



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

THACYANNE KATARYNE BARBOSA LIRA

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS DE ENSINO DE
QUÍMICA E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR ADSORÇÃO**

Campina Grande – PB

2014

THACYANNE KATARYNE BARBOSA LIRA

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS DE ENSINO DE
QUÍMICA E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR ADSORÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba em cumprimento à exigência
para obtenção do título de Bacharel em
Química Industrial.

Orientadora: Dr^a Verônica Evangelista de Lima

Campina Grande – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

L768g Lira, Thacyanne Kataryne Barbosa.

Gerenciamento de resíduos em laboratórios de ensino de Química e proposta de tratamento de efluentes por adsorção [manuscrito] / Thacyanne Kataryne Barbosa Lira. - 2014.
60 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Verônica Evangelista de Lima, Departamento de Química".

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Gestão ambiental. 3. Tratamento de efluente. I. Título.

21. ed. CDD 363.728

THACYANNE KATARYNE BARBOSA LIRA

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS DE ENSINO DE
QUÍMICA E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR ADSORÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba em cumprimento à exigência
para obtenção do título de Bacharel em
Química Industrial.

APROVADO EM: 12 / 03 / 2014

NOTA: 10,0 (dez, zero)

EXAMINADORES:

Verônica E. Lima

Profª Drª Verônica Evangelista de Lima
(Orientadora - DQ/CCT/UEPB)

Isanna Menezes Florêncio

Profª Drª Isanna Menezes Florêncio
(Examinadora – DQ/CCT/UEPB)

Veruska Brasileiro Ferreira

Profª Drª. Veruska Brasileiro Ferreira
(Examinadora – DESA/CCT/UEPB)

*“Os três grandes fundamentos para
se conseguir qualquer coisa são,
primeiro, trabalho árduo;
segundo, perseverança;
terceiro, senso comum.”*

*“Há tempo para tudo.”
(Thomas Edison)*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre ilumina os meus caminhos, que sempre me fortaleceu e deu calma nos momentos de aflição, confortando-me nas horas difíceis. Foi ele que me deu força e coragem para superar todos os desafios. Foi ele quem guiou meus passos até aqui.

Aos meus pais amados, Maria José Barbosa Lira e Ademir Araújo Lira, que não mediram esforços para me apoiar, seja emocionalmente e financeiramente. Por todo o amor, carinho, cuidado e dedicação. Serei eternamente grata por toda a confiança depositada em mim.

Ao meu irmão Arthur Ismael Barbosa Lira que sempre consegue arrancar sorrisos do meu rosto e dá os melhores abraços, confortando-me nos momentos mais difíceis. A minha irmã Thays Karolyne Barbosa Lira por sempre me apoiar e tirar minhas dúvidas, e está sempre ao meu lado, fazendo parte da minha conquista.

Agradeço a todos os meus familiares, que mesmo longe acompanham e torcem pelo meu sucesso.

A toda equipe do NUPEA (Isanna Menezes, Elainy Pereira e Eliane Rolim), pelas melhores tarde de pesquisa (produção de hidromel), por toda a alegria diária, pela paciência de aguentar todos os meus momentos de estresses e desabafos, sentirei muitas saudades.

A minha grande amiga Kamila Ribeiro que sempre esteve ao meu lado, me dando apoio e segurando na minha mão nos momentos mais difíceis, como também compartilhando grandes momentos de felicidades e conquista. Foram os seus conselhos e palavras de coragem que me deram a certeza de que posso ir muito mais além e acreditar no meu potencial. Ao meu amigo Paulo pelas manhãs de estudos compartilhadas e várias madrugadas estudando, por todas as suas broncas e implicância, sei que sempre quis o meu melhor. Com vocês tive as melhores tarde de gargalhadas, alegria, brincadeiras e muita pesquisa do hidromel.

Aos meus amigos Thayana e João Lopes que nos últimos anos tornaram-se fundamental. A todas as conquistas compartilhadas de publicações científicas e a cada sonho planejado junto. Levarei a amizade de vocês para sempre comigo.

A Diego Augusto por ter grande influencia em boa parte dessa minha trajetória, a todo incentivo que me deu. Com sua enorme paciência sempre me acalmando e falando que tudo iria dar certo. Por fazer com que eu notasse o quanto sou forte e capaz de enfrentar qualquer desafio.

A minha orientadora Verônica Evangelista, minha mamãe na faculdade, por ter investido e acreditado no meu perfil de pesquisadora. A todas as conquistas que me proporcionou, através de todos os projetos de pesquisa. Foi uma longa jornada trabalhando juntas, projetos de iniciação científica, de extensão e monitorias. Tenho nela uma amiga, que sempre me aconselhou profissionalmente e pessoalmente.

À banca examinadora composta pela professora Isanna Menezes Florêncio e Weruska Brasileiro Ferreira que gentilmente aceitaram avaliar este trabalho.

Aos colegas de estágio, Henrique, Diego, Danise, Albertina, Vinicius, André (rei do nó), Jemima, pela ajuda na triagem e pelos momentos de gargalhadas.

A todos os professores do Departamento de Química, que contribuíram significativamente para o meu desempenho acadêmico, e alguns até pela minha postura pessoal e profissional. Bem como os funcionários e técnicos do CCT-UEPB, que estiveram presentes e me auxiliaram nas atividades do projeto de iniciação científica (Gerenciamento de resíduos e tratamento dos efluentes gerados em laboratórios químicos utilizando adsorção) e nas atividades de monitoria.

Obrigada a todos vocês por participarem desta minha etapa, pois direta, ou indiretamente me fizeram crescer, tanto pessoalmente como profissionalmente.

RESUMO

As universidades são centros de produção de conhecimento que afetam toda a sociedade, logo, a gestão exemplar dos seus resíduos é uma questão imperativa. A geração em grande frequência, a necessidade de acondicionamento específico e descarte especial torna a produção de resíduos químicos nos laboratórios didáticos um grave problema para as IES. A implantação de um sistema de gestão de resíduos deve iniciar com o reconhecimento do problema. Nessa perspectiva, foi proposto um diagnóstico inicial nos laboratórios de química analítica do DQ/UEPB, como primeira etapa do Sistema de Gestão de Resíduos a ser implantada. Inicialmente fez-se o inventário do passivo, no qual classificou-se os materiais estocados, considerando fatores como periculosidade, necessidade de acondicionamento específico e incompatibilidades entre produtos, posteriormente fez-se o inventário do ativo, com finalidade de qualificar e quantificar a produção de resíduos gerados no cotidiano dos laboratórios. Após essas etapas, desenvolveu-se o estudo da viabilidade do tratamento dos efluentes contaminados de metais pesados gerados nessas unidades, através do processo de adsorção em leito fixo utilizando bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente, enfatizando cromo como agente contaminante. Com base nos dados obtidos, desenvolveram-se ações para destinação adequada dos resíduos encontrados e reorganização laboratorial para armazenamento seguro de reagentes e soluções. Essas medidas resultaram na diminuição significativa de material estocado em cada unidade, possibilitando um ambiente mais seguro para discentes, docentes e técnicos, além de representar uma economia de insumos, visto que foi inibida a preparação de quantidades excedentes ao uso e diminuição do descarte de soluções, trazendo benefícios econômicos e ambientais. Como também o estudo do tratamento do efluente obteve resultados que atestam a eficiência do adsorvente, removendo 90% em 60 minutos.

Palavras-chave: gestão ambiental; laboratórios de química analítica; resíduos de metais pesado, adsorção, tratamento.

ABSTRACT

Universities are centers of knowledge production that affect all of society, so the copy of that residue management is an imperative issue. The large frequency generation, the need for special packaging and special disposal makes the production of chemical residues in the undergraduate laboratory a serious problem for IES. The implementation of a residue management system must start with the recognition of the problem. It was therefore proposed an initial diagnosis in analytical chemistry DQ/UEPB laboratories as the first stage of the Residue Management System to be implemented. Initially made up the inventory liabilities, which ranked number if the stored materials, considering factors such as dangerousness, need specific packing and incompatibilities between products, then gave up the inventory of assets, aiming to qualify and quantify the production of residue generated in everyday laboratories. After these steps, was developed to study the feasibility of the treatment of heavy metal contaminated effluents generated from these units through the process of adsorption in fixed bed using sugar cane bagasse as adsorbent biomass, emphasizing chromium as contaminant. Based on the data obtained, have developed actions to appropriate disposal of residue found and laboratory reorganization for safe storage of reagents and solutions. These measures resulted in significant reduction of material stored in each unit, providing a safer environment for students, teachers and technicians, as well as representing a saving of inputs, since the preparation was inhibited with the use of surplus quantities and decreased disposal solutions bringing economic and environmental benefits. Similarly, the study of the treatment of effluent obtained results testify the efficiency of the adsorbent, removing 90% in 60 minutes.

Keywords: environmental management; laboratories for analytical chemistry; residue heavy metals, adsorption treatment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR (IES)	13
3.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS	14
3.2.1 Implementação do programa de gestão de resíduos laboratoriais	15
3.2.2 Diagnostico inicial para o programa gerenciamento de resíduos	16
3.2.3 Adoção do programa de gerenciamento ambiental	17
3.2.4 Minimização, tratamento e destinação final	18
3.3 LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA, COMO GERADOR MAJORITARIO DE RESÍDUOS DE METAIS PESADOS.....	19
3.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES PROVINIENTES DE LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA.....	20
3.4.1 Isotermas de adsorção	23
3.4.2 Adsorção em leito fixo	24
3.4.3 Bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente	25
4 METODOLOGIA	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE	28
4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A ADSORÇÃO DE METAIS.....	29
4.3 ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO	29
4.4 REAGENTES, SOLUÇÕES E AMOSTRAS	30
4.4.1 Solução de EDTA (etilenodiaminatetraacético)	30
4.4.2 Solução Tampão de HAc/NaAc (Ácido acético + Acetato de sódio)	30
4.4.3 Soluções estoque dos analitos	30
4.5 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS POR ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS.....	31
4.6 SISTEMA PARA ADSORÇÃO EM LEITO FIXO.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 INVENTÁRIO DO PASSIVO DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA ANALÍTICA.....	32
5.1.1 Inventário dos reagentes sólidos estocados	32
5.1.2 Inventário dos reagentes líquidos estocados	33
5.1.3 Inventário das soluções estocadas	34
5.1.4 Inadequação das substâncias estocadas	35
5.2 REORGANIZAÇÃO LABORATORIAL NAS UNIDADES GERADORAS DE QUÍMICA ANALÍTICA.....	37
5.2.1 Rotulagem padrão	37
5.2.2 Reorganização nas prateleiras	38
5.3 INVENTÁRIO DO ATIVO DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA ANALÍTICA	39

5.3.1 Inventário do ativo sólido.....	39
5.3.2 Inventário do efluente líquido	40
5.4 TRATAMENTO DO EFLUENTE (CROMO) POR ADSORÇÃO COM BIOMASSA41	
5.4.1 Estudo da metodologia analítica para determinação de concentrações utilizando espectrofotometria uv-vis.....	42
5.4.2 Cinética de adsorção	43
5.4.3 Isotermas de Equilíbrio.....	46
5.4.4 Sistema de adsorção em coluna de leito fixo	47
5.4.4.1 Isotermas de adsorção em coluna de leito fixo	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE A – TRABALHOS PUBLICADOS PELA AUTORA NA TEMÁTICA GESTÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIOS	58

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade surge de maneira fundamental na sociedade, perante as graves crises ambientais que vem desenvolvendo-se ao decorrer dos tempos. Na prática, a sustentabilidade está relacionada com a busca pelo equilíbrio entre o homem e o meio ambiente, tendo como perspectiva a minimização do impacto ambiental gerado pela sociedade moderna.

Um dos grandes fatores que causa o impacto ambiental é a maneira inadequada de descarte dos resíduos no geral, dentre estes se destaca os resíduos químicos, provenientes de atividades laboratoriais realizadas nas Instituições de Ensino Superior (IES) ou nas indústrias.

Embora os laboratórios de ensino e pesquisa sejam responsáveis por uma pequena parcela de geração de resíduos químicos, os mesmos possuem um elevado grau de periculosidade, exigindo uma atenção especial (BARBOSA, 2009). Com isso as IES, tem como responsabilidade social uma das principais interessadas em desenvolver uma preocupação e sucessivamente uma conscientização ambiental aos discentes, docentes e técnicos envolvidos na unidade geradora (LIRA, 2013).

