

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**BACHAREL EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**LUIZA LASCOSK**  
**MAYARA FERNANDA DE CAMARGO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INORGÂNICOS GERADOS NOS**  
**LABORATÓRIOS DA UTFPR – PG.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**LUIZA LASCOSK  
MAYARA FERNANDA DE CAMARGO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INORGÂNICOS GERADOS NOS  
LABORATÓRIOS DA UTFPR – PG.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Eduardo Richter

**PONTA GROSSA**

**2019**



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INORGÂNICOS GERADOS NOS  
LABORATÓRIOS DA UTFPR – PG**

por

LUIZA LASCOSK

MAYARA FERNANDA DE CAMARGO

Monografia apresentada no dia 24 de junho de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. As candidatas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **aprovado**.

---

Prof. Dr. Ciro Mauricio Zimmermann  
UTFPR

---

Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo  
UTFPR

---

Prof. Prof. Dr. Wagner Eduardo Richter  
Orientador

---

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Dr. Wagner Eduardo Richter, por toda ajuda e apoio na realização do nosso trabalho de conclusão de curso.

Às nossas famílias e amigos por todo o apoio durante o curso, principalmente nos momentos de dificuldades.

Agradecemos também à banca avaliadora que contribuiu imensamente na melhoria do trabalho. Além de todos os professores do curso de Engenharia Química da UTFPR Ponta Grossa que foram de extrema importância para a nossa formação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

LASCOSK, Luiza; CAMARGO, Mayara. **Caracterização de resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios da UTFPR- PG.** 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

No âmbito universitário os resíduos gerados são em menor escala se comparados com a indústria, mas os impactos ambientais causados são grandes se não tratados corretamente. Para que o tratamento correto dos resíduos seja feito antes de sua destinação final é necessário conhecer suas características físicas e químicas. Na UTFPR - Campus Ponta Grossa foi implementado em 2008 a separação dos resíduos em grupos químicos e até o momento não há histórico de análises para caracterização dos mesmos. O trabalho apresentado tem como finalidade, por meio de análises físico-químicas e instrumentais, quantificar, qualificar e classificar os resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios de físico-química e química analítica quantitativa e qualitativa da UTFPR – Campus Ponta Grossa. As análises foram realizadas separadamente para cada laboratório e feitas em triplicatas. Aplicou-se métodos de volumetria, gravimetria e espectrofotometria. Os resultados obtidos através das análises identificaram que a maior parte dos resíduos inorgânicos analisados são compostos por água. Devido a esses resultados antes de sua destinação final é sugerido um estudo para a utilização de um evaporímetro, para reduzir em volume esses resíduos, facilitando o armazenamento e diminuindo eventuais custos que possam vir a ter para a universidade pela empresa que coleta esses resíduos.

**Palavras-chave:** Resíduos. Caracterização de resíduos. Sistema de gerenciamento ambiental. Análises físico-químicas.

## ABSTRACT

LASCOSK, Luiza; CAMARGO, Mayara. **Characterization of inorganic residues generated in UTFPR-PG laboratories**. 2019. 59 f. Final Paper (Bachelor Degree in Chemical Engineering) – Technological Federal University of Parana. Ponta Grossa. 2019.

At the university level the waste generated is smaller in scale compared to industry, but the environmental impacts caused are large if not treated correctly. In order for the correct treatment of the waste to be made before its final destination, it is necessary to know its physical and chemical characteristics. In UTFPR - Campus Ponta Grossa was implemented in 2008 the separation of the residues in chemical groups and to date there is no history of analyzes to characterize them. The purpose of the present work is to quantify, classify and qualify the inorganic residues generated in the physicochemical and quantitative and qualitative analytical chemistry laboratories of UTFPR - Campus Ponta Grossa, through physicochemical and instrumental analyzes. The analyzes were performed separately for each laboratory and made in triplicates. Volumetric, gravimetric and spectrophotometric methods were applied. The results obtained through the analyzes identified that most of the inorganic residues analyzed are composed of water. Due to these results before their final destination a study is suggested for the use of an evaporimeter, to reduce in volume this waste, facilitating the storage and reducing eventual costs that may come to the university by the company that collects that waste.

**Keywords:** Waste. Waste characterization. Environmental management system. Physicochemical analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - pHmetro de bancada.....	24
Figura 2 - Condutivímetro de bancada .....	24
Figura 3- Picnômetro .....	25
Figura 4- Turbidímetro digital .....	26
Figura 5 – Espectrômetro de absorção atômica.....	27
Figura 6 - Resíduo inorgânico coletado do laboratório de Físico-química.....	29
Figura 7- Resíduo inorgânico coletado do laboratório de Química Analítica. ....	29
Figura 8 – Resíduo inorgânico decantado do laboratório de Físico-Química.....	34
Figura 9 – Resíduo inorgânico decantado do laboratório de Química Analítica .....	35
Figura 10 - Tanque classe A .....	46
Figura 11 - Atmômetro de Piché.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de extrato seco das amostras do laboratório de Físico-Química.....	30
Tabela 2 – Resultados de extrato seco das amostras do laboratório de Química Analítica .....	31
Tabela 3 - Resultados de pH das amostras do laboratório de Físico-Química.....	31
Tabela 4 – Resultados de pH das amostras do laboratório de Química Analítica.....	31
Tabela 5 - Resultados da condutividade das amostras do laboratório de Físico-Química.....	32
Tabela 6 - Resultados da condutividade das amostras do laboratório de Química Analítica .....	32
Tabela 7 – Resultados de densidade relativa das amostras do laboratório de Físico-Química.....	33
Tabela 8 – Resultados de densidade relativa das amostras do laboratório de Química Analítica .....	33
Tabela 9 – Resultados de turbidez das amostras do laboratório de Físico-Química.....	34
Tabela 10 – Resultados de turbidez das amostras do laboratório de Química Analítica .....	34
Tabela 11 - Resultados de turbidez das amostras decantadas do laboratório de Físico-Química .....	35
Tabela 12 – Resultados de turbidez das amostras decantadas do laboratório de Química Analítica .....	35
Tabela 13 - Volume (mL) e absorvância para cada concentração padrão de magnésio.....	36
Tabela 14 - Concentrações de magnésio nas amostras do Laboratório de Físico-Química.....	37
Tabela 15 - Concentrações de magnésio nas amostras do laboratório de Química Analítica .....	38
Tabela 16 - Volume (mL) e absorvância para cada concentração padrão de sódio ..	38
Tabela 17 - Concentrações de sódio nas amostras do Laboratório de Físico-Química .....	39
Tabela 18 - Concentrações de sódio nas amostras do laboratório de Química Analítica .....	40
Tabela 19 - Volume (mL) e absorvância para cada concentração padrão de potássio .....	40
Tabela 20 - Concentrações de potássio nas amostras do Laboratório de Físico-Química.....	41
Tabela 21 - Concentrações de potássio nas amostras do laboratório de Química Analítica .....	42
Tabela 22 - Absorvância para cada concentração padrão de ferro.....	42
Tabela 23 - Concentrações de ferro nas amostras do Laboratório de Físico-Química .....	43
Tabela 24 - Concentrações de ferro nas amostras do laboratório de Química Analítica .....	44



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
3.1 GERAÇÃO E DESCARTE DE RESÍDUOS .....	12
3.2 QUÍMICA VERDE E ENGENHARIA VERDE .....	13
3.3 LEGISLAÇÃO .....	15
3.4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS .....	18
3.5 TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DESCONHECIDOS .....	19
3.6 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NA UTFPR-PG .....	20
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
4.1 MATERIAIS .....	22
4.2 MÉTODOS .....	22
4.2.1 Coleta do Material .....	22
4.2.2 Análises Físico-Químicas .....	22
4.2.3 Análises Instrumentais .....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>ANEXO 1 - Aulas práticas dos laboratórios de Físico-Química e Química Analítica. ...</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO 2 – Resultados comparativos entre os laboratórios. ....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO 3 - Valores de coeficiente do tanque “Classe A” (Kp) .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos químicos é uma consequência da produção de diversos produtos e processos presentes nas indústrias e, em menor escala, nas universidades. Os laboratórios de química das universidades constituem uma parcela destes geradores de resíduos, os quais muitas vezes não são tratados de forma correta antes de sua destinação final, causando maiores impactos ambientais.

Diversas legislações explanam sobre a preservação do meio ambiente abordando a geração e o tratamento adequado de resíduos, entre elas: a Política Nacional de Resíduos Sólidos, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as normas ISO, as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), as Resoluções da Diretoria Colegiada (RDCs) assim como as normas de Boas Práticas de Laboratório (BPL).

É de grande enfoque mundial a preservação do meio ambiente, e todas as ações que possam ser feitas, como a conscientização das pessoas e a implementação de sistemas de gerenciamento ambientais nas indústrias e universidades, são indispensáveis para que o impacto ambiental causado pelos seres humanos seja menor.

O tratamento correto dos resíduos antes de sua destinação final faz-se necessário visando obter resíduos recuperados nos mesmos processos em que foram gerados e até mesmo em novos processos. Para tal tratamento é necessário conhecer as características físicas e químicas dos resíduos que são gerados.

É importante considerar que, após as aulas práticas de química em laboratórios, são produzidos vários tipos de resíduos químicos que são considerados perigosos, e qualquer dano que tal resíduo possa causar ao meio ambiente e, conseqüentemente, aos seres humanos, deve ser minimizado (ALAIMO et al., 2010). Além disso, há também uma razão econômica para minimizar o desperdício, já que os tratamentos realizados por empresas terceirizadas podem ter um alto custo (EILKS e RAUCH, 2012).

Após as aulas práticas em laboratório os resíduos são, muitas vezes, armazenados sem a correta separação em grupos químicos, como inorgânicos, orgânicos, metais-pesados, halogenados, etc. Quando ocorre essa separação, a caracterização destes resíduos torna-se mais fácil, podendo-se direcionar determinadas análises para tais grupos químicos.

