e Avaliação de seu gerenciamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em engenharia civil, na área de concentração de saneamento ambiental) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, São Paulo, v. 21, n. 5, p. 671-673, set./oct. 1998.

JARDIM, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos**. Campinas: UNICAMP. 2002. Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/pdf/LivroCap11.PDF>>. Acesso em: 04 abr. 2014b.

KING, Edward Jasper. **Análise qualitativa: reações, separações e experiências**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981. 269p. ISBN 8520101453.

LARSON, S. R. **Characterization of unknown laboratory chemicals for disposal**. In: Kaufman, J. A. *Waste disposal in academic institutions*. 2. Ed. Michigan: Lewis Publishers, p. 103-107, 1990.

LENARDÃO, E. J. **Estudos para a implantação da Green Chemistry no Instituto de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – SBQ, 24, 2001, Poços de Caldas.

LEVADA, J. C. **Gestão e gerenciamento de resíduos químicos e aplicação da tecnologia de destilação na recuperação de solventes orgânicos: estudo de caso da reciclagem do xileno**. 2008. Dissertação (Mestrado em ciências – química analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

LIMA, I. C. **Gerenciamento de resíduos químicos de laboratórios: estudo de caso do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

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

MANAHAM, S. E. **Environmental Chemistry**. Boca Raton: Florida. 7.ed. 2000.

MENDES, L. A. A. **Sistema de gerenciamento integrado de resíduos perigosos: modelagem e validação nos laboratórios da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.** 2011. Tese (Doutorado em meio ambiente) – Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MICARONI, R. C. C. M. **Gestão de resíduos em laboratórios do Instituto de Química da UNICAMP.** 2002. Tese (Doutorado em ciências) – Instituto de química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MURPH, J. A.; ACKERMAN, A. H.; HEEREN, J. K.; J. Chem. Educ., 1991, 68, 602.

NOLASCO, F. R.; TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 118-124, abr./jun. 2006.

OLIVEIRA, Rui de; SILVA, S. A. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias.** 1 ed. São Paulo: ABES, 2006. 266p.

PENATTI, F. E.; GUIMARÃES, S. T. L.; SILVA, P. M. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de análises e pesquisa: o desenvolvimento do sistema em laboratórios da área química.** In: II Workshop Internacional em Indicadores de Sustentabilidade (WIPIS), ISBN 978-85-85205-81-2, Agosto/2008, São Carlos. Disponível em: <http://www.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo_9f.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2014.

POSSIGNOLO, N. V.; BENDASSOLLI, J. A.; TAVARES G. A. **Tratamento de soluções residuais contendo cromo.** Apostila. Campinas, 2011.

PRADO, A. G. S. Química Verde: os desafios da química no novo milênio. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 5, p. 738-744, set./out. 2003.

REINHARDT, P. A.; LEONARD, K. L.; ASHBROOK, P. C. Pollution prevention and waste minimization in laboratories. Michigan: Lewis Publishers, 1995. p. 31-53, 69-88, 97-119, 207-237, 274-326.

REIS, A. L. N. **Caracterização e avaliação do manejo de resíduos dos laboratórios do Instituto de Biologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.** 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 1985. 287p.

ROCCA, A.C.C. *et. al.* **Resíduos sólidos industriais.** São Paulo: CETESB, 1993.

SANTOS, E. S. et al. Espectrometria de fluorescência de raios-X na determinação de espécies química. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17; p. 3413-3432, nov./dez. 2013.

SASSIOTTO, M. L. P. **Manejo de resíduos de laboratórios químicos em universidades – Estudo de caso do Departamento de Química da UFSCar.** 2005. Dissertação (Mestrado em engenharia urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SILVA, F. M.; LACERDA, P. S. B.; JONES JÚNIOR, J. Desenvolvimento sustentável e química verde. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 103-110, jan./fev. 2005.

SOARES, D. F. **Proposta de tratamento e disposição adequada de resíduos químicos gerados no laboratório de separação e pré-concentração (LSPc) do IQ-UFU.** 2006. Dissertação (Mestrado em química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

TAVARES, G. A. et al. Implantação de uma estação de produção de água deionizada para uso nos laboratórios do CENA/USP empregando resinas de troca-iônica. **Analytica**, São Paulo, n. 10, p. 36-42, abr./maio 2004.

TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 732-738, 2005.

VEIGA, T. B. **Diagnóstico da situação do gerenciamento de resíduos perigosos no Campus da USP de Ribeirão Preto – SP.** 2010. Dissertação (Mestrado em ciências) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

- Aluno(a) de iniciação científica (Graduação)**
- Aluno(a) de mestrado**
- Aluno(a) de doutorado**
- Outro - Cargo:** _____

01. Qual a sua área de concentração no Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil?

- Geotecnia
- Recursos Hídricos
- Saneamento Ambiental
- Não sou aluno de pós-graduação

02. Assinale quais as análises que são ou serão realizadas para desenvolver o seu projeto?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Alcalinidade | <input type="checkbox"/> Índice de acidez (Óleo) |
| <input type="checkbox"/> Amônia (NH ₃) | <input type="checkbox"/> Nitrato (NO ₃ ⁻) |
| <input type="checkbox"/> Condutividade elétrica | <input type="checkbox"/> Nitrito (NO ₂ ⁻) |
| <input type="checkbox"/> Cromatografia - Biogás (CH ₄ e CO ₂) | <input type="checkbox"/> NTK |
| <input type="checkbox"/> DBO | <input type="checkbox"/> Ortofosfato |
| <input type="checkbox"/> Determinação de Peróxido | <input type="checkbox"/> pH |
| <input type="checkbox"/> DQO | <input type="checkbox"/> Sólidos Suspensos |