Por não haver uma gestão nos laboratórios didáticos e de pesquisas, os resíduos químicos gerados nas atividades corriqueiras são descartados inadequadamente, sem nenhuma seletividade e/ou tratamento prévio, sendo os líquidos despejados diretamente nas pias e os sólidos nas lixeiras, os quais são acondicionados e coletados juntamente com o restante dos resíduos denominados de “lixo comum” (LIRA, 2012).

A gestão de resíduos químicos em uma instituição iria acarretar na redução dos custos com os reagentes, tratamento e disposição final, tendo em vista que seria minimizada a quantidade de resíduos gerados nas atividades laboratoriais. (SCHILLING; ZENY; BAPTISTA, 1999).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETO GERAL

A implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino em química analítica na Universidade Estadual da Paraíba, visando à minimização do impacto ambiental e propor um sistema de tratamento para os efluentes gerados nesses laboratórios.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnostico inicial: inventário qualitativo e quantitativo dos resíduos químicos ativos e passivos.
- Reorganização laboratorial.
- Rotulagem padrão.
- Tratamento do efluente laboratorial (metal pesado - Cromo) por adsorção.
- Estudo da cinética da adsorção do componente cromo na biomassa de bagaço da cana-de-açúcar.
- Estudo das isotermas de adsorção para o sistema com metal pesado (Cr^{3+}) e biomassa.
- Estudo do desempenho da coluna de adsorção de leito fixo com recheio de biomassa residual na adsorção de cromo em um efluente sintético.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR (IES)

As atividades as quais seus procedimentos envolvem produtos químicos são via de regra processos de risco e geram uma poluição ao meu ambiente, a razão disso é que em muitos casos essas substâncias são tóxicas e após o final do processo são gerados resíduos que necessitam ser gerenciados de forma correta. Entretanto, o gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa só começou a ser amplamente discutido por volta dos anos noventa do século passado, com o conceito de química verde ou química limpa ou produção mais limpa, que considera, fundamentalmente, a necessidade de se evitar ou minimizar a produção de resíduos, de tal maneira a tornar menos impactante as atividades químicas no ambiente. O desenvolvimento dessa consciência ambiental envolve diferentes camadas e setores da sociedade, inclusive o setor da educação, a exemplo das instituições de ensino superior (BENDASSOLLI, 2012; SASSIOTTO, 2005, *apud* LIMA, 2008).

O descarte incorreto dos resíduos químicos provenientes de laboratórios de institutos de ensino e de pesquisa resulta em sérios riscos ao meio ambiente e acarreta problemas relacionados à boa qualidade de vida e preservação da natureza.

A geração de resíduos químicos em IES no Brasil é um assunto que merece atenção. Em muitas universidades a gestão de resíduos produzidos em atividades rotineiras é inexistente e o descarte é, muitas vezes, praticado de forma inadequada (SILVA, et al, 2011).

As empresas de grande porte produzem uma elevada quantidade de resíduos nocivos à vida humana e ao meio ambiente, portanto estão frequentemente sob fiscalização dos órgãos ambientais. Já as IES, devido ao fato de produzirem menores volumes de produtos tornam-se livre da obrigatoriedade de exercer uma correta destinação aos resíduos, visto que as políticas governamentais e legislações de controle dos riscos ambientais e regulamentação a destinação adequada das diversas substâncias nocivas, normalmente estão mais

voltadas para a geração de resíduos químicos que são gerados nas industriais. Desta maneira, não havendo fiscalização, fica a critério de cada instituição adotar um destino final, seja ele correto ou não.

3.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS

A grande maioria das unidades de docência que utilizam produtos químicos em suas rotinas de trabalho tem sido confrontada com o problema relacionado ao tratamento e à disposição final dos resíduos gerados em seus laboratórios de ensino e pesquisa. Devido à necessidade de um tratamento prévio, antes do descarte final. Sendo 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, é chegada a hora das universidades, e em especial dos Institutos e Departamentos de Química, implementarem seus programas de gestão de resíduos (SOUZA, et al, 2012).

O gerenciamento de resíduos químicos é um tema bastante atual e tem gerado diversos debates por muitas pessoas e órgãos que se preocupam com o desenvolvimento das atividades laboratoriais de ensino aliado à questão da preservação dos recursos naturais (BENIGNO, et al, 2010).

A gestão de resíduos é uma prática que consiste em tornar menos impactante à geração de resíduos de uma determinada atividade, visando um melhor conforto ambiental, no qual é considerada esta atividade uma prática de Produção Mais Limpa (P+L) na medida em que o gerenciamento de resíduos consiste numa maneira de conter ou minimizar a geração demasiada de resíduos químicos, ou até mesmo de buscar outras opções para a destinação final dos resíduos gerados (PENATTI, et al, 2008; LIRA, et al, 2013).

É de suma importância gerar processos mais limpos, isto é, que adotem novas fontes de energia, reagentes de custo mais baixos, que apresentem menor toxicidade, além de reações alternativas, de maneira que venha a gerar uma quantidade mínima de rejeitos, mesmo que em algumas situações os processos geram menos resíduos, porem custo mais elevado (TORRESI, 2009).

3.2.1 Implementação do programa de gestão de resíduos laboratoriais

A implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos (PGRQ) é algo que exige, antes de tudo, mudança de atitudes, e por isto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer realimentação contínua. Portanto, além da Instituição, disposta a implementar e sustentar o programa, outro aspecto importante é o homem, pois o sucesso depende da participação e colaboração de todos os membros envolvidos da unidade geradora (JARDIM, 1997; AFONSO, 2003; LIMA, 2008).

Para a implantação do PGRQ, demanda a adoção de três conceitos importantes, os quais nortearão as atividades a serem desenvolvidas no desenrolar do programa. O primeiro conceito é o de que gerenciar resíduos não implica dizer que será “geração zero de resíduo”. Ou seja, o gerenciamento de resíduos busca não só minimizar a quantidade de resíduos produzidos, mas também definir uma quantidade máxima de geração da concentração de substâncias tóxicas no efluente final da unidade geradora, tendo como guia a Resolução CONAMA 430/11. O segundo conceito a ser seguido é realizar um inventário de todos os resíduos gerados, pois só é possível gerenciar aquilo que se tem conhecimento, no caso o resíduo a ser administrado. Por fim, mas não menos importante, o terceiro conceito é o da responsabilidade objetiva na geração do resíduo, o que implica que o gerador do resíduo é o total responsável pelo mesmo, cabendo a ele sua destinação final. (JARDIM, 2001; SOUZA, 2012).

Todo processo de implementação de um sistema de gestão de resíduos exige como pré-requisito primordial a identificação dos procedimentos laboratoriais que geram as diversas correntes residuais, como também o inventariado dos resíduos laboratoriais. O que se torna de fundamental importância, pois a identificação dessas correntes previne alguns problemas que podem ocorrer na estocagem (BARBOSA, 2009; MARINHO, et. al, 2011).

3.2.2 Diagnostico inicial para o programa gerenciamento de resíduos

O passo inicial para o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de laboratórios é a caracterização dos resíduos químicos, no qual consiste a identificação de todas as substâncias e materiais a serem descartados. E para a realização deste diagnostico inicial contempla-se inventariar dois tipos de resíduos: o ativo e o passivo. O ativo é caracterizado como o resíduo químico gerado através de atividades corriqueiras desenvolvidas na unidade geradora, sendo considerado o principal alvo de qualquer programa de gestão e o passivo é toda a substância estocada, via de regra, não caracterizada, aguardando destinação final, no qual incluem todos os restos reacionais, os resíduos sólidos e até mesmo frascos de reagentes ainda lacrados, mas sem rótulos (MARTINS, 2008; JARDIM 1997). E Santos (2008) complementa afirmando que resíduos passivos são soluções e reagentes estocados ao longo do tempo e que não constam identificação, devido os rótulos estarem deteriorados ou/e ilegíveis, como também a não existência dos mesmos, e que necessitam de uma identificação para uma correta disposição final ou até mesmo estarem fora do prazo de validade.

O inventário do passivo tem como finalidade promover a identificação qualitativa e quantitativa dos resíduos estocados nos laboratórios didáticos, como também identificar em qual estado físico se encontram, o tipo de recipiente em que estão armazenados, sendo assim possível determinar o tratamento mais adequado a ser realizado (LIMA, et al, 2012).

Segundo Lira (2012), há de fato uma grande dificuldade na realização da caracterização qualitativa dos resíduos passivos em estudo, pois demanda um vasto tempo de análise e um grande esforço, assim nem sempre tornando-se possível a sua identificação. Porém deve-se levar em consideração que através deste processo é plausível a reciclagem e até mesmo o reuso de tais resíduos, como também propiciar a melhor destinação e descarte dos resíduos que não tenham mais proveito.

Os resíduos passivos podem ser divididos em três classes: identificados, não identificados e misturados/contaminados. Vale ressaltar que a grande maioria das unidades geradoras no Brasil não dispõe do passivo (apenas soluções e reagentes estocados), o que facilita estabelecer um programa de gestão, no

entanto é notório o descaso com que o assunto vem sendo tratado até os dias atuais (BENDASSOLLI, 2011; LASSALI, 2012).

O inventário do ativo deve ser desenvolvido de acordo com Penatti (2008), que consiste em visitas nas unidades geradoras. Nas visitas, devem ser realizadas entrevistas com todos os envolvidos nos laboratórios didáticos, com a finalidade de coletar informações sobre as características dos resíduos gerados, como também identificar as suas principais fontes geradoras. Com todas as informações dos tipos e fontes de resíduos gerados, essas mesmas fontes devem ser codificadas e inseridas em um mapa de resíduos com a funcionalidade de localizar as fontes no interior dos laboratórios. Para torna mais fácil o levantamento dos resíduos e de suas fontes, faz-se necessário a utilização de uma planilha específica para registro das informações coletadas.

3.2.3 Adoção do programa de gerenciamento ambiental

Ao ser desenvolvido um programa de gestão ambiental nas IES deve ser listadas algumas ações primordiais para que sejam minimizados ou até mesmo eliminados alguns dos resíduos químicos gerados nos laboratórios acadêmicos. E essas ações de suma importância são: otimizar cada laboratório gerador de resíduos; prevenir a geração de resíduos, modificando ou substituindo as atividades acadêmicas por outra menos impactante ou a substituição de reagentes menos tóxicos que obtenham o mesmo resultado nos experimentos; tornar mínima a quantidade de substâncias perigosas que são geradas nas atividades corriqueiras, através de trabalho em microescala; segregar e concentrar correntes de resíduos de uma maneira que torne-se viável e econômicas as atividades gerenciadoras; realizar o reuso interno ou externamente via transferência de resíduos; desenvolver uma reciclagem das substâncias encontradas no resíduo; manter todo resíduo gerado de uma maneira que torne-se mais fácil o seu tratamento e estoca-lo pelo menor tempo possível; dispor o resíduo de forma segura (JARDIM, 1998; SANTOS,2010 e AFONSO, 2003).

Segundo USP (1996) *apud* Penatti (2008), a próxima medida para o PGRQ a ser realizada, após todo o diagnostico inicial é a caracterização dos resíduos

gerados. Pois através da identificação da fonte geradora de resíduos é possível ser estabelecido padrões de caracterização de suas propriedades.

Segundo Afonso (2003), alguns conceitos que fazem com que ocorra a sustentabilidade de um programa de gerenciamento de resíduos químicos são: prevenir a geração dos resíduos, modificando ou substituindo o experimento por outro menos impactante; realizar experimentos em pequenas escalas, pois além de gerar pouco resíduo, pode ainda diminuir os custos com reagentes a curto e longo prazo, mesmo que seja necessário algum investimento com vidraria de tamanho pequeno; segregar e concentrar correntes de resíduos de modo a tornar viáveis e economicamente possíveis as atividades gerenciadoras. A segregação dos resíduos, obedecendo as suas características e um padrão de procedimento para cada laboratório, facilita o trabalho.

Em um plano para o PGRQ devem conter alguns itens que são essenciais: estudos para desenvolver metodologias para tratamento de resíduos gerados; área de estocagem; plano de minimização de resíduos (experimentos em microescala); sistema de rastreabilidade do produto; plano de emergência; programa educacional de conscientização ambiental (MICARONI et al, 2002).

3.2.4 Minimização, tratamento e destinação final

A minimização dos resíduos químicos tem-se como finalidade evitar o máximo a geração de produtos residuais. E para tornar isso possível, conta-se com algumas medidas e procedimentos que são capazes de diminuir a quantidade desses resíduos: substituição, microquímica, reusa/reciclagem e redestilação (PAIM, et al, 2002).