Na UTFPR – PG iniciou-se em 2008 o gerenciamento de resíduos gerados após as aulas de química prática, e desde então apenas é realizado uma separação macro dos resíduos nas categorias de soluções orgânicas, inorgânicas, solventes não halogenados, halogenados, metais pesados e outros compostos. Até o momento nenhum tipo de caracterização deste resíduo foi realizado. Portanto, este projeto visa caracterizar os resíduos inorgânicos por análises físico-químicas e propor o estudo para desenvolver um equipamento para a redução, em volume, do resíduo existente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios de Química Analítica (C-003) e Físico-Química (C-002) da UTFPR – PG.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar os resíduos inorgânicos armazenados em bombas dos laboratórios de físico-química e química analítica da UTFPR – PG.
- Realizar a caracterização dos resíduos por meio de análises físico-químicas.
- Propor o estudo de um equipamento que reduza, em volume, o resíduo gerado após as aulas experimentais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 GERAÇÃO E DESCARTE DE RESÍDUOS

A produção, transformação ou fornecimento de qualquer material pode gerar produtos sem valor comercial, utilidade ou benefício para os seres humanos. Esses produtos são referidos como resíduos e podem, eventualmente, ser reutilizados ou reciclados. Quando não há forma de tratamento ou recuperação deste produto ele é conceituado como rejeito.

Os resíduos podem ser classificados como perigosos, não perigosos, ativos ou passivos e, dependendo da classificação, podem contaminar o solo, a água e o ar quando descartados indevidamente (RAMM et al., 2018).

Entende-se por resíduo ativo aquele que possui processo de destinação vigente e condizente com as leis e normas ambientais. Já os resíduos passivos são todos os resíduos gerados que não possuem destinação e que podem ser agrupados de modo básico em identificados, não identificados ou misturados/contaminados.

As aulas práticas, em laboratórios químicos, são fundamentais e necessárias na construção acadêmica dos alunos na grande parte dos cursos de graduação existentes. Os materiais e reagentes utilizados nestas aulas são coletados e armazenados para posterior destinação correta, sendo classificados como resíduos ativos.

A geração de resíduo químico não é exclusiva das indústrias, uma vez que laboratórios de universidades, escolas e institutos de pesquisa também são geradores de resíduos de elevada diversidade, mas de volume geralmente reduzido, quando comparado ao industrial, representando 1% do total de resíduos perigosos (Classe I) produzidos em um país em desenvolvimento (ASHBROOK; REINHARDT, 1985, p. 1150).

Pode-se encontrar, desde 1970, diversos trabalhos na literatura sobre o desenvolvimento de manobras para minimizar a geração de resíduos, como o ajuste na conscientização racional do uso de reagentes (RAMM et al., 2018).

Segundo Gil et al., (2007, p. 19):

O descaso ou despreparo na questão do manejo de resíduos químicos em muitos lugares do mundo leva a graves danos à natureza, os quais podem ter repercussões negativas à saúde humana e ambiental. Tal fato tem motivado, por parte de vários países, o desenvolvimento de planos de gerenciamento seguros e sustentáveis dos diferentes resíduos gerados pela população, indústrias e diversas instituições. No sentido de se preservar a saúde e meio ambiente, a política de redução de resíduos é uma tendência que vem se estendendo também a pequenos geradores de resíduos, tais como instituições de ensino e laboratórios de pesquisa.

Usualmente as instituições de ensino são classificadas por órgãos de proteção ambiental como centros de baixo impacto e, conseqüentemente, não são inspecionadas rigorosamente, mesmo que os resíduos produzidos por tal possam apresentar alta taxa de toxicidade com risco superior aos resíduos industriais que geralmente são produzidos em grande quantidade. As atividades laboratoriais realizadas, sejam elas aulas experimentais ou atividades de pesquisa, geram resíduos que podem vir a oferecer riscos à saúde ou ao meio ambiente, sendo assim qualquer dano que tais resíduos possam eventualmente causar deverão ser minimizados (RAMM et al., 2018).

De acordo com Laudeano et al., (2011, p. 2):

A prática em gerenciar os resíduos químicos em laboratórios de pesquisa e ensino é uma necessidade, e a implementação de um sistema de gestão para estes produtos é de extrema importância ambiental, sanitária e econômica. Além disso, esse sistema permite ao aluno uma melhor conscientização acerca da problemática que é a geração, processamento e o descarte de resíduos químicos, tendo a oportunidade de ampliar e consolidar os conhecimentos químicos em benefício ao meio ambiente.

### 3.2 QUÍMICA VERDE E ENGENHARIA VERDE

Visando a melhoria no gerenciamento de resíduos, assim como a diminuição dos mesmos, criaram-se a Química Verde e a Engenharia Verde; diretrizes voltadas para todas as esferas da sociedade (universidades e indústrias), com princípios semelhantes que atentam ao beneficiamento do meio ambiente, englobando desde a geração dos resíduos até os processos industriais como um todo.

É possível ver esta similaridade nos princípios que mencionam a prevenção da geração de resíduos, abordados nas diretrizes da Química Verde e na Engenharia

Verde, em que discutem a necessidade de evitar a geração descontrolada de resíduos, que por consequência afeta diretamente o meio ambiente.

A química verde está fundamentada no melhor aproveitamento dos recursos naturais, almejando menor poluição ambiental e menor risco para os acadêmicos e sociedade em geral. (PRADO, 2003)

Segundo Anastas e Warner (1998, p. 30) os doze princípios da química verde são:

- 1) Prevenção: é melhor prevenir a formação de subprodutos do que tratá-los posteriormente;
- 2) Economia de átomos: os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos para maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos desejados;
- 3) Sínteses com compostos de menor toxicidade: sempre que possível deve-se substituir compostos de alta toxicidade por compostos de menor toxicidade nas reações químicas;
- 4) Desenvolvimento de compostos seguros: os produtos químicos deverão ser desenvolvidos para possuírem a função desejada, apresentando menor toxicidade possível;
- 5) Diminuição de solventes e auxiliares: a utilização de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, etc.) deverá ser evitado quando possível, ou usadas inócuas no processo;
- 6) Eficiência energética: os métodos sintéticos deverão ser conduzidos sempre que possível à pressão e temperatura ambientes, para diminuir a energia gasta durante um processo químico que representa um impacto econômico e ambiental;
- 7) Uso de substâncias recicladas: os produtos e subprodutos de processos químicos deverão ser reutilizados sempre que possível;
- 8) Redução de derivativos: a derivatização (uso de reagentes bloqueadores, de proteção ou desproteção, modificadores temporários) deverá ser minimizada ou evitada quando possível, pois estes passos reacionais requerem reagentes adicionais e, conseqüentemente, podem produzir subprodutos indesejáveis;
- 9) Catálise: a aplicação de catalisadores para aumentar a velocidade e o rendimento dos processos químicos;

- 10) Desenvolvimento de compostos para degradação: produtos químicos deverão ser desenvolvidos para a degradação inócua de produtos tóxicos, para não persistirem no ambiente;
- 11) Análise em tempo real para a prevenção da poluição: as metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitirem o monitoramento do processo em tempo real, para controlar a formação de compostos tóxicos;
- 12) Química segura para a prevenção de acidentes: as substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios.

Os princípios da Química Verde discutem valores que devem ser introduzidos ao cotidiano das universidades, no quesito da recuperação dos resíduos gerados ao longo dos diversos procedimentos realizados em laboratório.

A visão do meio ambiente sendo impactado durante o design de produtos, processos e sistemas e, principalmente, a geração dos resíduos é de extrema relevância para o modo como os profissionais atuarão em suas áreas condizendo com os princípios estabelecidos.

### 3.3 LEGISLAÇÃO

Na constituição de 1988, o artigo 225 abrange as leis sobre o meio ambiente. No seu caput está escrito que:

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).

Em 2010 foi criada a lei nº 12.305 que diz que:

Art. 1º: Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Art. 3º: Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

(...)

XVI - resíduos sólidos: 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, bem como 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 para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

A resolução do CONAMA nº 357/05 estabelece as classificações dos corpos de água e diretrizes ambientais, para verificar as condições e padrões de lançamento de efluentes. Levando em conta não apenas a situação do corpo de água atual, mas a qualidade necessária para atender as necessidades da comunidade.

Art. 7º: Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos (CONAMA, 2005).

Em 2011 a resolução do CONAMA recebeu uma atualização para a resolução nº 430/11, que diz que:

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3º: Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 5º: Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento (CONAMA, 2011).

A norma ISO 14000 descreve a implantação de técnicas para reduzir os processos de degradação ambiental. A geração de resíduos líquidos e insumos usados para a obtenção de resultados analíticos é o que pode causar impacto ambiental no caso de laboratórios químicos (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2018).

Pertencente ao conjunto de normas ISO 14000, a ISO 14001 é a norma que abrange o sistema de gestão ambiental (SGA), utilizado pela organização para desenvolver e implementar sua política ambiental, especificando os requisitos necessários para que a política e objetivos sejam eficazes e possam alcançar aspectos ambientais e econômicos significativos. A norma se baseia na metodologia

conhecida como *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), pois ela fornece um processo iterativo para assim alcançar a melhoria contínua (ABNT, 2015, p. 9).

As ISO 14000 e 14001 podem ser estabelecidas em todo sistema ambiental, conforme alguns fatores, sendo eles: política ambiental da organização, natureza das atividades, o local e as condições nas quais o sistema funciona (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2018).

A ISO 14001 estabelece adequações de acordo com os aspectos e os impactos resultantes e a RDC 306/04 determina os requisitos legais necessários a serem seguidos, sendo esta a mais próxima da realidade nos laboratórios de química, para o grupo B (produtos químicos) (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2018). Nos laboratórios é possível praticar as Boas Práticas de Laboratório, que são ações para diminuir os riscos nos laboratórios por meio de procedimentos básicos como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs), equipamentos de proteção coletivos (EPCs), limpeza e higienização do laboratório, entre outras (FMUSP, 2015).

Um gerenciamento completo envolve a implementação dos 3 Rs da sustentabilidade. São eles a redução na fonte, que abrange o consumo para evitar desperdícios, adotando-se um consumo com consciência ambiental; a reutilização, que tem por objetivo reaproveitar os materiais na mesma função ou em outras funções; e a reciclagem, que utiliza um processo físico ou químico que favorece o reuso sob a forma original ou como matéria-prima para produção de novos materiais com finalidades diversas. Os 3 Rs têm o intuito de diminuir e, conseqüentemente, melhorar, continuamente, o sistema de gerenciamento implementado, considerando o ciclo de vida do produto, modificações e inovações no processo, fazendo uso de tecnologias mais limpas (NOLASCO et al., 2006; PENATTI et al., 2008).

O reuso e a reciclagem são os destinos mais adequados aos resíduos, considerando-se que a reciclagem decorre de algum tipo de processamento. A diferença entre reuso e reciclagem está no fato de que, no primeiro caso, o material pode ser reutilizado no estado em que se encontra, sem a necessidade de qualquer processo (JARDIM, 1998).