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ensaio de atividade metanogênica | <input type="checkbox"/> Sólidos Totais |
| <input type="checkbox"/> Extração de Lipídios | <input type="checkbox"/> Sólidos Voláteis |
| <input type="checkbox"/> Ferro | <input type="checkbox"/> Sulfato (SO_4^{2-}) |
| <input type="checkbox"/> Fósforo Total | <input type="checkbox"/> Sulfito (SO_3^{2-}) |
| <input type="checkbox"/> Glicerina Livre (Óleo) | |
| <input type="checkbox"/> Outras análises: | |

_____	_____
_____	_____

03. Onde você descarta os resíduos gerados nas suas análises?

- a) Minha pesquisa não gera resíduo.
- b) Os resíduos são descartados na pia.
- c) São descartados na pia, mas antes de descartar na pia é feita uma diluição com água.
- d) São armazenados, mas o tratamento do mesmo não é feito no Labosan.
- e) São armazenados e o tratamento do mesmo é feito no Labosan.
- f) Nenhuma das respostas anteriores – Outro: _____

Obs.: Se a sua resposta para a questão 5 foi o item A, pule para a questão 7.

04. Você já se preocupou com os impactos que os seus resíduos químicos podem estar causando ao meio ambiente?

- a) Não, descarto sem pensar nos possíveis impactos.
- b) Não, a responsabilidade é do laboratório.
- c) Sim, mas nunca pensei na possibilidade de ter que fazer o tratamento dos mesmos.
- d) Sim, já busquei o tratamento dos mesmos, mas não encontrei.
- e) Sim, faço o tratamento dos resíduos químicos gerados pela minha pesquisa.
- f) Nenhuma das opções anteriores: _____

05. Os reagentes vencidos e/ou não utilizados em quaisquer laboratórios de ensino e pesquisa, podem ser considerados resíduos químicos?

- a) Sim, resíduos químicos incluem os reagentes vencidos e/ou estocados de um laboratório e são denominados de resíduos ativos nos laboratórios de ensino e pesquisa.
- b) Sim, são denominados de resíduos passivos e compreende todos os resíduos químicos estocados e, os quais não são gerados nas atividades rotineiras de trabalho de um laboratório.
- c) Não, resíduos químicos são apenas aqueles que são gerados continuamente, originados das atividades rotineiras da unidade geradora (laboratório).
- d) Não, resíduos químicos são apenas os restos reacionais de um laboratório e são chamados de resíduos passivos no laboratório. Os resíduos passivos podem ser classificados em identificados, não identificados e misturados/contaminados.

06. De acordo com a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, mais conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, a principal regra a ser adotada para o gerenciamento dos resíduos é a da responsabilidade objetiva, isto é:

- a) “Quem gerou o resíduo é o responsável pelo mesmo.”
- b) “Os laboratórios são os responsáveis pelos resíduos gerados nas análises realizadas no mesmo.”
- c) “A universidade é responsável por todos os resíduos gerados nos laboratórios.”
- d) Todas as opções anteriores.

07. Em instituições de ensino e pesquisa, a problemática dos resíduos químicos pode ser resolvida:

- a) Apenas através do descarte seguro desses resíduos.
- b) Através de metodologias de reuso e de descarte seguro dos resíduos químicos.
- c) Através de metodologias de reciclagem e de descarte seguro dos resíduos químicos.
- d) Através do descarte seguro desses resíduos químicos e, quando possível, estabelecer metodologias para reuso, reciclagem ou inativação dos resíduos.

08. O desenvolvimento de um programa de gerenciamento de resíduos químicos perigosos em instituições de ensino e pesquisa atende a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010)?

- a) Não, a Política Nacional de Resíduos Sólidos determina a adoção da logística reversa e obrigam os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores a recolher e dar destinação correta aos resíduos sólidos e às embalagens usadas de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, eletroeletrônicos e lâmpadas.
- b) Não, a Política Nacional de Resíduos Sólidos determina a adoção da logística reversa e obrigam os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores a recolher e dar destinação correta aos resíduos sólidos e às embalagens usadas de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, eletroeletrônicos e lâmpadas. Estabelece ainda responsabilidade compartilhada (que inclui produtor, revendedor e consumidor).
- c) Sim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos determina a adoção da logística reversa e obrigam os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores a recolher e dar destinação correta aos resíduos sólidos e às embalagens usadas. A medida vale para todos os setores, incluindo os resíduos perigosos gerados por instituições de ensino e pesquisa. A regulamentação de utilização e descarte seguros se estende aos agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, eletroeletrônicos e lâmpadas. Estabelece ainda responsabilidade compartilhada (que inclui produtor, revendedor e consumidor).
- d) Sim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos determina a adoção da logística reversa e obrigam os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores a recolher e dar destinação correta aos resíduos sólidos e às embalagens usadas de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, eletroeletrônicos, lâmpadas fluorescentes e resíduos químicos perigosos.

09. De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), a seguinte ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos deve ser observada:

- () Não gerar resíduos
- () Reciclar os resíduos gerados dentro ou fora da unidade geradora
- () Recuperar e reusar resíduos na unidade geradora
- () Disposição final ambientalmente adequada e segura dos rejeitos
- () Tratar os resíduos gerados, reduzindo volume e toxicidade
- () Reduzir a produção de resíduos na fonte geradora

APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DO MERCÚRIO SEGUIDO DO TRATAMENTO DO CROMO

TESTES: Tratamento do mercúrio (Hg^{2+}) e tratamento do cromo (Cr^{6+}).

Observação: Metais provenientes de resíduos gerados das análises de DQO.

No entanto, o tratamento do metal pesado prata (Ag^+) já foi realizado.