Em um PGRQ há necessidade de implantar algumas ações que visem reduzir ou se possível obter geração zero de resíduos perigosos. E com essas ações, acarretará em uma minimização do custo financeiro do tratamento. Algumas ações são: substituir os compostos perigosos ou mudar os processos deve ser adotado; separação dos resíduos; procedimentos de reutilização, recuperação e tratamento; redução na quantidade ou frequência de utilização de substâncias e materiais perigosos (FORTI e ALCAIDE, 2011).

O resíduo gerado deve ser encaminhado para o tratamento, para que seja tratado o mais rapidamente possível, evitando com que ele se altere ao decorrer do tempo, dificultando o procedimento a ser aplicado (SILVA, SOARES, AFONSO, 2009).

O tratamento dos produtos residuais é uma das principais operações que deve ser realizado antes da destinação final dos mesmos, visando diminuir ao máximo os problemas de toxicidade, contaminação e agressão ao meio ambiente. Muitos resíduos químicos que são classificados como perigosos podem receber o tratamento de neutralização ou inativação na própria unidade geradora e serem reaproveitados ou descartados, por não oferecem mais perigo (PAIM, 2002; LASSALI, 2012).

A última etapa a ser percorrida é a seleção de uma alternativa para o tratamento ou disposição final do resíduo. Vale lembrar que o tratamento de resíduos “*in situ*” deve ser explorado ao máximo para que apenas o mínimo seja enviado para fora da unidade geradora, pois o transporte, além de acarretar riscos, podendo ser bastante dispendioso (LIRA, et al, 2012).

3.3 LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA, COMO GERADOR MAJORITARIO DE RESÍDUOS DE METAIS PESADOS

Os laboratórios de química analítica são um dos maiores geradores de resíduos químicos derivados de metais pesados, isso ocorre devido aos experimentos didáticos provenientes dessa área, como exemplo: determinação do grupo de cátions, determinação de cloretos pelo método de Morh, determinação de ferro com permanganato de potássio, determinação de níquel com dimetilglioxima.

Metais pesados são altamente reativos e bioacumulativos, ou seja, o organismo não é capaz de eliminá-los (FORNAZZARI, 2008). Conceitualmente os metais pesados são definidos como elementos que possuem densidade superior a 5 g/cm^3 ou raio atômico maior que 20 pm. Entretanto, o termo “metais pesados” é utilizados para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. Na lista de metais pesados estão com maior frequência os elementos: Antimônio (Sb), Selênio(Se), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cádmio

(Cd), Arsênio (As), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Alumínio (Al), Prata (Ag), Cromo (Cr) (MALAVOLTA, 1994; TSUTIYA, 1999).

A toxicidade dos metais pesados depende da forma química do elemento. As formas quase insolúveis passam através do corpo humano sem causar grandes danos, já às formas mais devastadoras dos metais causam doenças imediatas ou até a morte (BAIRD, 2004).

A maioria dos organismos vivos necessita de alguns metais, porém em doses muito pequenas. A quantidade é tão mínima, que denominamos de micronutrientes, como é o caso do zinco, do magnésio, do cobalto e do ferro. Estes metais tornam-se tóxicos e perigosos para a saúde humana quando ultrapassam determinadas concentrações-limite (MELLO, 2010). Segundo AMORIOM (1999), os sintomas de intoxicação causados pelo metal Níquel quando ingeridos em doses elevadas são: dermatites, estomatites, tonturas, dores nas articulações e osteoporose. Em doses elevadas é tóxico, podendo causar irritações gastrointestinais, alterações neurológicas, alterações musculares, alterações cardíacas, dermatite, rinite crônica, asma e outros estados alérgicos. O excesso de níquel pode chegar a consequências graves como necrose e carcinoma do fígado e câncer de pulmão.

Alguns dos metais pesados têm um elevado teor tóxico e não são compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Sendo assim, entende-se que efluentes contaminados de metais pesados não devem ser descartados na rede pública, para tratamento em conjunto com o esgoto doméstico (AGUIAR, 2002).

3.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES PROVINIENTES DE LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

A poluição hídrica causada por efluentes contaminados com metais pesados tem recebido uma atenção especial devido aos efeitos cumulativos que se apresentam principalmente na cadeia alimentar. Normalmente encontra-se em baixas concentrações nos efluentes, entretanto atingem concentrações com um elevado grau de periculosidade em peixes e animais, que futuramente venham a

ser consumidos pelo homem. Desta maneira, tem-se esta poluição como uma causa impactante ao meio ambiente, e que posteriormente venha a acarretar riscos à saúde que são ainda desconhecidos (BEZERRA, et al, 2007).

Os métodos convencionais para tratamento de efluentes contaminados por metais pesados que mais são utilizados envolvem processos químicos como a oxidação ou redução química, precipitação química, porém já não são suficientemente eficazes, conforme atestam diversos autores (ANANIAS e PACCA, 2009; CHAVES et al., 2008). E, além disso, apresentam custo elevado e são gerados resíduos que necessitarão de uma nova etapa de tratamento (BEZERRA, et al, 2007). Devido a isso, tem crescido a busca a fim de se encontrar alternativas viáveis e mais economicamente atraentes para amenizar ou até mesmo solucionar os possíveis problemas causados por tais contaminantes.

Com isso, surge como meio de descontaminação de efluentes, o processo de purificação e separação por adsorção, o qual vem revelando-se bastante abrangente na sua aplicabilidade, em especial nas áreas: petrolífera, de alimentos, da química fina e da biotecnologia, incluindo as indústrias químicas, petroquímicas, bioquímicas, de alimentos e da biotecnologia. Tornando-se uma opção válida para a remoção de poluentes diluídos em efluentes líquidos, bem como para a recuperação de componentes de alto valor agregado, diluídos em correntes industriais (SCHEER et al., 2002, SILVA et al., 2012).

A adsorção é um dos métodos mais comuns para a remoção de poluentes de efluentes hídricos pelo fato de ser altamente eficaz na remoção de espécies em soluções líquidas, dependendo do material adsorvente que é utilizado no processo. O processo consiste em uma substância, presente em um líquido, que adere à superfície de um sólido. Essa aderência ocorre pelo fato da existência de cargas elétricas superficiais no sólido, o adsorvente, e na espécie química a ser adsorvido, o adsorbato. Na adsorção é formada uma camada de adsorbato retido sobre a superfície de um sólido. (CASTELLAN, 1986; CHAVES, 2008; SCHEER et al., 2002).

É um fenômeno complexo, dependente tanto das características microscópicas do sistema adsorvente-adsorbato, tais como energias intermoleculares, heterogeneidade do sólido, quanto das propriedades macroscópicas do sistema como forma e tamanho de partícula, além das variáveis

de processo como temperatura, velocidade de agitação e tempo espacial. Portanto se faz necessário um estudo criterioso sobre a capacidade adsorviva e cinética de adsorção para otimização das condições operacionais.

O tratamento de adsorção é um processo de equilíbrio de separação entre duas fases que já é bastante conhecido pela ciência. E é um método que já foi testado e apresentou resultados eficientes e econômicos, como também reconhecidamente simples, quando este é aplicado especificamente para fins de remoção, além de ter baixa geração de resíduos, possibilidade de recuperação dos metais removidos dos efluentes e possibilidade de reutilização do adsorvente. Porém o alto custo com a reposição dos adsorventes comerciais tem sido a grande dificuldade para a sua ampla utilização, desta forma torna-se necessário desenvolver pesquisas a respeito de materiais adsorventes de baixo custo que viabilizem o uso industrial (CHAVES, 2008; SILVA, 2012).

A utilização de biomassas regionais para o tratamento de efluentes surge com a perspectiva de se obter um processo eficaz e economicamente viável. Nos últimos anos foram desenvolvidos. Estudos recentemente comprovam a eficácia deste tipo de material na remoção de metais pesados (ALBERTINI, 2007; NAGATA, 2010; BATISTA et al., 2012; SILVA et al., 2012; SOUZA et al. 2012) dentre tantos outros.

A utilização de biomassas residuais para tratar efluentes tem despertado grande interesse nos últimos anos por serem materiais naturais, praticamente sem custo. Se houver a possibilidade de recuperação do metal adsorvido por um processo de dessorção, tanto o adsorvente quanto o metal capturado podem ser reutilizados, representando uma vantagem econômica adicional (MOREIRA et. al., 2000).

A biossorção como tratamento de efluentes contaminados por metais pesados é um processo de adsorção, que se refere à ligação passiva de íons metálicos por biomassa viva ou morta. Entende-se que biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal, animal ou microbiana incluindo os materiais procedentes de suas transformações naturais ou artificiais, e pode ser classificada em biomassa natural: produzida na natureza, sem intervenção humana; biomassa produzida: cultivada, com o propósito de obter um material para transformá-lo em um produto comercializável; biomassa residual: a que é gerada como subproduto

de atividades antropogênicas. Os materiais que promovem a bioadsorção são denominados de bioadsorventes, dentre eles o bagaço da cana-de-açúcar representa uma alternativa aos tratamentos de efluentes convencionais (NOGUEIRA; NASCIMENTO, 2007).

A estrutura química de uma biomassa vegetal é constituída de diferentes grupos funcionais, tais como carboxil, carbonil, cetona, sulfato, fosfato e amino, responsáveis pela bioadsorção (YAMAURA et al., 2008). A eficiência no processo de adsorção com a função de separação irá depender fundamentalmente da seleção do material adsorvente e da otimização das variáveis do processo (RUTHVEN, 1996).

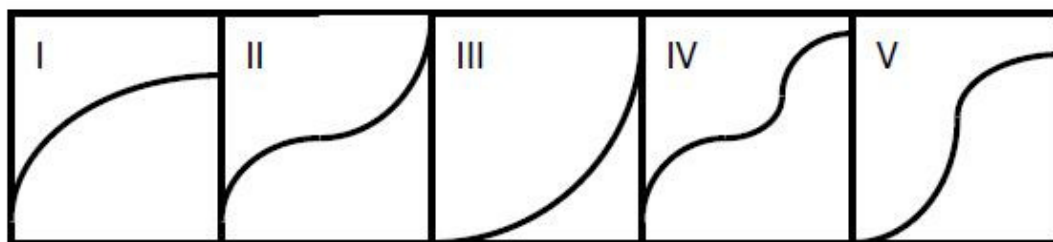
3.4.1 Isotermas de adsorção

A isoterma de adsorção é a relação de equilíbrio entre a quantidade do soluto adsorvido por unidade de massa de sólidos e sua concentração na fase fluida, à uma dada temperatura constante (MORAIS, 2005).

Através das isotermas de equilíbrio, pode ser obtidas informações a respeito de uma estimativa da quantidade aproximada de adsorvente necessária para um dado processo e conseqüentemente, o tamanho do equipamento requerido para a operação de adsorção em condições de equilíbrio (MORAIS, 2005).

Em 1938, Brunauer, Emmett e Teller analisaram de forma abrangente as isotermas de fisissorção, classificando-as em 5 tipos característicos, conforme ilustrado na Figura 1. Adsorventes microporosos apresentam geralmente isotermas do tipo I.

Figura 1 - Classificação das isotermas de adsorção física, segundo B.E.T.



FONTE: RUTHVEN, 1984.

- Isotermas do tipo I - São características de sólidos microporosos com superfícies externas relativamente pequenas (exemplo, carvões ativos). A quantidade adsorvida tende a um limite, diâmetro do poro $< 20 \text{ \AA}$.
- Isotermas dos tipos II e III - A quantidade adsorvida tende a um valor infinito, correspondendo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, e ocorre em sólidos não porosos ou macroporosos.
- Isotermas dos tipos IV e V - São obtidas para sólidos que apresentam mesoporos nos quais ocorre o fenômeno de condensação capilar, ou seja, o gás se condensa no interior dos mesoporos, o que não acontece se o adsorbato for líquido.