Enquanto o reuso é pouco praticado, destacam-se como candidatos comuns ao processo de reciclagem os seguintes resíduos: solventes; combustíveis em geral; óleos; resíduos ricos em metais; ácidos e bases.

Durante as aulas práticas são produzidos vários tipos de resíduos que são considerados perigosos, e qualquer dano que tal resíduo possa causar deve ser

minimizado. Além disso, há também uma razão econômica para minimizar o desperdício, já que os tratamentos realizados por as empresas podem ter um alto custo (RAMM et al., 2018).

Gerbase et al. (2005) destacam que, na maioria dos casos, os resíduos gerados são armazenados de forma inadequada enquanto esperam pela disposição final. Infelizmente, a cultura predominante é descartar resíduos pelo ralo de laboratório, visto que a maioria das instituições de ensino público não possui um sistema de gerenciamento ambiental consolidado que permita a correta destinação do resíduo gerado.

### 3.4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS

É parte fundamental de um plano de gerenciamento de resíduos o correto tratamento dos resíduos gerados nos laboratórios químicos. São vários processos que podem ser feitos para o possível tratamento e até mesmo recuperação dos resíduos. Segundo Amaral et al. (2000) os resíduos recuperados podem ser sucessivamente reutilizados no mesmo processo em que foram gerados e se transformar em matéria prima para outros processos. Resíduos aquosos ou líquidos armazenados podem ser tratados por processos convencionais ou emergentes (foto catálise; neutralização, etc.).

O tratamento de um resíduo aquoso de laboratório exige a aplicação dos conhecimentos básicos de equilíbrio químico: neutralização ácido-base; escolha do agente precipitante de metais pesados e/ou de ânions presentes no resíduo, minimizando a solubilização dos mesmos por complexação; aplicação de reações de oxirredução para oxidar/reduzir espécies presentes no resíduo. O efluente final deve ser límpido e incolor, ter pH em torno de 7 à 25°C e apresentar caráter redox indiferente (MARINHO et al., 2011).

Outro viés, para os resíduos possíveis de serem tratados para recuperação, é o tratamento por neutralização e diluição para que estes possam são descartados no esgoto sanitário, sem prejuízo ao meio ambiente. A evaporação cuidadosa de pequenas quantidades de alguns solventes é outro método para o descarte no local (PINE, 1984).

### 3.5 TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DESCONHECIDOS

O maior problema enfrentado quando busca-se tratar um resíduo é a escolha correta do tratamento a ser adotado. Usualmente os resíduos são coletados e geralmente classificados em grandes grupos (inorgânicos, orgânicos, etc.). Deste modo vários tipos de resíduos são misturados numa mesma categoria e para o tratamento eficiente o ideal seria tratá-los por grupo de funções (ácidos, bases, etc.).

Faz-se necessária a caracterização destes resíduos desconhecidos, avaliando suas características primordiais para que se possa fazer o tratamento e/ou destinação correta.

Materiais não identificados possuem um agravante, pois para que exista o gerenciamento e futura reciclagem, recuperação ou reuso dos mesmos com segurança é preciso saber das suas respectivas características e possíveis perigos.

Carroll et al. (2011), em seu livro, descreve procedimentos de teste em laboratório para uma possível identificação dos resíduos desconhecidos, entre eles: descrição física do resíduo, reatividade em água, solubilidade em água, pH, inflamabilidade, presença de oxidantes, presença de sulfetos ou cianetos, presença de halogênios, presença de materiais radioativos, presença de materiais biologicamente perigosos, presença de constituintes tóxicos e presença de compostos de alto odor.

A descrição física consiste em avaliar o estado do resíduo (líquido ou sólido), a coloração, a consistência para sólidos ou viscosidade para líquidos. Pode-se avaliar também a transparência, translucidez ou opacidade dos líquidos.

A reatividade em água avalia se ocorre reação exotérmica (liberação de calor), formação de gases ou geração de chama. A respeito da solubilidade em água pode-se avaliar a densidade do material em relação à água.

O pH tem por finalidade indicar se a solução está ácida, básica ou neutra. O teste de inflamabilidade é utilizado para observar a reação da solução em contato com fogo.

Os demais testes são indicativos da presença/ausência das substâncias oxidantes, sulfuretos, cianetos, halogênios, materiais radioativos, materiais biológicos, tóxicos ou de compostos de alto odor.

Os tratamentos que podem ser realizados em um laboratório envolvem os processos de neutralização, redução e oxidação, precipitação, degradação química, processos oxidativos avançados, adsorção, troca iônica e tratamentos térmicos (DI VITTA et al., 2012).

### 3.6 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NA UTFPR-PG

Na UTFPR – PG houve a implementação do sistema de gerenciamento de resíduos no ano de 2008. O projeto de gerenciamento teve como objetivo cumprir a lei nº 12.305/10, que rege a Política de Gerenciamento de Resíduos Sólido no Brasil, e minimizar os possíveis danos que os resíduos químicos sem tratamento e devida destinação podem causar ao meio ambiente.

O programa de gerenciamento de resíduos foi aplicado nos Laboratórios de Química Orgânica, Química Geral, Química Analítica, Química Instrumental, Físico-Química e de Operações Unitárias, nos quais foram colocadas bombonas para descarte dos resíduos gerados após as aulas práticas.

Houve a implementação da segregação dos resíduos gerados, nas seguintes categorias:

- **Solventes orgânicos halogenados:** derivados de hidrocarbonetos que possuem átomos de elementos halogênicos (flúor, cloro, bromo, iodo).
- **Solventes orgânicos não halogenados:** Solventes orgânicos e soluções orgânicas que não contenham halogênios (cloro, flúor, bromo, iodo), álcoois; ácidos carboxílicos; aldeídos; éteres; ésteres, cetonas e aminas.
- **Compostos inorgânicos:** possuem carbono (C) como elemento químico principal e não possuem capacidade de formar cadeias curtas ou longas, característica esta que estão presentes em qualquer substância orgânica (ROQUE, 2011). São divididas em quatro tipos de funções: ácidos, bases, sais e óxidos. Possuem características a condutividade elétrica, solubilidade, temperaturas de fusão e ebulição, que estão relacionadas com os tipos de ligações que cada composto apresenta (ATKINS, 2001).

- **Compostos orgânicos:** são substâncias químicas que contém na sua estrutura carbono e hidrogênio, e muitas vezes com oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo.
- **Solução contendo metais pesados:** metais pesados são altamente tóxicos por isso devem receber destino adequado.
- **Outros compostos:** são todos os resíduos que não se enquadraram dentro das classificações anteriores.

Os resultados obtidos pela implementação do sistema de gestão ambiental nos laboratórios da UTFPR-PG apontaram para o maior volume gerado de resíduos inorgânicos nos laboratórios de Físico-Química e de Química Analítica (FORNAZZARI; STIIRMER, 2008).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

O material utilizado foi coletado da bomba de resíduos inorgânicos dos laboratórios de físico-química e de química analítica da UTFPR-PG.

### 4.2 MÉTODOS

Os métodos realizados estão dispostos no livro *Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (1990).

#### 4.2.1 Coleta do Material

O resíduo foi coletado da bomba de plástico de resíduos inorgânicos localizada nos laboratórios de química citados, onde estava armazenado e decantado, por meio de uma pipeta de 25 mL e transferidos para um béquer de 500 mL. Foram coletadas amostras de 300 mL em três pontos da bomba: topo, meio e fundo da bomba sem ocorrer agitação.

#### 4.2.2 Análises Físico-Químicas

As análises foram realizadas em triplicata com posterior tratamento estatístico dos dados obtidos (média e desvio padrão). Todas as análises foram realizadas em temperatura ambiente.

#### **Extrato Seco**

Para a análise de extrato seco o cadinho primeiramente foi colocado na estufa a 110°C por 30 minutos, para que não houvesse umidade presente, sendo posteriormente pesado. Após a pesagem foram pipetado 15 mL do resíduo e transferidos para o cadinho. Em seguida evaporou-se a amostra na chapa de aquecimento, em capela, e pesou-se o cadinho com a massa seca. A escolha da chapa de aquecimento ao invés da estufa se deu em razão da quantidade de resíduo

analisado (pequenas quantidades) e pelo tempo do procedimento ser rápido; considerou-se os erros associados de perdas por projeção.

Para o cálculo fez-se a diferença entre a massa do cadinho com a amostra seca e a massa do cadinho, então dividiu-se pela quantidade de amostra coletada e multiplicou-se por 100 para o resultado em porcentagem, pela equação (1):

$$\text{Extrato seco (\%)} = \frac{(\text{Massa cadinho com amostra seca} - \text{Massa do cadinho}) * 100}{\text{Massa de amostra coletada}} \quad (1)$$

## Acidez

O pHmetro funciona com um eletrodo que gera uma tensão quando é submerso na amostra; a intensidade da tensão é medida e convertida em uma escala de pH, que é gerada em uma numeração de 0 a 14. Para índices iguais a 7 é indicativo de neutralidade, para menores do que 7 entende-se que são substâncias ácidas e acima disso que representam substâncias alcalinas, em temperatura de 25°C.

A escala de pH é formulada a partir de cálculos matemáticos que expressam a concentração do íon na solução. Para determinar o valor do pH é utilizada a equação matemática  $\text{pH} = -\log [a\text{H}^+]$ , em que  $[a\text{H}^+]$  representa a atividade do íon hidrogênio na solução. A atividade é adimensional, pois o argumento da função logarítmica não pode ser mensurado em dimensões; é usual utilizar a aproximação  $a\text{H}^+ \approx [\text{H}^+] / [\text{B}]^\circ$ , onde  $[\text{B}]^\circ$  é a concentração molar padrão, ou seja, 1 mol/L.

Para que haja a correta leitura dos dados faz-se necessário realizar a calibração do equipamento. O procedimento inicia-se com a limpeza do eletrodo com água destilada e posterior imersão da solução tampão de pH 7, faz-se a limpeza com água destilada novamente e insere-se o eletrodo na solução tampão de pH 4. Após as leituras faz-se a limpeza do eletrodo e pode-se utilizar o pHmetro para as amostras.

O pH foi medido no pHmetro de bancada Hanna econômico pH 21 (Figura 1), colocando-se o béquer com as amostras coletadas de 300 mL diretamente em contato com o eletrodo do pHmetro após calibração.