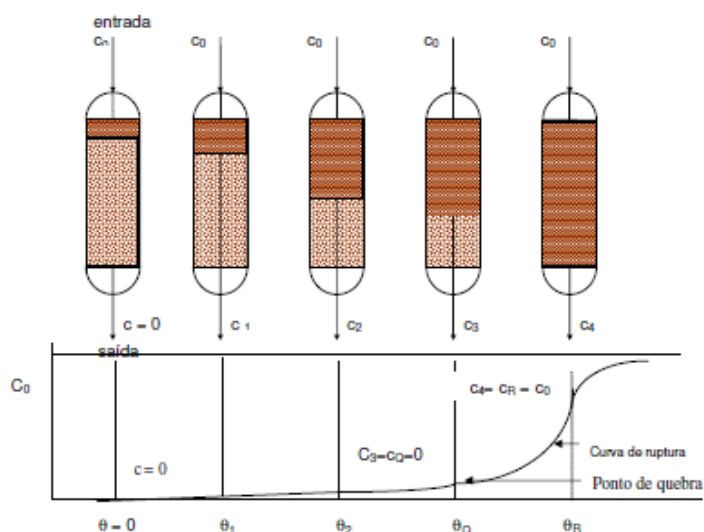
Os modelos de isotermas de adsorção são fundamentais para descrever como o adsorbato interage com o adsorvente, de forma que, além de fornecer informações sobre a afinidade entre as fases interagentes, reflete o possível mecanismo de adsorção. Diversos modelos matemáticos tentam descrever o equilíbrio de adsorção à temperatura constante em termo das composições das fases fluida e sólida. Algumas das expressões mais comumente usadas são resumidas a seguir.

3.4.2 Adsorção em leito fixo

A adsorção em leito fixo é um processo que é amplamente utilizado em tratamento adsorvativos. A sua grande vantagem é que pode ser empregada em processos de separação industriais, como também é desenvolvido em pequenas escalas estimando todos os parâmetros (GUTSCHE & HARTMANN, 1996 *apud* MORAIS, 2005).

A Figura 2 esboça um esquema em funcionamento de um processo de adsorção através de uma coluna de leito fixo, no qual tem-se o conhecimento da concentração inicial da solução contaminante que irá passar pelo meio poroso adsorvente, totalmente ausente de adsorbato.

Figura 2 - Processo de adsorção em leito fixo (curva de ruptura)



FONTE: GOMIDE, 1980.

O mecanismo básico de operação da coluna consiste em introduzir na sua extremidade superior uma vazão da solução contaminante (metal pesado), no qual os íons metálicos (soluto) presentes no meio líquido serão adsorvido no leito. No decorrer da operação, o soluto adsorvido é continuamente removido do fluido carreador e acumulado na fase sólida. Desta maneira acarretando a purificação do efluente contaminado.

3.4.3 Bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente

Nas tendências mundiais para o avanço científico e tecnológico na área de novos materiais vem ganhando destaque o interesse pela utilização de resíduos industriais e agroindustriais como matéria prima nos processos de produção. A reutilização e a reciclagem tem uma grande influencia para o melhor aproveitamento das matérias-primas, o que tem despertado um enorme interesse nos dias de hoje (MACHADO, 2008).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar para a indústria do álcool e do açúcar. Após a separação da garapa, da qual é produzido o álcool etílico, o açúcar e a cachaça, tem-se o bagaço da cana-de-açúcar. No contexto econômico brasileiro uma utilização efetiva do bagaço de cana-de-açúcar é muito importante, pelo fato da reutilização desse material, gerando assim uma

minimização desse resíduo sólido. Cerca de 120 milhões de toneladas de bagaço contendo 50% de umidade podem ser produzidos anualmente na temporada de produção de álcool etílico. Este resíduo tem sido utilizado como fonte de energia para as usinas e como matéria-prima para a produção de hidroximetil furfural, polpa de papel, madeiras prensadas e outros (MORAIS, 2005; MACHADO, 2008).

A cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum*, é uma gramínea proveniente da Ásia, em uma região entre a Índia e a China, a qual tem uma grande cultura em regiões tropicais e subtropicais. Desde a sua origem até atualmente, ela vem passando por algumas modificações, criando várias espécies, as quais diferem entre si, principalmente em relação à quantidade de fibras e açúcares presentes. Nos dias de hoje, a maioria das canas-de-açúcar que são cultivadas é um híbrido da planta original com outras espécies da mesma família (MACHADO, 2008).

As características estruturais e químicas do adsorvente são de fundamental importância para as propriedades adsorptivas do mesmo. A composição química do bagaço varia de acordo com diversos fatores, dentre eles, o tipo de cana, o tipo de solo, as técnicas de colheita e até o manuseio. A Tabela 1 a seguir mostra a composição média característica do bagaço de cana.

Tabela 1 - Composição característica do bagaço de cana-de-açúcar

Composição química média	
Carbono	39,7 – 49%
Oxigênio	40 – 46%
Hidrogênio	5,5 – 7,4%
Nitrogênio e Cinzas	0 – 0,3%
Propriedades físico-químicas	
Umidade	50%
Fibra	46%
Brix	2%
Impurezas minerais	2%
Composição média da fibra do bagaço	
Celulose	26,6 – 54,3%
Hemicelulose	14,3 – 24,7%
Lignina	22,7 – 29,7%

FONTE: MORAIS, 2005.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos em escala laboratorial utilizando o bagaço de cana-de-açúcar, em sua forma natural seca, dentre eles podem ser citados os de MORAIS (2005), YAMAMURA (2005), SANTOS et al. (2008), SILVA(2008),NAGATA (2010), SILVA (2012), fornecendo resultados promissores relativos ao bagaço da cana de açúcar e outras biomassas como material adsorvente para contaminantes orgânicos.

Silva (2008) utilizou em seu trabalho o bagaço como biomassa adsorvente e destacou que é um material abundante na região nordeste do Brasil, sendo um resíduo agroindustrial, gerado em grandes proporções. Logo, é de fácil obtenção e de baixo custo.

Mais recentemente, Lisboa et al. (2009) avaliaram positivamente o uso do bagaço de cana para adsorção de proteína e lactose do soro do leite. No mesmo período Santos et al. (2009) publicaram os estudos da cinética de adsorção de hidrocarbonetos de petróleo utilizando o mesmo material adsorvente de Lisboa para atestar a viabilidade da reutilização desta biomassa.

Na remoção de metais estão relatados os usos do bagaço de cana como adsorvente para Cu, Pb e Cr (SANTOS et al., 2008; SILVA, 2012), para retenção de Cd (ALBERTINI et al., 2007) e até para remoção de íons radioativos como U, Th (YAMAMURA; YAMAURA, 2005).

4 METODOLOGIA

As atividades foram realizadas na Universidade Estadual da Paraíba - campus I, nos laboratórios didáticos de química analítica, do Departamento de Química, no qual se encontra com três unidades nessa área, o de analítica experimental I, analítica experimental II e analítica aplicada. No laboratório de analítica I são desenvolvidas aulas experimentais de analítica qualitativa, no experimental II são realizadas aulas de analítica quantitativa e no de aplicada são aulas práticas de química aplicadas aos processos industriais.

Inicialmente foram desenvolvidas visitas diárias nos laboratórios, visando pontos específicos relativos à geração, armazenagem e descarte de resíduos químicos. Foram também considerados os depoimentos feitos pelos usuários e funcionários para compor o inventário final do ambiente.

Nos laboratórios didáticos foi realizado um levantamento sobre a rotina de geração de resíduos. Nesta etapa foram verificados quais eram as fontes geradoras e quais as atividades eram desenvolvidas, visando à obtenção de informações que auxiliassem no trabalho de análise na destinação dada aos resíduos laboratoriais. Desenvolveu-se o levantamento do inventário do passivo, qualitativamente e quantitativamente dos produtos químicos utilizados nas unidades, contabilizados em um período de três meses. No qual as informações obtidas foram organizadas em planilha específica para laboratório, facilitando assim o melhor acesso ao pesquisador. Sucessivamente foi realizado o levantamento das atividades rotineiras de ensino que geram resíduos, listando os tipos de resíduos gerados e a quantidade produzida, no período de quatro semanas. E finalmente foram avaliados qualitativamente os resíduos produzidos pelos laboratórios com o objetivo de elaborar uma proposta de gerenciamento dos resíduos laboratoriais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

Inicialmente o bagaço da cana-de-açúcar na sua forma natural, proveniente de uma moagem de cana-de-açúcar foi lavado em água corrente até a eliminação do odor característico de fermentação, como também os açúcares fermentescíveis. Passou por um processo de secagem com um período de 48 horas a temperatura de 50°C em uma estufa. Posteriormente, separaram-se as partes macias do

bagaço e triturou-se o material e em seguida peneirou-se o material fixando a granulometria de 1 mm. Guardou-se o material para os experimentos.

4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A ADSORÇÃO DE METAIS

Na primeira parte desse estudo variou-se o tempo de contato do bagaço da cana-de-açúcar com a solução de nitrato de cromo a 1000 ppm, sobre agitação. Analisaram-se tempos de 5 a 60 minutos, com intervalo de 5 minutos entre as medições. Foram medidos 0,6000 g de massa do bagaço e colocados em 26 ml da solução de nitrato de cromo contidos em um erlenmeyer. Realizaram-se os experimentos em triplicata para cada tempo fixado. Os recipientes foram colocados em uma mesa agitadora com a rotação de 180 RPM, sempre fixando está rotação em todos os experimentos. Para evitar perdas por respingos durante a agitação o recipiente utilizado para a agitação permaneceu sempre coberto durante o período de agitação. Após esse tempo, foram imediatamente retirados do aparelho e as amostras foram filtradas. Separou-se aproximadamente 5 ml do sobrenadante para a determinação da concentração de cromo remanescente, utilizando o método espectrofotométrico.

4.3 ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO

Para a realização do processo de adsorção, 0,6000 g do bagaço de cana-de-açúcar foram colocados em agitação com 26 mL de solução no período de 60 minutos com a variação das concentrações do contaminante (de 100 a 1000 ppm). Ao fim do período, tendo separado a biomassa, a solução resultante foi analisada para determinação da concentração final, utilizando-se o método espectrofotométrico. Realizaram-se os experimentos em triplicata para cada amostra. A quantidade adsorvida na biomassa foi calculada pela diferença entre a concentração inicial e a concentração medida no final do tempo de processo. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$).

4.4 REAGENTES, SOLUÇÕES E AMOSTRAS

4.4.1 Solução de EDTA (etilenodiaminatetraacético)

É um ligante hexadentado capaz de formar complexos com a maioria dos íons metálicos. O EDTA foi preparado dissolvendo 0,1000g do sal dissódico em 100mL de água deionizada, formando uma solução estoque de concentração 1000 ppm. Sendo preparadas soluções mais diluídas para formação de complexos com o metal Cr^{+3} .

4.4.2 Solução Tampão de HAc/NaAc (Ácido acético + Acetato de sódio)

A complexação do metal com o EDTA foi realizada em pH próximo de 5.0, para garantir esta faixa de pH foi utilizado uma solução de tampão de ácido acético com acetato de sódio – HAc/NaAc) à 0,5mol/L.

4.4.3 Soluções estoque dos analitos

Inicialmente foi preparada uma solução estoque de nitrato de cromo na concentração de Cr^{3+} 1000 ppm, pela dissolução em água de quantidade suficiente do reagente. Posteriormente uma alíquota deste padrão foi diluída a várias concentrações menores, para serem analisadas.

4.5 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS POR ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Nesta etapa foi usado um aparelho espectrofotômetro para determinação das concentrações de Cromo. A metodologia utilizada foi de acordo com Herique Junior (2007), no qual diz que para a determinação da concentração de Cr^{3+} é necessário a complexação das amostras através de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) em meio tamponado para $\text{pH} = 5$. A mistura amostra-EDTA foi aquecida por 30 - 40 minutos, em temperatura de 80 - 90°C para aceleração da reação de formação de complexo com o Cr^{3+} .

Inicialmente, foi verificado o espectro de absorção do EDTA e das soluções contendo nitrato de cromo no intervalo de 300 a 650 nm, estabelecendo-se como adequado para as medidas de concentração o comprimento de onda de 547 nm. Por meio de uma curva de calibração, cada leitura de absorbância foi convertida em concentração de cromo correspondente.

4.6 SISTEMA PARA ADSORÇÃO EM LEITO FIXO

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma coluna de adsorção em leito fixo, que consiste em um tubo de vidro com 1,3 cm de diâmetro e 14,5 cm de altura. A coluna foi recheada com 1g de adsorvente de bagaço de cana-de-açúcar com a granulometria de 1 mm. A solução contaminada de nitrato de cromo com a concentração fixada em 1000 ppm, utilizando-se o volume de 1,5L no sistema de adsorção. O fluxo da dispersão através da coluna ocorre de forma descendente e a coleta de amostras se dá na saída da coluna, ou seja, parte inferior. A válvula de passagem permite direcionar o fluxo para a coluna com a vazão de alimentação 35,75ml/min e 39,25ml/min e foi coletada alíquotas no tempo de 1 em 1 minuto por 30 min e de 5 em 5 minutos por 60 min.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Instituições de Ensino Superior (IES) da área ciências exatas e tecnológicas são compostas de laboratórios didáticos, nos quais são desenvolvidas pesquisas e atividades experimentais, o que acarreta a geração de diversos resíduos químicos de alta periculosidade e de uma vasta complexidade, sendo bastante nocivo à saúde.

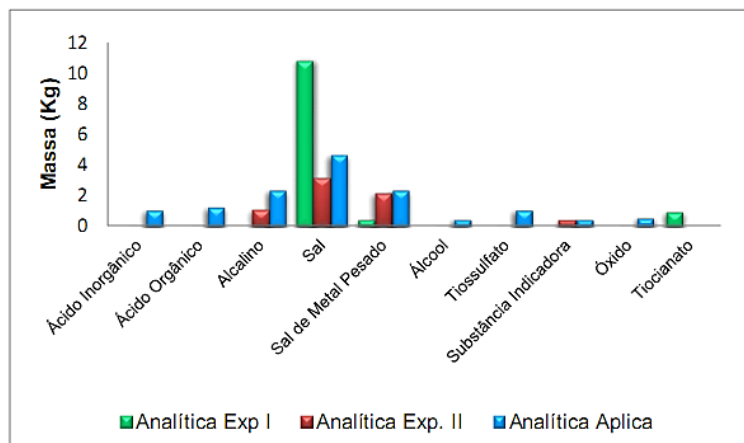
Dentre todos os laboratórios didáticos, optou-se por um diagnóstico inicial no laboratório de química analítica, devido ao conhecimento prévio destes laboratórios, no quais se encontram a maior quantidade de reagentes passivos com um elevado teor de periculosidade, como por exemplo, sal de metal pesado. E que nas atividades experimentais dos mesmos geram resíduos até mais perigosos que os próprios reagentes que lhes deram origem.

5.1 INVENTÁRIO DO PASSIVO DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA ANALÍTICA

5.1.1 Inventário dos reagentes sólidos estocados

Nas visitas realizadas aos laboratórios acadêmicos em questão, tomou-se como prioridade inicial a catalogação dos reagentes e soluções estocadas. No qual foram desenvolvidas duas classificações, uma em relação à natureza química das substâncias e a outra ao estado físico em que se encontravam. Pode-se observar o inventário dos reagentes de pureza analítica (PA) no estado sólido estocados, na Figura 3.

Figura 3 - Reagentes estocados nos laboratórios didáticos no estado sólido



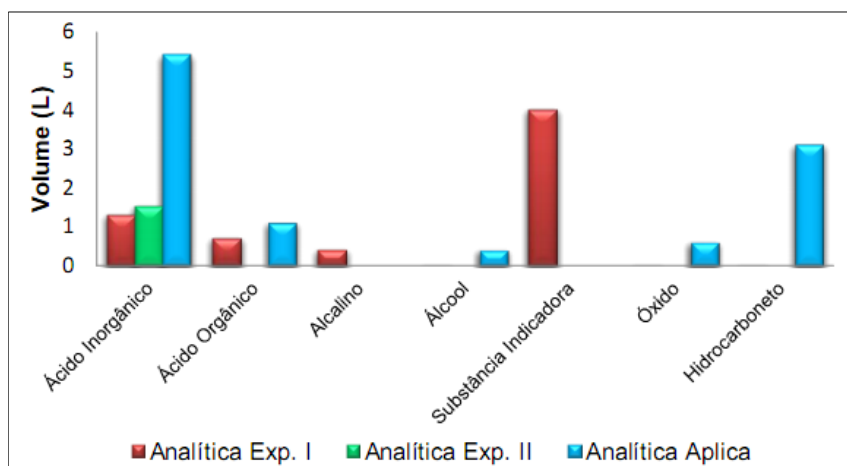
FONTE: Própria, 2012.

No inventário dos reagentes sólidos estocados, constatou-se uma quantidade considerável de reagentes salinos e de sais de metais pesados armazenados. O que provocou uma grande preocupação, devido à alta periculosidade dos reagentes com metais pesados, pois ocasionam um risco a todos os usuários das unidades geradoras. Tendo isso em vista realizou-se uma reorganização laboratorial, de maneira que foram transferidos os reagentes para um local adequado, como o almoxarifado, e ficando os que são utilizados no cotidiano das atividades experimentais.

5.1.2 Inventário dos reagentes líquidos estocados

No diagnóstico inicial desenvolvido nos laboratórios de química analítica, os reagentes de pureza analítica (PA) no estado líquido, foram catalogados e classificados em relação à natureza química dos compostos, para que fosse possível ter o conhecimento dos materiais estocados e a periculosidade que geram. Na Figura 4, apresentam-se as informações resumidas do inventário dos reagentes na fase líquida existentes nos laboratórios de química analítica.

Figura 4 - Reagentes estocados nos laboratórios de química analítica no estado líquido



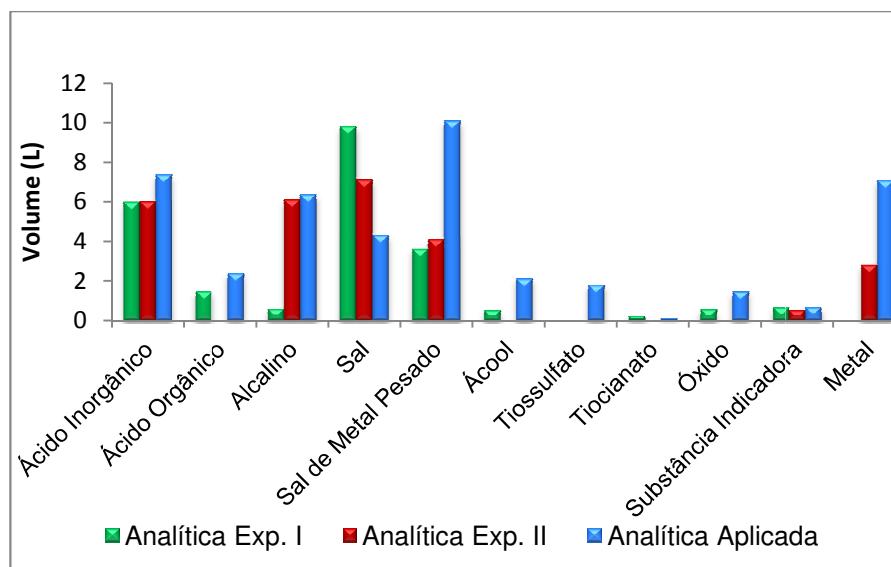
FONTE: Própria, 2012.

Os reagentes na fase líquida do inventário passivo evidenciaram-se uma quantidade considerável de ácidos inorgânicos, substâncias indicadoras e hidrocarbonetos. Devido esta quantidade desses materiais estocados, criou-se uma preocupação, pois os ácidos contém uma alta periculosidade e os hidrocarbonetos e álcoois são altamente inflamáveis, sendo assim prejudiciais à vida. O que se fez necessário uma descentralização desses reagentes, transferidos para um almoxarifado.

5.1.3 Inventário das soluções estocadas

Na abordagem dos laboratórios didáticos de química analítica, fez-se o mesmo procedimento dos reagentes, evidenciando-se as principais soluções estocadas nas unidades geradoras, para que se pudesse tomar conhecimento sobre sua natureza química e a sua periculosidade. Na Figura 5, apresentam-se as informações resumidas do inventário das soluções químicas existentes nos laboratórios acadêmicos.

Figura 5 - Soluções químicas estocadas nos laboratórios de analítica



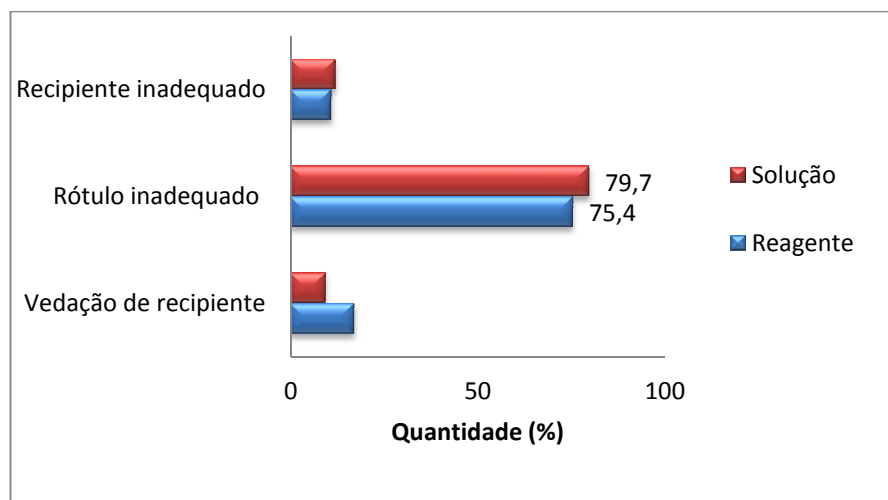
FONTE: Própria, 2012.

O diagnóstico inicial das soluções estocadas, evidenciaram-se uma quantidade considerável de ácidos inorgânicos, alcalinos, sais, sais de metais pesados e metal. Notou-se uma quantidade considerável de materiais estocados, no qual se criou uma preocupação, pois os ácidos, os alcalinos e principalmente os sais de metais pesados contem uma alta periculosidade sendo assim prejudiciais à vida. Desta maneira orientaram-se os usuários da unidade geradora para produzir apenas a quantidade necessária que irão manusear, assim diminuindo o volume de soluções estocadas.

5.1.4 Inadequação das substâncias estocadas

Na catalogação das substâncias estocadas, foi notável a falta de informações importantes nos rótulos de muitas soluções e reagentes. Como também foram encontradas algumas inadequações, em relação ao aspecto físico dos recipientes de acondicionamento dos reagentes PA e soluções. Outro problema notificado foi à inadequação na vedação desses recipientes. As informações foram resumidas na Figura 6.

Figura 6 – Aspectos físicos e de rotulagem, dos materiais estocados



FONTE: Própria, 2012.

Na realização do inventário do passivo na parte de inadequação das substâncias, foi desenvolvida uma classificação para cada tipo de inadequação, que foram: recipiente inadequado, rótulo inadequado e vedação do recipiente. Foram contabilizados produtos químicos acondicionados em recipientes de materiais incompatíveis com o conteúdo, ressecados, parcialmente danificados, ou deteriorados, no de diz respeito à inadequação do recipiente. Foram listados os problemas referentes à vedação inadequada, no qual detectadas tampas quebradas, tampas que não vedam bem, tampas ressecadas, ausência de tampa externa e/ou ausência de tampa interna.

Entretanto, foi listada como o maior problema a inadequação no rótulo, pois apresentaram 79,7% referentes às soluções e 75,4% para os reagentes. Nos reagentes concentrados, encontraram-se rótulos manchados, molhados, raspados, riscados e/ou deteriorados, além de outros ilegíveis ou ausentes. Estavam ausentes informações imprescindíveis para um uso seguro das soluções, tais como: fórmula do composto, dosagem preparada, data de fabricação e responsável técnico.

5.2 REORGANIZAÇÃO LABORATORIAL NAS UNIDADES GERADORAS DE QUÍMICA ANALÍTICA

5.2.1 Rotulagem padrão

Realizou-se uma reorganização no laboratório didático em questão, aplicando-se uma rotulagem padrão, anexando todas as informações pertinentes sobre a solução. Os rótulos foram digitados e colocou-se plástico adesivo sobre o mesmo de tal maneira a proporcionar a sua impermeabilização, gerando assim uma proteção ao rótulo. Foi anexada uma etiqueta removível com o nome do manipulador e a data de formulação, esta etiqueta será trocada a cada uma nova solução, ficando apenas permanente o rótulo com as características das soluções. Na Figura 7, apresenta-se a aplicação da rotulagem padrão.

Figura 7 - Rotulagem padrão do laboratório de química analítica aplicada



a) fase inicial

b) fase final

FONTE: Própria, 2012.

Anexou-se cartazes pelos laboratórios com informações referentes à rotulagem padrão, para que seja sempre aplicada, como também aconselhando que ao término da manipulação dos materiais, coloque-os no mesmo local de origem. E organizaram-se as soluções de acordo com as atividades experimentais realizadas em cada laboratório didático, respeitando a incompatibilidade das substâncias.