**Figura 1 - pHmetro de bancada**

Fonte: Autoria própria (2019)

## Condutividade

A condutividade de uma solução é a expressão numérica da capacidade desta solução em conduzir corrente elétrica. A condutividade foi medida no condutivímetro de bancada Hanna HI 2300 (Figura 2), colocando-se o béquer com as amostras coletadas de 300 mL diretamente em contato com o eletrodo do condutivímetro. O resultado pode ser expresso em siemens por centímetros (S/cm), microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) ou milisiemens por centímetro (mS/cm).

**Figura 2 - Condutivímetro de bancada**

Fonte: Autoria própria (2019)

## Densidade Relativa

A densidade relativa foi calculada pelo método do picnômetro (Figura 3). Realizou-se a medição da massa com a água e posteriormente com a amostra de 25 mL. O valor da densidade foi calculado pela equação (2):

$$\text{Densidade relativa } 20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C} = \frac{m_{\text{am}} - m_{\text{p}}}{m_{\text{H}_2\text{O}} - m_{\text{p}}} \quad (2)$$

Em que:

$m_{\text{am}}$  é a massa do picnômetro com a amostra.

$m_{\text{p}}$  é a massa do picnômetro vazio.

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  é a massa do picnômetro com a água.

**Figura 3- Picnômetro**



**Fonte: Autoria própria (2019)**

## Turbidez

O turbidímetro é o equipamento que possibilita a leitura do grau de turvação de uma substância, ou seja, a limpidez da substância. Para fazer esta leitura o equipamento utiliza feixes de luz que são espalhados pelas partículas da substância em questão. Os resultados são medidos em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU).

O turbidímetro utilizado foi o digital – PoliControl AP2000 (Figura 4) e para correta leitura realizou-se a calibração com água destilada em um procedimento simples. Inseriu-se água destilada na cubeta e fez-se a calibração, em seguida inseriu-se a amostra de 25 mL na cubeta para a leitura da turbidez.

**Figura 4- Turbidímetro digital**



**Fonte: A autoria própria (2019)**

### 4.2.3 Análises Instrumentais

As técnicas de análise instrumental podem ser agrupadas em três áreas principais e específicas: Cromatografia, Eletroquímica e Espectroscopia, cada uma delas caracterizando-se por suas particularidades e pelas espécies químicas de interesse possíveis de detecção e/ou quantificação.

## **Espectrofotometria de absorção atômica (AAS) e Espectrometria de Emissão Atômica (AES)**

A espectrofotometria de absorção atômica (AAS) é uma técnica largamente difundida e empregada para a determinação de elementos traço em diversos tipos de amostras. A técnica utiliza o princípio de que átomos livres, no estado gasoso, gerados em um atomizador são capazes de absorver radiação de frequência específica que é emitida por uma fonte espectral.

A espectrometria de emissão atômica (AES) é uma técnica analítica que se baseia na emissão de radiação eletromagnética das regiões visível e ultravioleta do espectro eletromagnético por átomos neutros ou átomos ionizados excitados.

O equipamento utilizado foi o espectrofotômetro de absorção atômica com corretor de fundo lâmpada de arco de deutério – Shimadzu, modelo AA-6200 (Figura 5). Para calcular as concentrações de Ferro (Fe) e Magnésio (Mg) utilizou-se a técnica de absorção atômica (AAS) e para as concentrações de sódio (Na) e potássio (K) utilizou-se a técnica de emissão atômica (AES).

**Figura 5 – Espectrômetro de absorção atômica**



**Fonte: Autoria própria (2019)**

As análises realizadas foram testadas para os íons magnésio (Mg), Ferro (Fe), sódio (Na) e potássio (K) pela limitação do equipamento.

Para as análises de magnésio, sódio e potássio se fez necessário a diluição das soluções de 1:5, pela equação (3):

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (3)$$

Em que:

$C_1$  é a concentração padrão utilizada para seu respectivo íon, concentração inicial.

$V_1$  é o volume inicial.

$C_2$  é a concentração final.

$V_2$  é o volume final.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram coletados a partir de três pontos das bombas de resíduos, sendo nomeados como (1) para o topo da bomba, (2) para o meio da bomba e (3) para coletas no fundo da bomba.

Os resíduos coletados do laboratório de Físico-Química apresentaram coloração escura (Figura 6), enquanto os resíduos coletados do laboratório de Química Analítica apresentaram coloração amarelada (Figura 7) possivelmente devido às aulas práticas de titrimetria de neutralização que abrangem cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) e dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ).

**Figura 6 - Resíduo inorgânico coletado do laboratório de Físico-química.**



Fonte: Autoria própria (2019)

**Figura 7- Resíduo inorgânico coletado do laboratório de Química Analítica.**



Fonte: Autoria própria (2019)

Alguns resultados obtidos não puderam ser mapeados, pois os laboratórios são utilizados por projetos de extensão, demais TCCs e outras pesquisas, para os quais não há registro dos resíduos que são gerados e descartados.

As aulas práticas mapeadas que ocorrem nos laboratórios de Físico-Química e Química Analítica encontram-se no anexo 1.

Os resultados obtidos de todas as análises, de modo comparativo, encontram-se no anexo 2.

### Extrato Seco

A análise de extrato seco identificou as amostras do laboratório de Físico-química (Tabela 1) com maior índice, em porcentagem, de resíduo seco após evaporação em comparação com os resultados do laboratório de Química Analítica (Tabela 2).

O resultado obtido está relacionado com as práticas realizadas neste laboratório, principalmente nas práticas que resultam em resíduos sólidos, exemplo: Efeito da presença de catalisadores homogêneos e heterogêneos e da área superficial sobre a velocidade das reações (gerando  $\text{Cu}_{(s)}$ ). Também pode ser resultado de práticas que geram sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), exemplo: Influência da concentração na velocidade das reações; e de práticas que resultam em suspensões, como a prática de Classificação das Dispersões Químicas pelo Efeito Tyndall.

**Tabela 1 – Resultados de extrato seco das amostras do laboratório de Físico-Química**

Amostra	Extrato Seco (%) $\pm$ DP
1	1,95 $\pm$ 0,23
2	2,02 $\pm$ 0,03
3	2,08 $\pm$ 0,03

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 2 – Resultados de extrato seco das amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostra	Extrato Seco (%) $\pm$ DP
1	0,45 $\pm$ 0,34
2	0,72 $\pm$ 0,24
3	0,87 $\pm$ 0,01

**Fonte: Autoria própria (2019)**

### Acidez

Os dados obtidos de acidez (Tabelas 3 e 4) configuram os resíduos coletados como ácidos, sendo o resíduo do laboratório de Físico-Química o mais ácido entre eles, fato que pode ser explicado pela maior demanda do uso de reagentes ácidos em aulas práticas de titrimetria – acidimetria; oxidação de compostos em meios ácidos, procedimentos eletroquímicos e uso de soluções concentradas.

Apesar de serem realizadas diversas práticas de titrimetria nas aulas de Química Analítica a grande maioria é de neutralização.

**Tabela 3 - Resultados de pH das amostras do laboratório de Físico-Química**

Amostra	pH $\pm$ DP
1	0,89 $\pm$ 0,050
2	0,88 $\pm$ 0,015
3	0,87 $\pm$ 0,062

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 4 – Resultados de pH das amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostra	pH $\pm$ DP
1	2,56 $\pm$ 0,074
2	2,64 $\pm$ 0,040
3	2,84 $\pm$ 0,159

**Fonte: Autoria própria (2019)**



## Condutividade

Em relação à condutividade, a amostra do laboratório de Físico-Química (Tabela 5) apresentou resultados melhores para conduzir corrente elétrica comparando com as amostras do laboratório de Química Analítica (Tabela 6).

Dentre as amostras coletadas, a do fundo das bombas (3) apresentou os maiores valores de condutividade, em ambos laboratórios, o que pode ser explicado pela concentração dos íons devido à decantação.

**Tabela 5 - Resultados da condutividade das amostras do laboratório de Físico-Química**

Amostra	Condutividade (mS/cm) $\pm$ DP
1	70,33 $\pm$ 0,17
2	70,57 $\pm$ 0,31
3	70,67 $\pm$ 0,15

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 6 - Resultados da condutividade das amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostra	Condutividade (mS/cm) $\pm$ DP
1	21,68 $\pm$ 0,11
2	23,27 $\pm$ 0,12
3	23,86 $\pm$ 0,06

**Fonte: Autoria própria (2019)**

## Densidade Relativa

A análise de densidade relativa (Tabelas 7 e 8) resultou em densidades próximas entre os resíduos coletados e próximas à densidade padrão adotada, da água ( $\rho_{\text{água}} \cong 1,00 \text{ g/cm}^3$  para temperatura ambiente).

Tal resultado corrobora para a conclusão de que os resíduos gerados após diversas aulas práticas são, em maior proporção, água.

**Tabela 7 – Resultados de densidade relativa das amostras do laboratório de Físico-Química**

Amostra	Densidade Relativa (20°C/20°C) ± DP
1	1,014 ± 0,004
2	1,014 ± 0,006
3	1,015 ± 0,002

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 8 – Resultados de densidade relativa das amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostra	Densidade Relativa (20°C/20°C) ± DP
1	1,006 ± 0,004
2	1,007 ± 0,005
3	1,009 ± 0,002

**Fonte: Autoria própria (2019)**

## **Turbidez**

Os resultados de turbidez (Tabelas 9 e 10) para as amostras analisadas mostram que os resíduos gerados no laboratório de Química Analítica apresentam maior quantidade de resíduos sólidos verificados, inclusive, visualmente.

A grande variedade de íons presentes no resíduo inorgânico descartado, após as aulas práticas, no laboratório de química analítica, contribui para a formação de sais pouco solúveis, pois, em geral, os contraíons são sódio ou potássio. Outros compostos como o cobre, prata, ferro, bário, cromo, cálcio, níquel, chumbo e bismuto formam sais insolúveis com facilidade na presença de ânions comuns como sulfato, carbonato ou cloreto.

Deve-se observar o fato que muitos destes metais são pesados e deveriam ser descartados na bombona de metais pesados, porém é provável que por descuido ou desinteresse ao descartar os resíduos possa ter ocorrido o descarte na bombona de inorgânicos, sendo geralmente a mais utilizada.

**Tabela 9 – Resultados de turbidez das amostras do laboratório de Físico-Química**

Amostra	Turbidez (NTU) $\pm$ DP
1	113,33 $\pm$ 8,08
2	122,67 $\pm$ 8,14
3	230,67 $\pm$ 5,51

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 10 – Resultados de turbidez das amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostra	Turbidez (NTU) $\pm$ DP
1	152,67 $\pm$ 5,77
2	223,33 $\pm$ 0,58
3	504,00 $\pm$ 3,61

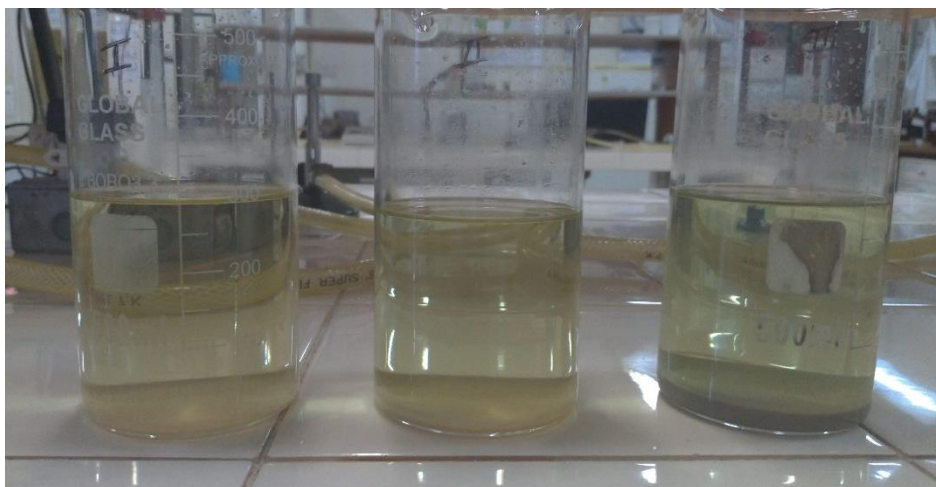
**Fonte: Autoria própria (2019)**

Outro aspecto a ser analisado é observando que após certo tempo de decantação houve separação nítida do resíduo sólido no fundo do béquer resultando em líquidos de coloração límpida na parte superior (Figuras 8 e 9), fato que pode ser comprovado pela análise de turbidez nos pontos de fundo das bombonas (3) de cada laboratório.

**Figura 8 – Resíduo inorgânico decantado do laboratório de Físico-Química**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Figura 9 – Resíduo inorgânico decantado do laboratório de Química Analítica**



**Fonte: Autoria própria (2019)**

Foram realizadas análises de turbidez nas amostras após decantação. Os valores obtidos encontram-se nas Tabelas 11 e 12.

**Tabela 11 - Resultados de turbidez das amostras decantadas do laboratório de Físico-Química**

Amostra	Turbidez (NTU) $\pm$ DP
1	0,10 $\pm$ 0,00
2	0,10 $\pm$ 0,00
3	0,10 $\pm$ 0,00

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 12 – Resultados de turbidez das amostras decantadas do laboratório de Química Analítica**

Amostra	Turbidez (NTU) $\pm$ DP
1	1,77 $\pm$ 1,31
2	1,02 $\pm$ 0,38
3	1,72 $\pm$ 0,54

**Fonte: Autoria própria (2019)**

As análises de turbidez nas amostras decantadas, para o laboratório de Química Analítica apresentaram leituras inferiores às leituras do resíduo homogeneizado.

As leituras de turbidez do resíduo gerado no laboratório de Físico-Química, não apresentaram valores significantes.

### **Espectrofotometria de absorção atômica (AAS) e Espectrometria de Emissão Atômica (AES)**

- Íons Magnésio (Mg)

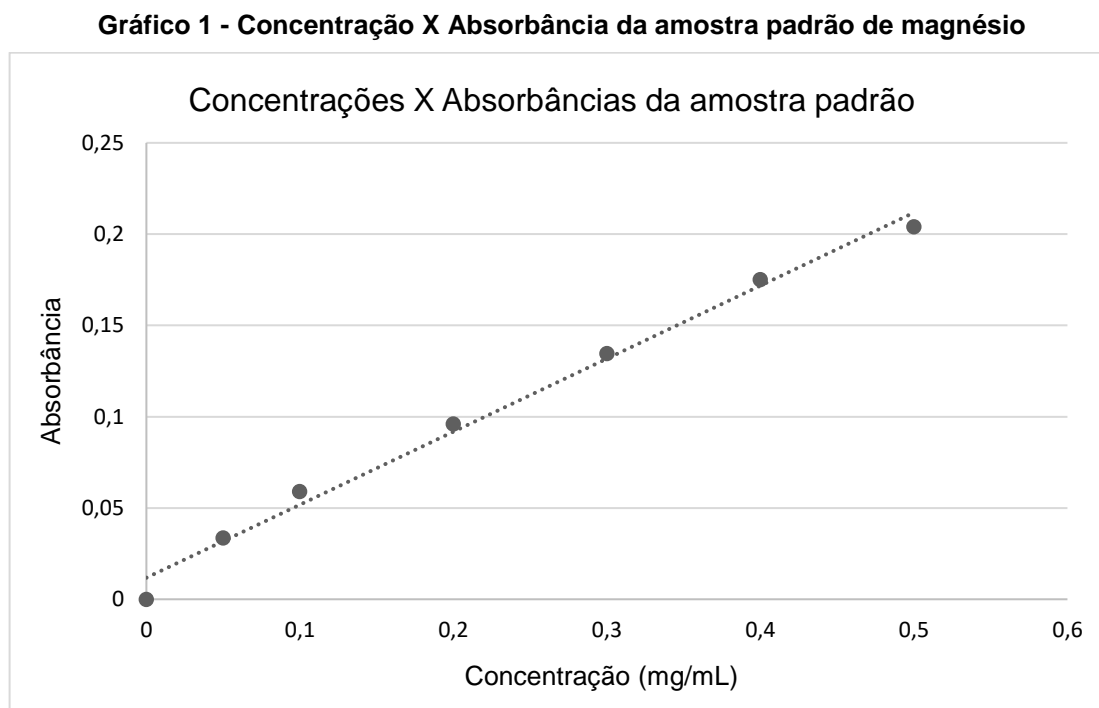
Para o cálculo da concentração de magnésio presente nas amostras testadas realizou-se a leitura nas concentrações ( $C_2$ ) de 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 mg/mL; concentração padrão do Magnésio ( $C_1$ ) de 10 mg/L e volume final ( $V_2$ ) de 50 mL. Da equação (3) os volumes encontrados para cada concentração padrão se apresentam na Tabela 13 a seguir, assim como os dados da absorbância.

**Tabela 13 - Volume (mL) e absorbância para cada concentração padrão de magnésio**

Concentração padrão $C_2$ (mg/mL)	Absorbância padrão
Branco da amostra	0
0,05	0,034
0,1	0,059
0,2	0,096
0,3	0,135
0,4	0,175
0,5	0,204

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com os dados das concentrações e absorvâncias plotou-se o gráfico abaixo.



**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com a equação gerada pode-se calcular as concentrações de magnésio presentes nas amostras, a partir das leituras de absorvância das amostras. Substituiu-se as absorvâncias lidas na equação (4), apresentadas nas Tabelas 14 e 15.

$$y = 0,3999 x + 0,0118 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,9914$$

**Tabela 14 - Concentrações de magnésio nas amostras do Laboratório de Físico-Química**

Amostras	Absorbância amostra	Concentração de Mg (mg/mL)
1	0,2231	0,5285
2	0,2347	0,5573
3	0,2558	0,6102

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Os resultados de concentração obtidos para os íons magnésio no laboratório de Físico-Química foram baixos e podem ser relacionados com as aulas práticas do estudo do comportamento dos metais alcalinos-terrosos e pela obtenção de hidrogênio (reage-se magnésio com ácido clorídrico).

**Tabela 15 - Concentrações de magnésio nas amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostras	Absorbância amostra	Concentração de Mg (mg/mL)
1	0,4124	1,00171
2	0,4142	1,00622
3	0,4310	1,04834

**Fonte: A autoria própria (2019)**

No laboratório de Química Analítica as concentrações de magnésio encontradas foram maiores. Na disciplina de Química Analítica faz-se a prática para determinação de hidróxido de magnésio em amostra comercial de leite de magnésia.

- Íons Sódio (Na)

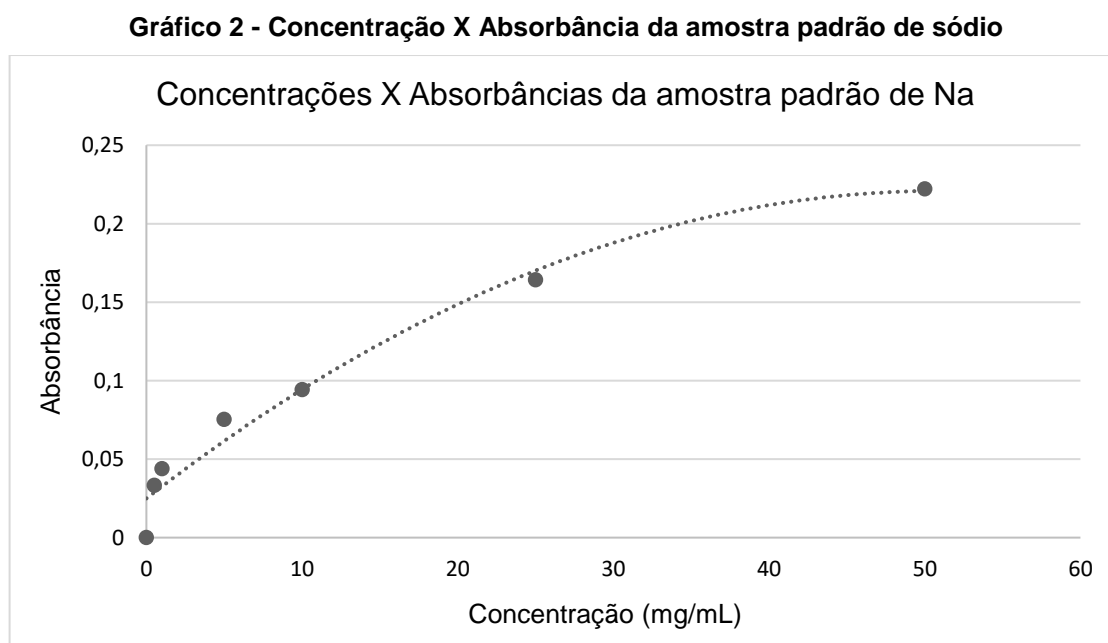
Para o cálculo da concentração de sódio presente nas amostras testadas realizou-se a leitura nas concentrações ( $C_2$ ) de 0,5; 1; 5; 10; 25 e 50 mg/mL; concentração padrão do sódio ( $C_1$ ) de 1000 mg/L e volume final ( $V_2$ ) de 50 ml. Da equação (3) os volumes encontrados para cada concentração se apresentam na Tabela 16 a seguir, assim como os dados da absorbância.