Os resultados da padronização dos rótulos são notórios tanto pela facilidade de acesso aos materiais, causada pelos cartazes sinalizadores, quanto pelo conforto ambiental, promovido pelas medidas de organização. Além de acarretar uma minimização econômica de insumos, visto que ocorreu uma diminuição na

preparação de quantidades excedentes ao uso e o descarte de soluções por falta de informações essenciais quanto à utilização correta dos produtos armazenados.

5.2.2 Reorganização nas prateleiras

Os reagentes de pureza analítica (PA) estavam estocados em prateleiras suspensas e alta, e muitas vezes misturados com os recipientes das soluções, sem nenhum critério de organização, o que acarretou reagentes incompatíveis próximos. Com este agravante, adotou-se uma reorganização nas prateleiras, transferindo todos os reagentes concentrados para as prateleiras baixas, assim diminuindo os riscos de acidentes, visando também a incompatibilidade entre as substâncias. E as soluções foram reposicionadas em prateleiras altas e suspensas, pois estão diluídas o que não gera tanto risco, ordenando-as de acordo com as aulas didáticas a serem ministradas e a compatibilidade. Na Figura 8, apresentam-se a reorganização dos reagentes, inicialmente em prateleiras suspensas e posteriormente transferidos para as baixas.

Figura 8 - Reorganização das prateleiras dos reagentes concentrados



a) fase inicial

b) fase final

FONTE: Própria, 2012.

Na realização do inventário do passivo foram detectados problemas com o armazenamento inadequado dos reagentes, pois estavam estocados em prateleiras altas e suspensas, o que possibilita a ocorrência de graves acidentes. Sendo assim desenvolvida uma reorganização, armazenando os reagentes em prateleiras baixas, tendo em vista à minimização de eventuais acidentes, como também realizando a descentralização dos mesmos e organizando-os de acordo

com suas propriedades químicas, com o maior cuidado com relação à incompatibilidade entre determinados reagentes durante o seu armazenamento, pois há substâncias inconciliáveis. Já com as soluções diluídas, algumas encontradas em armários fechados, foram modificadas para compor prateleiras altas, observando-se sempre as incompatibilidades entre as mesmas. Não se aconselha armazenar substâncias em armários fechados, pois podem liberar gases.

5.3 INVENTÁRIO DO ATIVO DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA ANALÍTICA

Para que fosse plausível a realização da quantificação dos resíduos gerados no laboratório em questão, foi necessário que os docentes, discentes, operadores e técnicos envolvidos na unidade geradora seguissem o sistema implantado de descartes, e através deste sistema pode-se quantificar periodicamente as principais composições de resíduos.

5.3.1 Inventário do ativo sólido

O inventário dos resíduos químicos produzidos diariamente, na fase sólida, no qual foi realizado um levantamento quantitativo da geração de resíduos no período de quatro semanas na unidade geradora de química analítica II. A Tabela 2 esboça o levantamento do inventário ativo sólido.

Tabela 2 - Inventário do ativo sólido do laboratório de química analítica II

Período	Quant. Mássica de compostos químicos (g)
1ª semana	14,6732
2ª semana	67,2014
3ª semana	31,3517
4ª semana	19,0381

FONTE: Própria, 2012.

O inventário dos resíduos sólidos foi coletado em lixeiras revestidas com sacola plástica, sendo trocada semanalmente. No entanto, foi detectado um problema, pois foram descartados além dos resíduos químicos produzidos através dos compostos químicos, papéis higiênicos contaminados com o mesmo, como

também luvas. Assim acarretando uma alteração na quantidade mássica obtida no inventariado.

5.3.2 Inventário do efluente líquido

No inventário dos resíduos gerados rotineiramente, foi desenvolvida uma quantificação do que se produz em um período de quatro semanas no laboratório de química analítica II. Acondicionando esse efluente produzido, em bombonas de 30 litros, para facilitar a contagem. E tomou-se os roteiros das aulas experimentais para saber os compostos contidos na bombona. Na Tabela 3, apresenta-se o inventário ativo, com os principais constituintes do efluente, a sua quantidade mássica e a concentração, como também o volume produzido semanalmente e o pH obtido.

Tabela 3 - Inventário do ativo líquido do laboratório de química analítica II

Período	Vol. (L)	pH	Pric. Subs	Qtde mássica(mg)	Conc. no efluente(mg/L)
1ª semana	5	7,3	AgNO ₃	28029,1	5605,8
			NH ₄ Cl	3265,6	653,1
			K ₂ CrO ₄	1650,0	330,0
2ª semana	8	0,8	KMnO ₄	26075,6	3259,4
			H ₂ SO ₄	151800,0	18975,0
			Na ₂ C ₂ O ₄	1386,0	173,2
			Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O	16500,0	2062,5
3ª semana	3	0,1	BaCl ₂	7200,0	2400,0
			H ₂ SO ₄	70083,9	23361,3
			HCl	52,4	17,5
			AgNO ₃	1868,6	622,9
4ª semana	12	8	C ₄ H ₇ O ₂ N ₂	7,7	0,6
			NH ₄ OH
			HCl	55,0	4,5
			NiCl ₂	6600,0	550
			BaCl ₂	3300,0	275
			H ₂ SO ₄	35042,0	2920,2
			HCl	26,2	2,2
			AgNO ₃	2802,9	233,6

FONTE: Própria, 2012.

Na realização do inventariado do ativo de resíduos na fase líquida foram utilizadas bombonas de 30 litros calibradas, com a finalidade de comportar os resíduos produzidos semanalmente nas unidades geradoras de química analítica. Sendo assim implantado um sistema, em que devem ser descartados todos os resíduos das atividades didáticas nas bombonas, como também a primeira água de lavagem dos materiais utilizados (vidrarias).

Foi possível constatar que há de fato uma quantidade considerável de resíduos químicos que são descartados no efluente sem nenhuma seletividade prévia, acarretando a liberação de substâncias com pH extremamente ácido, como também um volume abundante de resíduos derivados de metais pesados e com concentrações elevadas. E comparando os dados com a Resolução CONAMA Nº 430/2011 o efluente em relação aos metais Ag, Ni, Ba, Fe e Mn está sendo descartado fora dos padrões, como também o nitrogênio amoniacal total. Já em relação ao pH a normativa diz que as condições para o lançamento do efluente varia de 5 à 9, e o efluente do laboratório obteve pH quase zero.

Pode-se ressaltar que a maior problemática dos resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa, é em relação ao efluente líquido, pois nele contém um volume considerável, como também uma grande quantidade de substâncias de alto teor de periculosidade e complexidade.

Em relação ao efluente do laboratório de química analítica I foi possível constatar que também se encontra fora dos padrões da CONAMA 430/2011, pois a emissão de pH variou de 4,5 até 9,1 e de uma elevada concentração de metais pesados, tendo ênfase o cromo. Desta maneira surge como perspectiva desenvolver uma estratégia para o tratamento desse efluente, e tem-se como foco inicial a remoção do cromo.

5.4 TRATAMENTO DO EFLUENTE (CROMO) POR ADSORÇÃO COM BIOMASSA

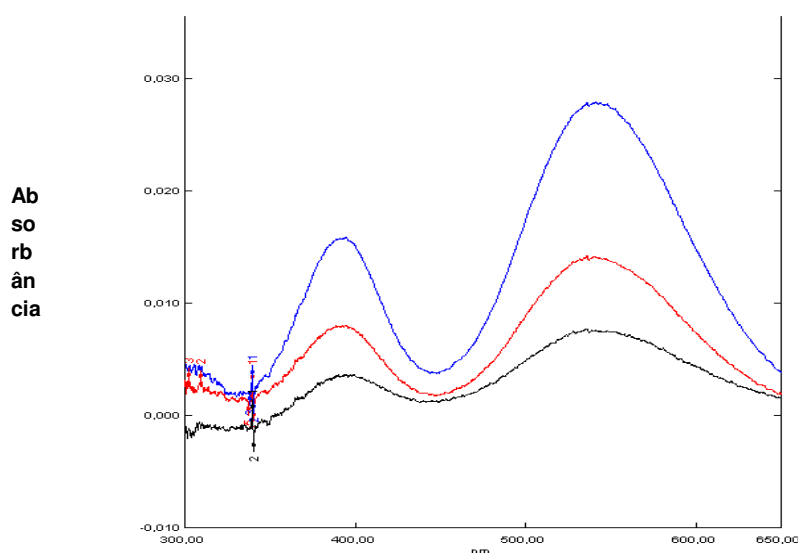
O estudo da cinética de adsorção do cromo apresentou resultados extremamente interessantes devido à possibilidade de tratamento dos efluentes contaminados com este metal pesado, utilizando um material barato e abundante na região, que é a biomassa de bagaço de cana de açúcar. Os fatores que

representam a vantagem quanto ao uso, representam também uma dificuldade enfrentada por todos os autores para a modelagem matemática do fenômeno: a origem natural da biomassa lhe confere características de não uniformidade da estrutura.

5.4.1 Estudo da metodologia analítica para determinação de concentrações utilizando espectrofotometria uv-vis

Na Figura 9, podem ser visualizadas as bandas espectrais formadas pelos complexos Cr-EDTA em diversas concentrações, no intervalo de 300 a 650 nm.

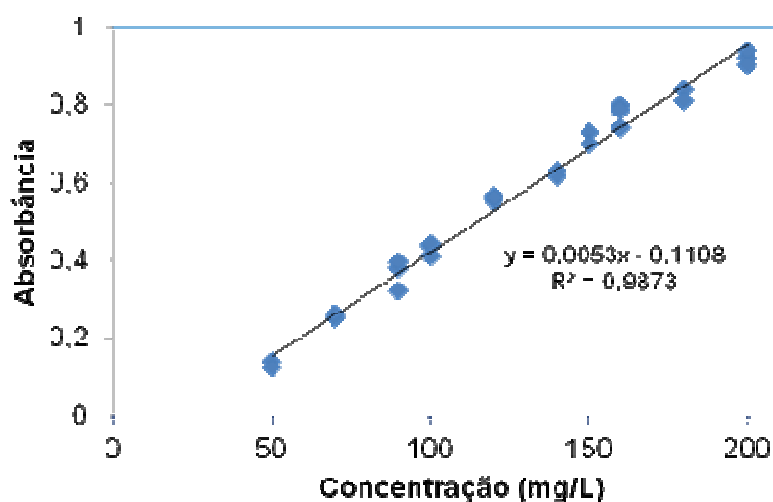
Figura 9 - Espectro de absorção das soluções cromo-EDTA em meio tamponado com pH 5



FONTE: Própria, 2013.

As características da coloração levemente violeta e conseqüentemente do produto da reação, a existência de picos característicos e absorbância não significativa do produto utilizado como “branco” (H₂O), direcionaram a escolha do comprimento de onda 547 nm como valor padrão para realizar as medições. Na Figura 10 pode ser observada a curva de calibração para diversas concentrações de cromo complexadas com EDTA, feita a 547 nm.

Figura 10 - Curva de calibração para diversas concentrações do complexo Cromo-EDTA.



FONTE: Própria, 2013.

O método mostrou-se preciso, apresentando coeficientes de variação pequenos para as determinações das concentrações de cromo dentro dos limites de validade dos dados experimentais.

5.4.2 Cinética de adsorção

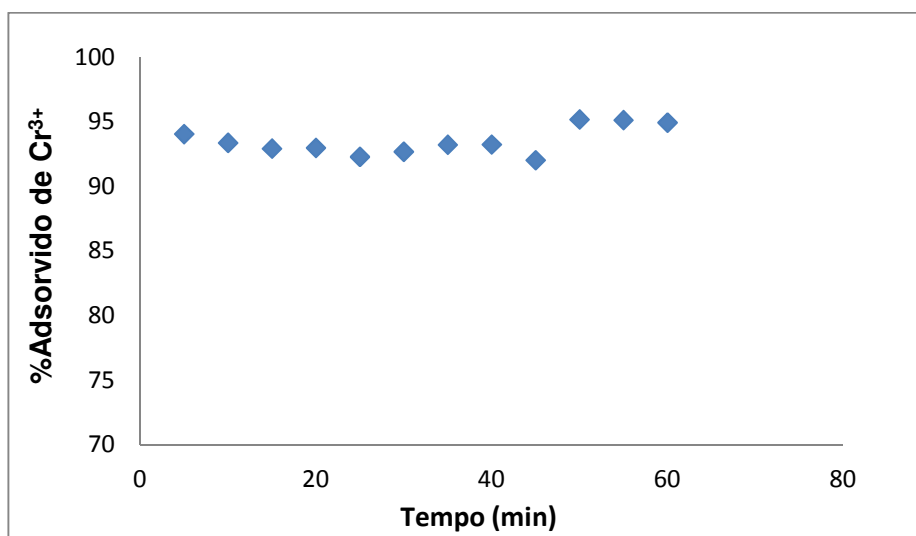
Os experimentos foram realizados seguindo todo o procedimento descrito anteriormente. Foram obtidos os resultados para a cinética de adsorção do cromo (Cr^{3+}) em bagaço de cana, que estão apresentados na Figura 11, no qual se teve uma solução com concentração inicial de 1000 ppm em nitrato de Cromo. O intervalo de tempo entre as medidas iniciais foi de 5 minutos. Entretanto, já no primeiro tempo de observação foi constatado que uma quantidade expressiva do metal encontra-se adsorvida.