**Tabela 16 - Volume (mL) e absorbância para cada concentração padrão de sódio**

Concentração padrão $C_2$ (mg/mL)	Absorbância padrão
Branco da amostra	0
0,5	0,0334
1	0,0439
5	0,0752
10	0,0942
25	0,1641
50	0,2221

**Fonte: A autoria própria (2019)**

Com os dados das concentrações e absorvâncias plotou-se o gráfico abaixo.



**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com a equação gerada pode-se calcular as concentrações de sódio presentes nas amostras, a partir das leituras de absorvância das mesmas. Substituiu-se as absorvâncias lidas na equação (5), apresentadas nas Tabelas 17 e 18.

$$y = - 0,00008 x^2 + 0,00769 x + 0,02495 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,9929$$

**Tabela 17 - Concentrações de sódio nas amostras do Laboratório de Físico-Química**

Amostras	Absorbância amostra	Concentração de Na (mg/mL)
1	0,0948	85,9687
2	0,1107	79,0125
3	0,1222	81,1437

**Fonte: Autoria própria (2019)**



**Tabela 18 - Concentrações de sódio nas amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostras	Absorbância amostra	Concentração de Na (mg/mL)
1	0,2312	37,4423
2	0,2411	39,3526
3	0,2453	40,1538

**Fonte: Aatoria própria (2019)**

Os resultados obtidos para o íon sódio foram os mais expressivos dentre as análises de espectrofotometria de absorção atômica. É notável que este íon foi detectado em maior concentração devido ao uso em grande escala em diversas aulas práticas, em ambos laboratórios, como nas aulas práticas de titrimetria – alcalimetria (grande utilização de NaOH), e uso de demais compostos com sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ; NaClO; NaCl;  $\text{NaNO}_3$ ), além de práticas que estudam o comportamento dos metais alcalinos.

- Íons Potássio (K)

Para o cálculo da concentração de potássio presente nas amostras testadas realizou-se a leitura nas concentrações ( $C_2$ ) de 0,5; 1; 5; 10; 25 e 50 mg/mL; concentração padrão do potássio ( $C_1$ ) de 1000 mg/L e volume final ( $V_2$ ) de 50 ml. Da equação (3) os volumes encontrados para cada concentração padrão se apresentam na Tabela 19 a seguir, assim como os dados da absorbância.

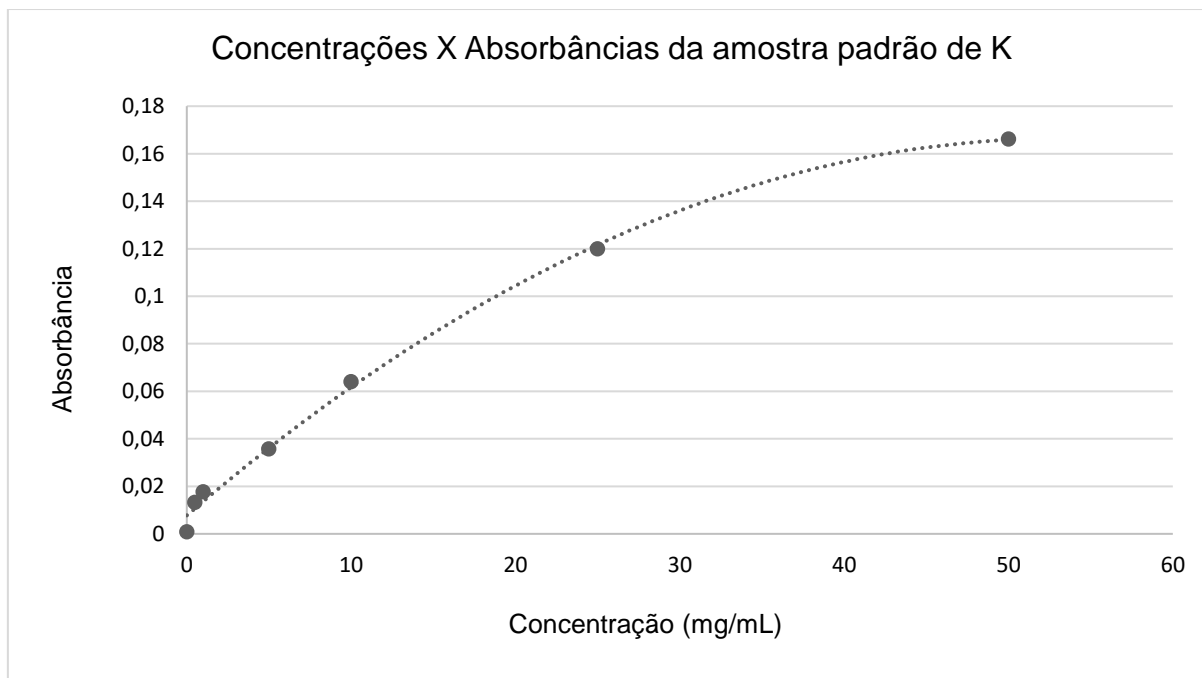
**Tabela 19 - Volume (mL) e absorbância para cada concentração padrão de potássio**

Concentração padrão $C_2$ (mg/mL)	Absorbância padrão
Branco da amostra	0,0008
0,5	0,0334
1	0,0439
5	0,0752
10	0,0942
25	0,1641
50	0,2221

**Fonte: Aatoria própria (2019)**

Com os dados das concentrações e absorvâncias plotou-se o gráfico abaixo.

**Gráfico 3 - Concentração X Absorbância da amostra padrão de potássio**



**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com a equação gerada pode-se calcular as concentrações de potássio presentes nas amostras, a partir das leituras de absorvância das mesmas. Substituiu-se as absorvâncias lidas na equação (6), apresentadas nas tabelas 20 e 21.

$$y = - 0,00006 x^2 + 0,00595 x + 0,00776 \quad (6)$$

$$R^2 = 0,9965$$

**Tabela 20 - Concentrações de potássio nas amostras do Laboratório de Físico-Química**

Amostras	Absorbância amostras	Concentração de K (mg/mL)
1	0,06983	87,3250
2	0,09020	82,5167
3	0,10470	78,6083

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 21 - Concentrações de potássio nas amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostras	Absorbância amostras	Concentração de K (mg/mL)
1	0,05893	89,6500
2	0,07383	86,4250
3	0,07430	86,3167

**Fonte: Autoria própria (2019)**

As concentrações de potássio encontradas nos resíduos inorgânicos gerados em ambos laboratórios foram expressivas e podem ser explicadas pelo uso em grande escala de compostos que possuem potássio em sua estrutura, como nas aulas práticas de oxidação de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  pelo  $\text{KMnO}_4$  em meio ácido; estudo das propriedades dos metais alcalinos, síntese de água (utilização de KI e KOH) e nas titrimetrias (alcalimetria e de oxi-redução).

- Íons Ferro (Fe)

Para o cálculo da concentração de ferro presente nas amostras não foi necessário preparar as soluções para leitura no espectrômetro, pois as soluções padrões já estavam prontas.

Realizou-se a leitura nas concentrações padrões de 0,5; 1; 2; 3; 4 e 5 mg/mL. Os valores de absorbância padrão se encontram na Tabela 22.

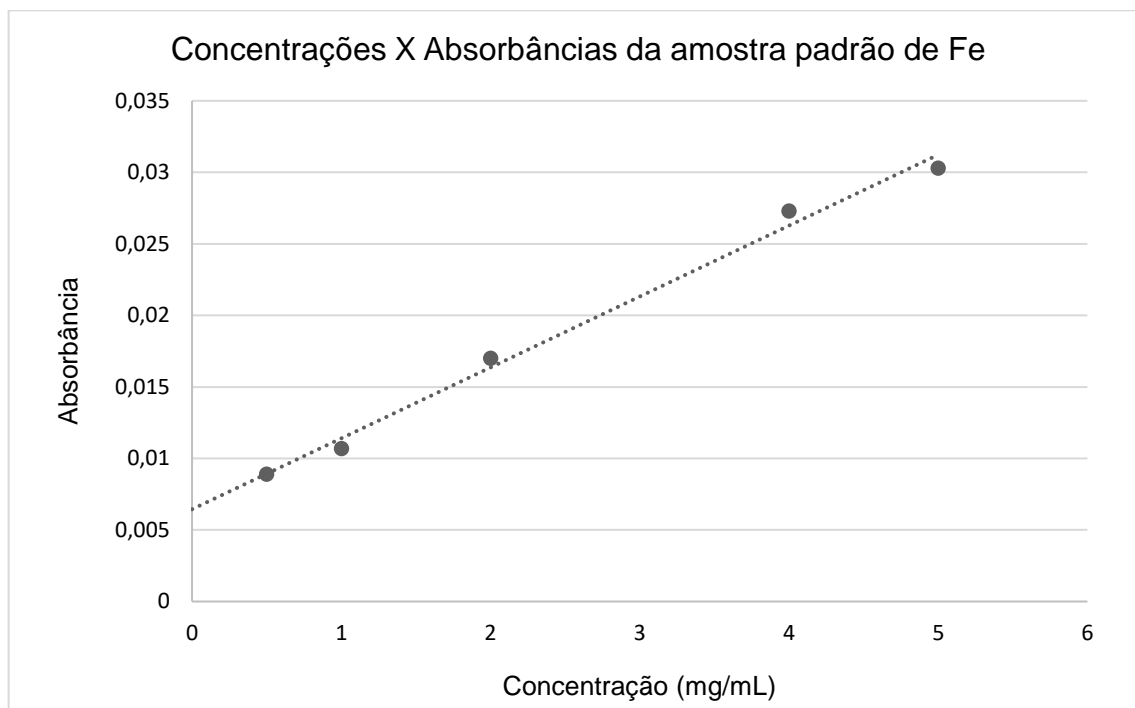
**Tabela 22 - Absorbância para cada concentração padrão de ferro**

Concentração padrão (mg/mL)	Absorbância padrão
Branco da amostra	0
0,5	0,0089
1	0,0107
2	0,0170
3	0,0250
4	0,0273
5	0,0303

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com os dados das concentrações e absorvâncias plotou-se o gráfico abaixo.