Tal comportamento de cinética rápida dificultou o acompanhamento do fenômeno de adsorção e representa um desafio no sentido de obterem-se resultados em tempos muito pequenos para estudos da modelagem e ajuste de modelos matemáticos descritivos.

A porcentagem de adsorção apresentada na Figura 11, foi calculada estabelecendo uma relação entre as concentrações iniciais (C_i) e as concentrações finais da fase fluida (C_f), representada pela Equação 1.

$$\% \text{ adsorvido} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$$

Figura 11 - Percentual de Cr^{3+} removido por adsorção em bagaço de cana de açúcar, no tempo de 60 minutos



FONTE: Própria, 2013.

Nos estudos cinéticos da adsorção um fator que se destacou foi à rapidez com que os contaminantes são adsorvidos pela biomassa. Devido a essa rapidez de adsorção, tem-se uma dificuldade no acompanhamento do fenômeno de adsorção e representa um desafio no sentido de obterem-se resultados em tempos muito pequenos para os estudos da modelagem e ajuste de modelos matemáticos descritivos. Entretanto esse fator acarreta uma vantagem adicional para o uso da biomassa, a fácil adsorção do cromo através do bagaço da cana de açúcar diminui o tempo do processo, reduz os custos operacionais de implantação e dimensionamento, potencializando as aplicações em grande escala.

Através dos estudos foi possível identificar que a biomassa teve a capacidade de aproximadamente 95% de adsorção do Cromo III, sendo assim um indicativo de que o processo é vantajoso e economicamente viável, tornando-se promissor para utilização em grande escala. A biossorção do cromo ocorre principalmente devido a sua elevada carga eletrostática ($3+$), que possibilita

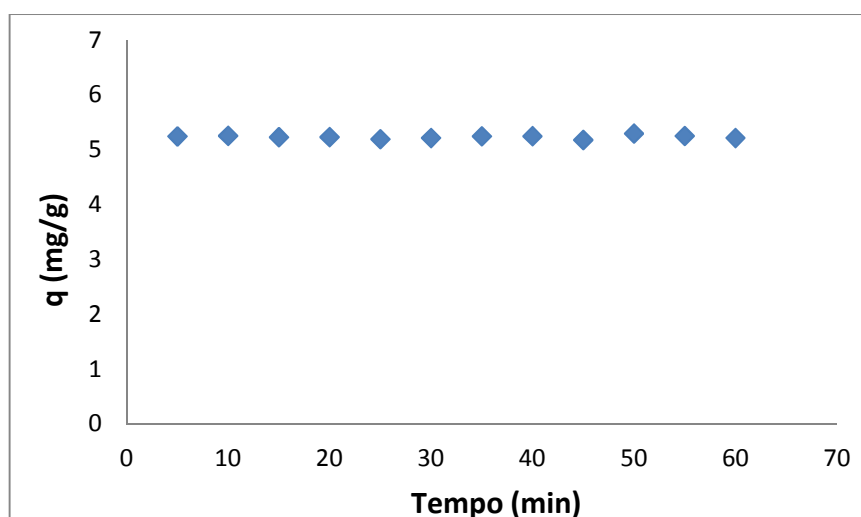
interação com outros sítios do adsorvente. Estudos semelhantes a esse através de adsorção com biomassa para metais pesados também apresentam resultados satisfatórios e parecidos, como o caso de SILVA (2012) com adsorvente de casca de tangerina adsorvendo 95% de chumbo e o de SILVA (2012) adsorvendo cerca de 40% de cromo com bagaço de cana-de-açúcar.

Na Figura 12 os resultados foram apresentados em termo da relação entre a massa adsorvida e a quantidade da biomassa adsorvente. De maneira que complementa as informações obtidas para a cinética de adsorção do cromo. O gráfico permite observar a progressão do processo de adsorção sob o foco da quantidade adsorvida do metal por unidade de massa adsorvente (q), parâmetro indicativo da capacidade adsortiva da biomassa.

A quantidade do metal adsorvido q (mg/g), apresentado na Figura 12, foi calculada subtraindo-se a concentração da solução inicial C_i (mg/L) da solução final C_f (mg/L) multiplicando o valor obtido pelo volume da solução V e dividindo pela massa do adsorvente, conforme expresso pela Equação 2:

$$q = \frac{(c_i - c_f) \times v}{m}$$

Figura 12 - Cinética de adsorção de Cr^{3+} em bagaço de cana de açúcar, partindo de uma solução com concentração inicial de 1000 ppm



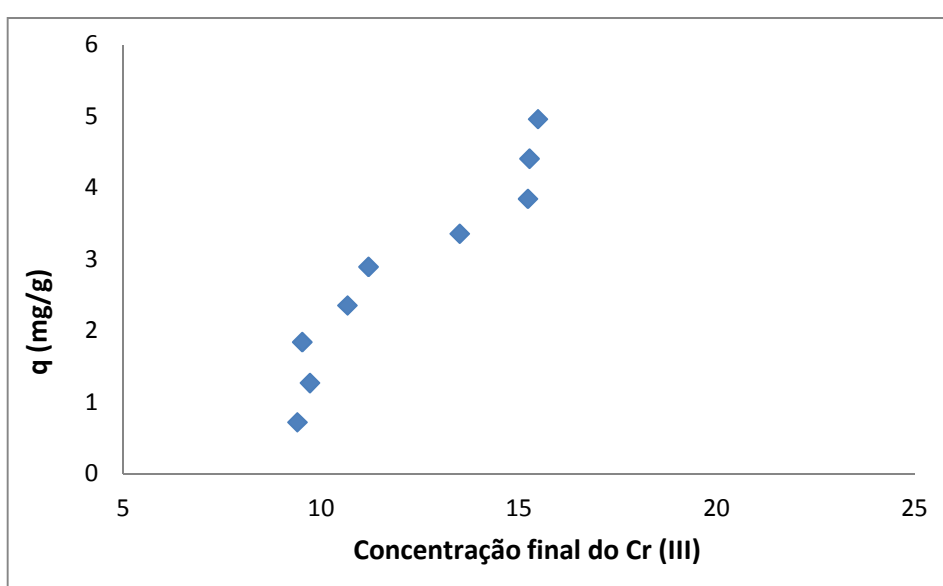
FONTE: Própria, 2013.

Os resultados da cinética de adsorção assemelham-se com a de SILVA (2012), que trabalhou com o mesmo adsorvente e contaminante em estudo, e que obteve uma cinética constante.

5.4.3 Isotermas de Equilíbrio

A relação entre a quantidade do soluto adsorvido por unidade de massa de sólidos e sua concentração na fase fluida em equilíbrio, à temperatura constante é dada por uma isoterma de equilíbrio da adsorção. A Figura 13 ilustra graficamente essa relação.

Figura 13 - As isotermas de equilíbrio utilizando bagaço de cana para a adsorção dos metais Cr^{+3}



FONTE: Própria, 2013.

Os dados de equilíbrio de adsorção não se ajustaram satisfatoriamente ao modelo da isoterma de Langmuir. Este era um resultado esperado porque o modelo de Langmuir se fundamenta na adsorção sobre uma superfície com sítios ativos idênticos e energeticamente uniformes, e essas características não se enquadram para biomassas naturais, pois as mesmas não apresentam uniformidade nos seus sítios ativos. Entretanto o modelo empírico de Freundlich teve-se um melhor ajuste em relação às isotermas obtidas no equilíbrio, o que já era esperado, pois esse modelo tem como base a adsorção sobre uma superfície heterogênea.

Conforme ilustrado, observa-se que a isoterma assemelha-se com a do tipo II da classificação de BET, descrita para sistemas nos quais a quantidade adsorvida tende a um valor infinito, relativo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, de ocorrência prevista para sólidos não porosos ou macroporosos, o

que entendesse que além de ser adsorvido o cromo nos poros da biomassa, também foi adsorvido entre as partículas granulométricas.

5.4.4 Sistema de adsorção em coluna de leito fixo

O sistema de adsorção em leito fixo consiste em um recipiente com 1,5L de solução contaminada (1000 mg/L), acoplado a uma bomba com a função de bombear todo o fluxo da solução, passando pela coluna de leito fixo e retornando ao recipiente inicial, desta maneira proporcionando um sistema contínuo de tratamento. A Figura 14 mostra o sistema por completo do processo de adsorção em leito fixo.

Figura 14 - Sistema de adsorção em coluna de leito fixo



FONTE: Própria, 2013.

O contato da solução contaminante de Cr^{3+} com a biomassa de bagaço de cana-de-açúcar proporciona o empacotamento da mesma, fazendo com que a altura passe de 14,5 cm (altura da coluna) para 7,3 cm, mantendo-se essa altura constante em todo o período de experimentos para a vazão de 35ml/min e para a vazão de 39ml/min a altura do empacotamento foi de 7,8 cm. Na Figura 15 é constatado o empacotamento do leito.

Figura 15: Empacotamento da biomassa na coluna de leito fixo

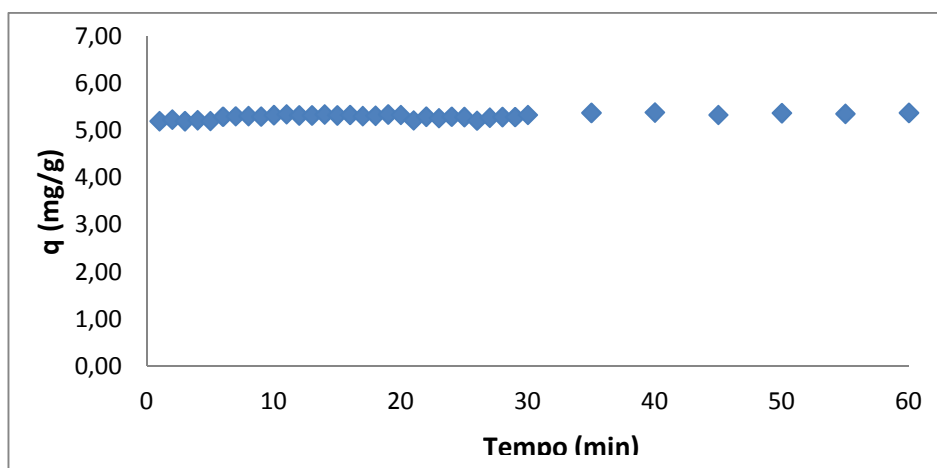


FONTE: Própria, 2013.

5.4.4.1 Isotermas de adsorção em coluna de leito fixo

Foram obtidas curvas de ruptura variando-se a vazão e a altura do empacotamento, mantendo-se fixo a concentração inicial do contaminante, a massa do adsorvente. A Figura 16 mostra a curva de ruptura da adsorção do cromo com a vazão fixa em 39mL/min.

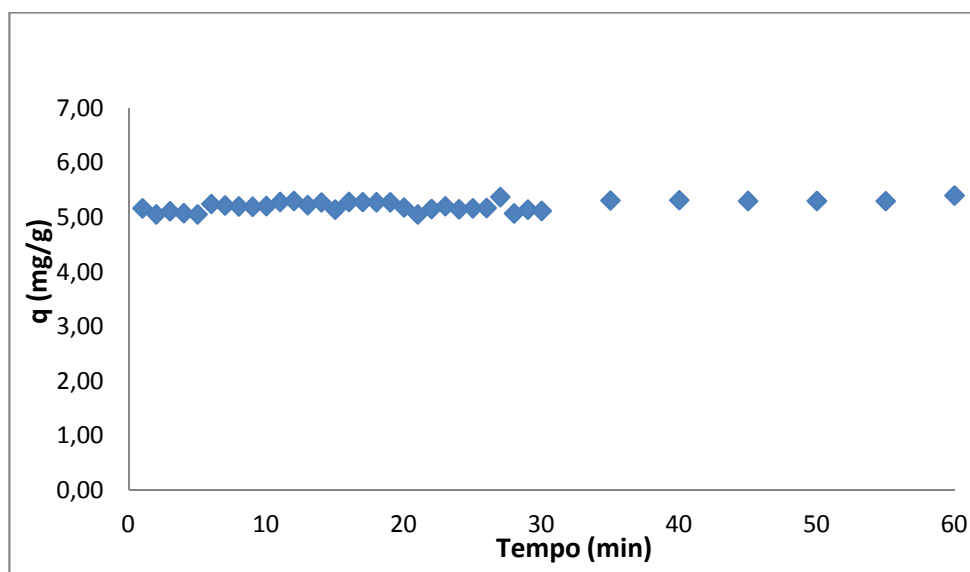
Figura 16 - Curva de ruptura para a adsorção de Cr^{3+} em bagaço de cana de açúcar, partindo de uma solução com concentração inicial de 1000 ppm, com a vazão de 39mL/min



FONTE: Própria, 2013.