**Gráfico 4 - Concentração X Absorbância da amostra padrão de ferro**



**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com a equação gerada pode-se calcular as concentrações de ferro presentes nas amostras, a partir das leituras de absorvância das mesmas. Substituiu-se as absorvâncias lidas na equação (7), apresentadas nas tabelas 23 e 24.

$$y = 0,005 x + 0,0064 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,9924$$

**Tabela 23 - Concentrações de ferro nas amostras do Laboratório de Físico-Química**

Amostras	Absorbância amostras	Concentração de Fe (mg/mL)
1	0,00757	0,2333
2	0,00720	0,1600
3	0,00667	0,0533

**Fonte: Autoria própria (2019)**

**Tabela 24 - Concentrações de ferro nas amostras do laboratório de Química Analítica**

Amostras	Absorbância amostras	Concentração de Fe (mg/mL)
1	0,03123	4,9667
2	0,03367	5,4533
3	0,04100	6,9200

**Fonte: Aatoria própria (2019)**

Os resultados obtidos para as concentrações de Ferro (Fe) no laboratório de Físico-Química foram menores em comparação com o laboratório de Química Analítica. As aulas práticas realizadas em ambos laboratórios abrangem compostos com Ferro, são exemplos: determinação da ordem de uma reação – método da velocidade inicial no laboratório de físico-química e as práticas de dicromatometria e titrimetria de precipitação (métodos argentimétricos) no laboratório de química analítica.

### **Estudo para desenvolvimento de um equipamento de evaporação**

Como proposta para um futuro trabalho a respeito dos resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios da UTFPR-PG fez-se o estudo para desenvolvimento de um equipamento que possa auxiliar na evaporação dos mesmos.

Tal iniciativa deu-se ao fato das análises resultarem na percepção de que a maior parte dos resíduos inorgânicos gerados serem compostos por água. Com a inserção de um procedimento de evaporação seriam facilitados o armazenamento e a destinação final do resíduo após tal processo.

A evaporação refere-se à mudança da água do seu estado líquido para o estado vapor a uma temperatura inferior à de ebulição. Pode-se considerar o conceito de evaporação potencial, a qual consiste na taxa de evaporação de uma dada superfície, controlada climaticamente, quando a quantidade disponível e a taxa de alimentação de água à superfície são ilimitadas.

O processo físico da evaporação é função principalmente da temperatura e umidade, da pressão atmosférica, velocidade média do vento na região, sólidos solúveis, umidade e natureza do solo.

A mudança do estado líquido para o estado gasoso corresponde a um aumento da energia cinética das partículas, com temperatura constante, pelo

consumo de uma quantidade de energia que, por unidade de massa da substância, é o calor de vaporização.

Ao mesmo tempo do escape das partículas de água para a atmosfera ocorre o fenômeno inverso: as partículas de água na fase gasosa, que existem na atmosfera, chocam à superfície de separação e são captadas pelo corpo evaporante. A evaporação ocorre até atingir o estado de equilíbrio, que corresponde à saturação do ar em vapor d'água. Assim pode-se considerar o número de partículas de água que escapam do corpo evaporante igual ao número de partículas de água na fase gasosa que são capturadas pelo corpo, no mesmo intervalo de tempo.

Os métodos normalmente utilizados, no estudo da Hidrologia, para determinar a evaporação são:

1. Evaporímetros;
2. Transferência de massa;

## **1. EVAPORÍMETROS**

Os evaporímetros são equipamentos que medem de forma direta o poder evaporativo da atmosfera e que podem ser apresentados de 2 modos: tanques de evaporação e atmômetros (CARVALHO e SILVA, 2006).

### **1.1 TANQUES DE EVAPORAÇÃO**

Possuem a superfície de água livremente exposta a atmosfera, são de fácil manuseio e implementação, além de possuírem menor custo. Entre as categorias de tanques existentes, o mais popularmente utilizado é o tanque classe A.

É utilizado em grande escala pois consegue medir a evaporação de uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados de radiação solar, vento, temperatura e umidade do ar.

Possuem 121 cm de diâmetro e 25,5 cm de profundidade, são confeccionados de aço ou ferro galvanizado, além de serem instalados sobre estrados de madeira à 15 cm da superfície do solo (para evitar o fluxo de calor para o solo), e cheios com água até 5 cm da borda superior (Figura 10). O nível da borda não deve abaixar mais que 7,5 cm da borda superior. A evaporação geralmente é medida com uma régua,

assim a evaporação se dá pela espessura da lâmina d'água do tanque que foi evaporada em um determinado intervalo e tempo.

**Figura 10 - Tanque classe A**



**Fonte: Apostila de Hidrologia (2006)**

Deve-se realizar a leitura do nível d'água do tanque uma única vez ao dia, geralmente pela manhã. Também se faz a leitura do anemômetro totalizador e do termômetro flutuante - de máxima e mínima, para saber a velocidade do vento percorrido durante o período estudado (CARVALHO e SILVA, 2006).

A determinação do coeficiente  $K_p$  pode ser feita através dos balanços hidrológico e energético. Embora estes métodos sejam de difícil aplicação, possibilitam a determinação de valores regionais do coeficiente de tina (RODRIGUES et al., 2011). Considerando todos os aspectos locais onde o tanque foi inserido pode-se calcular a evaporação de referência ( $ET_o$ ) pela equação:

$$ET_o = K_p \cdot EV \quad (8)$$

Em que:

EV como evaporação no tanque, em  $\text{mm.d}^{-1}$

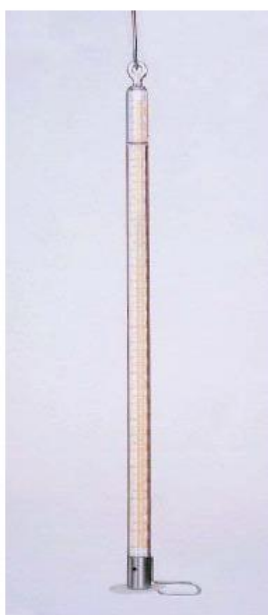
$K_p$  é coeficiente do tanque tabelado (anexo 3).

## 1.2 ATMÔMETROS

São instrumentos no qual a evaporação d'água ocorre através de uma superfície porosa, possui instalação e operação simples, porém podem apresentar erros pela impregnação de sal ou poeira em seus poros. Outra desvantagem dos atmômetros é que eles são mais sensíveis ao vento do que à radiação solar.

O mais comum dos atmômetros é o de Piché (Figura 11), que consiste em um tubo de 22,5 cm de comprimento com 1,1 cm de diâmetro interno, graduado em décimo de milímetro, fechado em uma das extremidades. Na extremidade aberta do tubo, prende-se um disco de papel de 3,2 cm de diâmetro, por meio de um anel. Ele é cheio d'água destilada e pendurado na vertical, com a extremidade fechada para cima. A evaporação se dá através do disco de papel, e quantidade d'água evaporada é determinada pela variação do nível d'água no tubo.

**Figura 11 - Atmômetro de Piché**



**Fonte: Apostila de Hidrologia (2006)**



## 2. TRANSFERÊNCIA DE MASSA

Os primeiros estudos sobre evaporação iniciaram-se por Dalton, que em 1801 formulou a Lei das Pressões parciais. Muitas equações foram propostas ao longo do tempo para a estimativa da evaporação, todas elas baseadas na equação de Dalton, com o estudo da função C para cada localidade. Utilizando-a no contexto de evaporação, temos:

$$E = C \times (e_s - e_a) \quad (9)$$

Em que:

C é um coeficiente empírico, relativo a elementos meteorológicos de uma localidade;

$e_s$  é a pressão de saturação à temperatura da superfície;

$e_a$  é a pressão de vapor do ar.

O efeito do vento é considerado no cálculo pelo parâmetro C, na seguinte equação (10):

$$C = \frac{N \cdot f(w) \cdot (e_s - e_a)}{f(r)} \quad (10)$$

Em que:

N = parâmetro relativo à densidade e a pressão do ar;

$f(w)$  = função velocidade do vento;

$f(r)$  = parâmetro de rugosidade.

Para o efeito da lei de Dalton, quanto menor umidade do ar, para uma dada temperatura, menor  $e_a$  e, conseqüentemente, maior a evaporação.

## 6 CONCLUSÃO

Com os resultados das análises propostas para os resíduos inorgânicos pôde-se observar que no laboratório de Físico-Química os valores de extrato seco, pH e condutividade foram mais expressivos. Em relação à análise de densidade relativa os resultados de ambos laboratórios foram próximos ao da densidade da água ( $\rho_{\text{água}} \cong 1,00 \text{ g/ cm}^3$  para temperatura ambiente (25°C)). A análise de turbidez resultou em sólidos em suspensão com maior relevância para o laboratório de Química Analítica, visto que, após decantação o mesmo ainda teve registro de turbidez quando comparado com os resultados das demais amostras.

O sódio foi o íon que obteve valores mais significativos entre os íons analisados (Mg, Fe, Na e K) devido ao grande número de aulas práticas realizadas por titrimetria – alcalimetria.

Com as análises para caracterização conclui-se que é possível a redução do volume dos resíduos inorgânicos dos laboratórios estudados, sendo estes constituídos em grande parte por água. Assim, o evaporímetro (tipo tanque classe A) torna-se uma excelente opção, pois é um equipamento simples e que possibilita a separação da água, resultando em um resíduo sólido para tornar o processo de armazenamento dos resíduos gerados mais compacto.

Tal método para amenizar o resíduo gerado, em volume, também impactará em possíveis despesas para destinação do resíduo gerado, uma vez que a empresa que realiza a coleta desses rejeitos atualmente não cobra por seus serviços. No momento que venha a ser cobrado, essa diminuição de volume fará com que esses gastos sejam inferiores em relação à forma atual de estocagem.

## **ANEXO 1 - Aulas práticas dos laboratórios de Físico-Química e Química Analítica.**

### **AULAS PRÁTICAS DE QUÍMICA INORGÂNICA**

1. Estudo de algumas propriedades dos metais alcalinos;
2. Estudo de algumas propriedades dos metais alcalinos terrosos;
3. Obtenção do Hidrogênio;
4. Estudo de algumas propriedades do alumínio;
5. Estudo de algumas propriedades do Carbono e seus compostos;
6. Comparação entre algumas substâncias de Carbono e Silício;
7. Halogênios;
8. Ácido sulfúrico e suas propriedades;
9. Comportamento do Ácido bórico;
10. Fabricação de detergente.

### **AULAS PRÁTICAS DE FÍSICO-QUÍMICA**

1. Propriedades Coligativas: Determinação da massa do enxofre pela criometria;
2. Propriedades Coligativas: Determinação do grau de dissociação iônica pela ebuliometria;
3. Influência da concentração na velocidade das reações;
4. Influência da temperatura na velocidade das reações;
5. Determinação da ordem de uma reação: Método da velocidade inicial;
6. Cinética de Saponificação do Acetato de Etila;
7. Cinética Química: Estudo da velocidade da reação entre ácido oxálico e permanganato de potássio em meio ácido;
8. Efeito da presença de catalisadores homogêneos e heterogêneos e da área superficial sobre a velocidade das reações;
9. Adsorção de um Corante no Carvão Ativo;
10. Isoterma de Adsorção;
11. Síntese do Álcool em Gel;
12. Classificação das Dispersões Químicas pelo Efeito Tyndall;
13. Eletroquímica – Pilha de Daniell;

14. Eletroquímica \_ Pilha de concentração
15. Oxidação do  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  pelo  $\text{KMnO}_4$  em meio ácido;
16. Cinética de queima de uma vela;
17. Determinação das Constantes de Faraday e de Avogadro;
18. Propriedades parciais molares;
19. Síntese da água;
20. Determinação de funções termodinâmicas usando a solubilidade de um sal;

## **AULAS PRÁTICAS DE QUÍMICA ANALÍTICA**

1. Determinação de água em sólidos;
  - 1.1. Determinação de umidade;
2. Determinação de resíduo mineral fixo;
  - 2.1. Determinação de cinzas;
3. Determinação de cromo;
4. Titrimetria de neutralização – alcalimetria;
  - 4.1. Determinação do teor de hidróxido de sódio em uma amostra de desincrustante comercial;
5. Titrimetria de neutralização – acidimetria;
  - 5.1. Determinação da acidez total em amostra de vinhos;
  - 5.2. Determinação de hidróxido de magnésio em amostra comercial de leite de magnésia;
  - 5.3. Capacidade de neutralização de ácidos por um comprimido de antiácido;
6. Titrimetria de neutralização – acidimetria;
  - 6.1. Determinar a pureza de ácido fosfórico comercial em função da escolha do indicador e do  $\text{H}^+$  titulado.
7. Titrimetria de neutralização;
  - 7.1. Titulação ácido-base empregando um eletrodo de pH;
8. Titrimetria de neutralização – acidimetria;
  - 8.1. Análise de ácido fosfórico em refrigerante sabor cola.
9. Titrimetria de neutralização – acidimetria;
  - 9.1. Análise de uma curva de titulação ácido-base: gráfico de Gran;
10. Titrimetria de precipitação – métodos argentimétricos;

- 10.1. Determinar o grau de pureza do cloreto de sódio comercial;
- 10.2. Determinar a porcentagem de cloreto de sódio em uma amostra de soro fisiológica;
- 10.3. Aplicações do Método de Fajans – Indicador de absorção;
- 10.4. Aplicações do Método de Volhard (determinação indireta);
- 11. Titrimetria de óxi-redução**
- 11.1. Permanganometria;
- 11.2. Dicromatometria;

**ANEXO 2 – Resultados comparativos entre os laboratórios.**

<b>Análises Físico-Químicas</b>	<b>Amostras</b>	<b>Laboratório de FQ</b>	<b>Laboratório de QA</b>
Extrato Seco (%)	1	1,95	0,45
	2	2,02	0,72
	3	2,08	0,87
Acidez	1	0,88	2,56
	2	0,89	2,64
	3	0,87	2,84
Condutividade (mS/cm)	1	70,33	21,68
	2	70,57	23,27
	3	70,67	23,86
Densidade relativa (20°C/20°C)	1	1,014	1,006
	2	1,014	1,007
	3	1,015	1,009
Turbidez (NTU) - resíduo homogêneo	1	113,33	152,67
	2	122,67	223,33
	3	230,67	504
Turbidez (NTU) - resíduo decantado	1	0,10	1,77
	2	0,10	1,02
	3	0,10	1,72

<b>Análise Instrumental</b>	<b>Amostras</b>	<b>Laboratório de FQ</b>	<b>Laboratório de QA</b>
Concentração de Magnésio (mg/mL)	1	0,5285	1,00171
	2	0,5573	1,00622
	3	0,6102	1,04834
Concentração de Sódio (mg/mL)	1	85,9687	37,4423
	2	79,0125	39,3526
	3	81,1437	40,1538
Concentração de Potássio (mg/mL)	1	87,3250	89,6500
	2	82,5167	86,4250
	3	78,6083	86,3167
Concentração de Ferro (mg/mL)	1	0,2333	4,9667
	2	0,1600	5,4533
	3	0,0533	6,9200

### ANEXO 3 - Valores de coeficiente do tanque “Classe A” (Kp)

Velocidade do Vento (km . d <sup>-1</sup> )	Posição do Tanque R (m)	Exposição A Tanque circundado por grama			Exposição A Tanque circundado por solo nu		
		UR média (%)			UR média (%)		
		Baixa < 40%	Média 40 - 70 %	Alta > 70%	Baixa < 40%	Média 40 - 70 %	Alta > 70%
Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	100	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 175- 425	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	100	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 425- 700	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	100	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	100	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

#### Observação:

Para áreas extensas de solo nu, reduzir os valores de Kp em 20% em condições de alta temperatura e vento forte, e de 5 a 10% em condições de temperatura, vento e umidade moderados. R (m) representa a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

**Fonte: Apostila de Hidrologia (2006) - UFRRJ**

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ISO 14001**: Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

AMARAL, S. T. et al. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do instituto de química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**. Porto Alegre, v. 24, n. 3, p. 419-423. out. 2000.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford University Press, New York, p.30. By permission of Oxford University Press.

ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J.B., Design through the Twelve Principles of Green Engineering. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 5, p. 94A-101A, 2003.

ASHBROOK, P. C.; REINHARDT, P.A. Hazardous wastes in academia. **Environmental Science & Technology**, v. 19, n. 2, p. 1150-1155, 1985.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: A.O.A.C., 1996.

ATKINS, P. W.; JONES, L. L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre, Bookman, 2001.

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988**. 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 28 abr. 2018.

BRASIL. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Apostila de Hidrologia**. Rio de Janeiro. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.



CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005**. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CARROLL, J. W. et al. **Prudent practices in the laboratory: handling and management of chemical hazards**. Washington, D.C: National Academy Of Sciences, 2011. 361 p.

DI VITTA, P.B. **Gerenciamento de resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa: procedimentos gerais**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/met/images/arquivos/17MET/minicursos/minicurso%20patricia%20texto.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2018.

EILKS, I.; RAUCH, F. **Sustainable development and green chemistry in chemistry education**. Chemistry Education Research and Practice. Bremen, v. 13, n. 1, p. 57-58, 2012.

FORNAZZARI, I.M.; STIIRMER, J.C. Implantação do programa de gerenciamento de resíduos químicos nos laboratórios de química da UTFPR-PG. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 02, n. 02, p. 82-86, 2008.

FOSTER, B.L. The chemical inventory management system in academia. **Journal of Chemical Health and Safety**, Columbus, v. 12, n. 05, p. 21-25, 2005.

GERBASE, A. E.; COELHO, F. S.; MACHADO, P. F. L.; FERREIRA, V. F. Management of Chemical Waste in Institutions of Education and Research. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 3, 2005.

GIL, E. S. et al. Aspectos técnicos e legais do gerenciamento de resíduos químico-farmacêuticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Goiás, v. 43, n. 1, p. 19-29, jan-mar. 2007.

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

LAUDEANO, A. C. G.; BOSCO, T. C. D.; PRATES, K. V. M. C. **Proposta de gerenciamento de resíduos químicos para laboratórios de instituições de ensino médio e técnico. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2.**, 2011, Londrina. p. 1-9.

MARINHO, C. C. et al. Gerenciamento de resíduos químicos em um laboratório de ensino e pesquisa: a experiência do laboratório de limnologia da UFRJ. **Eclética Química**. São Paulo, p. 85-104, 2011.

MISTURA, C. M.; VANIEL, A. P. H; LINCK, M. R. Gerenciamento de resíduos dos laboratórios de ensino de química da universidade de Passo Fundo, RS. **CIATEC**. Passo Fundo, v. 2, n. 1, p. 54-64, 2010.

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**, Rio de Janeiro, v. 11, n, 2, p.118-124, jun. 2006.

OTAKE, A. H. et al. **GUIA DE BOAS PRÁTICAS LABORATORIAIS**. 2015. Disponível em: <[http://www.limhc.fm.usp.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/Manual\\_Guia\\_de\\_Boas\\_Praticas.pdf](http://www.limhc.fm.usp.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/Manual_Guia_de_Boas_Praticas.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2018.

PRADO, A. G. S., Química Verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 738-744, 2003.

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**. Disponível em: <[http://www.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo\\_9f.pdf](http://www.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo_9f.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2018.

PINE, S. H. Chemical Management: A Method for Waste Reduction. **Journal Of Chemical Education**. Los Angeles, p. 45-46. fev. 1984.

PORTO, R. L. L.; ZAHED F., K.; SILVA, R. M. da. **Evapotranspiração. São Paulo. Universidade de São Paulo**, 2003. Disponível em: <[http://www.pha.poli.usp.br/default.aspx?id=1&link\\_uc=disciplina](http://www.pha.poli.usp.br/default.aspx?id=1&link_uc=disciplina)>. Acesso em: 05 jun. 2019.

RAMM, J. G. et al. Development of a Waste Management Program in Technical Chemistry Teaching. **Journal Of Chemical Education**. Porto Alegre, p. 14-21. 1 mar. 2018. Disponível em: <<https://pubs.acs.org>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

RODRIGUES, C. M., MOREIRA, M., GUIMARÃES, R. C. **Apontamentos para as aulas de hidrologia**. Universidade de Évora, Portugal. Departamento de Engenharia Rural, 2011. Disponível em: [https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4721/1/Apontamentos\\_hidrologia.pdf](https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4721/1/Apontamentos_hidrologia.pdf). Acesso em: 05 jun. 2019

ROQUE, N. F. **Substâncias Orgânicas: Estrutura e Propriedades**. São Paulo. Edusp, 2011.

TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 732-738, jul-ago. 2005.