Na Figura 17 é exposto a curva de ruptura para a adsorção do metal pesado em questão, com a vazão menor que a anterior, de apenas 35mL/min.

Figura 17 - Curva de ruptura para a adsorção de Cr^{3+} em bagaço de cana de açúcar, partindo de uma solução com concentração inicial de 1000 ppm, com a vazão de 35mL/min

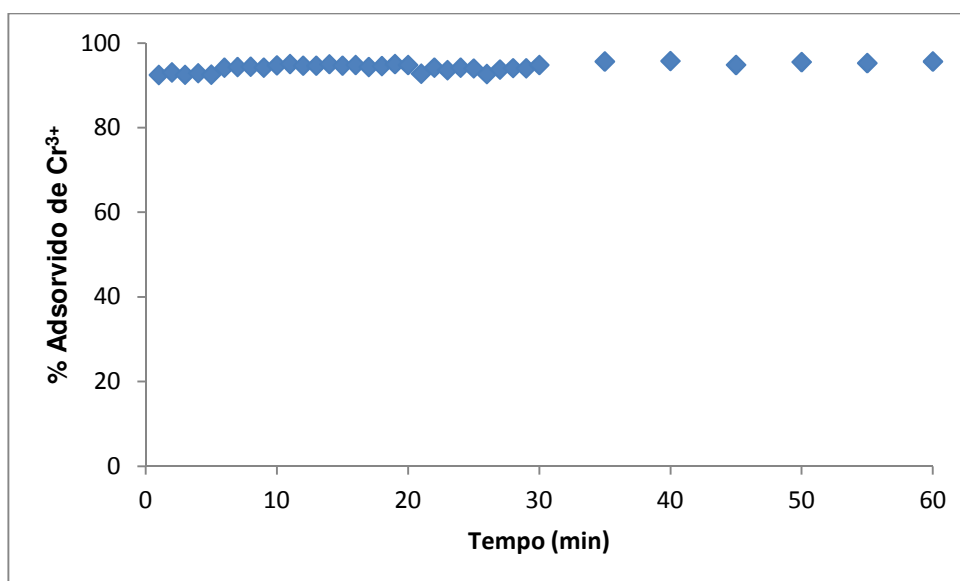


FONTE: Própria, 2013.

Foi possível observar que as curvas de ruptura assemelham-se com a curva cinética obtida com o mesmo adsorvente e concentração inicial de 1000 ppm no estudo em questão, assim consequentemente assemelhando-se ao estudo de SILVA (2012). Comparando com os resultados obtidos por SILVA (2007), que utilizou o bagaço da cana de açúcar para adsorver hidrocarbonetos, encontra-se o mesmo desempenho na rapidez de adsorção desta biomassa, pois em cerca de 95s o sistema entra em equilíbrio de adsorção da solução contaminante com 2% de hexano, 2% de heptano e 8% iso-octano.

A Figura 18 apresenta o percentual de remoção do metal pesado com o bioadsorvente no leite fixo tendo a vazão constante em 39mL/min.

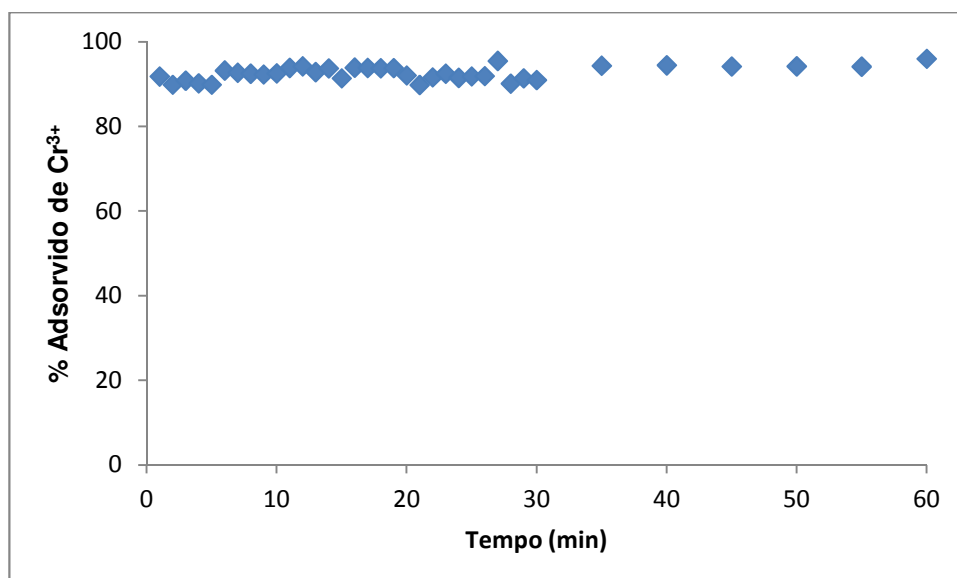
Figura 18 - Percentual de Cr^{3+} removido por adsorção em bagaço de cana de açúcar em coluna de leito fixo, para a vazão de 39mL/min



FONTE: Própria, 2013.

Na Figura 19 o percentual de remoção do cromo para a coluna de leito fixo varia apenas a vazão para 35mL/min, mantendo-se a mesma concentração inicial do estudo anterior.

Figura 19 - Percentual de Cr^{3+} removido por adsorção em bagaço de cana de açúcar em coluna de leito fixo, para a vazão de 35mL/min



FONTE: Própria, 2013.

Nos experimentos em coluna de leito fixo foi comprovada uma boa eficiência em relação às duas vazões, tendo-se o diferencial que a maior vazão obteve-se um maior percentual de adsorvido do cromo, entendendo-se que quanto mais circular a solução contaminante pelo sistema, menor será a concentração do contaminante na solução. Após no período de uma hora observou-se que a solução restante do sistema de adsorção teve a quantidade removida de cromo para a vazão de 35mL/min foi de 87% e na vazão de 39mL/min foi adsorvido 90%. Desenvolveu-se também um estudo em relação o pH resultante após o processo de adsorção e notou-se que há uma pequena variação apenas, tendo-se o pH inicial de 3,0 e finalizando em torno de 2,7.

Os resultados obtidos até o momento apontam para a versatilidade e grandes possibilidades da utilização das biomassas naturais, com ênfase o bagaço da cana de açúcar, para a utilização de tratamento de efluentes, e outras iniciativas tecnológicas que podem ser desenvolvidas, motivadas pela eficiência e baixo custo desse tipo de adsorvente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cuidado para com o descarte de resíduos químicos oriundos de laboratórios de ensino de química é antes de tudo, um compromisso moral para com a sociedade. Faz-se necessário, então, a conscientização e a mobilização da sociedade civil para exigir que esta situação cômoda da qual desfrute os pequenos geradores de resíduos, tais como instituições de ensino e de pesquisa, laboratórios de análises bioquímicas e físico-químicas, seja revertida, requerendo para estas atividades o mesmo grau de exigências que o Estado dispensa para os grandes geradores.

Pode-se acrescentar que através da sistemática de gerenciamento dos resíduos gerados nas instituições de ensino, os profissionais da área de química podem adquirir uma consciência ética com relação ao uso e descarte de produtos com vistas à preservação ambiental.

Em relação ao tratamento de efluente, o bagaço de cana de açúcar mostrou-se eficiente para a adsorção dos íons metálicos de Cr^{+3} , removendo cerca de 90% da concentração inicial. Desta maneira é comprovada a eficiência e aplicabilidade deste adsorvente. O bagaço da cana-de-açúcar, além de ser bastante eficaz é um resíduo de grande abundância na natureza, de fonte renovável, com um custo baixíssimo e biodegradável, tornando-se um material de grande interesse para a aplicação industrial. Entretanto para sua viabilização faz-se necessário mais alguns estudos em relação a influência do pH, a interferência de outros metais, agentes complexantes e agentes salinos bem como, os testes preliminares em escala piloto.

REFERÊNCIAS

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, v.26, n.4, p.1- 16, 2003.

AGUIAR, M. R. M. P. de e NOVAES, A. C. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos.** Quím. Nova vol.25 no.6b São Paulo Nov./Dec. 2002.

ALBERTINI, S; CARMO, L. F.; PRADO FILHO, L. G. **Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio.** Ciênc. Tecnol. Aliment. vol.27 no.1 Campinas Jan./Mar. 2007.

AMORIM, M. C. e LUCAS, E. F. Uso de polímeros na remoção de metais pesados. **Revista de Química industrial**, n. 715, p. 32 – 37, 1999.

BAIRD, C. **Química Ambiental.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 622p.

BARBOSA, Vanessa de Casto. **Auditoria de prevenção e gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de análise de água.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 2009.

BATISTA, T. S.; LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; BARROS, T. R. B.; LIMA, V. E. de. **Remoção de chumbo(II) em efluentes utilizando diferentes biomassas adsorventes.** Revista ENECT - Encontro nacional de educação, ciência e tecnologia/UEPB, 2012. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_104.pdf, acessado em 03 de março de 2014.

BENDASSOLLI, José Albertino. **Normas e procedimentos para implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos.** Piracicaba – SP, 2012. Disponível em [:http://apostilas.cena.usp.br/Bertinho/Concurso_2012/CAPITULO%20II%20FINAL%20GERENCIAMENTO%202011.pdf](http://apostilas.cena.usp.br/Bertinho/Concurso_2012/CAPITULO%20II%20FINAL%20GERENCIAMENTO%202011.pdf), acessado em 28 de julho de 2012.

BENIGNO, A. P. A.; LIMA, E. D. de S.; BOTERO, W. G.; SANTOS, J. C. C.; ROLDAN, P. dos S. e OLIVEIRA, P. C. C. de. **Programa de gerenciamento de resíduos químicos no laboratório de química analítica do iqb/ufal: uma aplicação da química verde.** Revista científica do IFAL – n. 1, v. 1 – Jul./dez. 2010.

BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; CANTANHEDE, S. C. S.; SANTANA, S. A. A.; FARIAS, R. F.; SCHULTZ, M. S. **Adsorção de Ni²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ em Sílica-titânia organofuncionalizada.** Revista: Química no Brasil – v. 1, nº 2 – Jul./dez. 2007.

CASTELLAN G. 1986. **Fundamentos de Físico-Química.** Rio de Janeiro:LTC, 527p. Cap. 18: Fenômenos de superfície.

CHAVES, J. A. P.; SOUSA, A. G.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; SANTANA, S. A. A.; VIEIRA, A. P.; SCHULTZ, M. S. **Isotermas de adsorção de diferentes corantes têxteis sobre quitosana**. Revista: Química no Brasil – v. 2, nº 1 – Jan./jun. 2008.

CHAVES, K. O.; MONTEIRO, C. R. L.; MUNIZ, C. R.; GOMES, R. B., BUARQUE, H. L. B. **Adsorção de índigo carmim em biomassas mortas de *aspergillus niger***, Eng. Sanit. Ambient. vol.13 n.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2008.

FORNAZZARI, Isis Mariane e STIIRMER, Júlio César. **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.

FORTI, M. C. e ALCAIDE, R. L. M. **Normas de procedimentos para separação, identificação, condicionamento e tratamento de resíduos químicos do laboratório de aerossóis, soluções aquosas e tecnologias – LAQUATEC**. INPE, São José dos Campos, 2011.

HENRIQUE JÚNIOR, S. S.; MONTEIRO, M. I. C.; Silva, L. I. D. da; ALCOVER NETO, A.; CARNEIRO, M. C. **Especiação de cromo usando método espectrofotométrico e análise multicomponente**. XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e no VII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology - Ouro Preto - Novembro de 2007.

JARDIM, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa**. Química Nova, nº 21, v. 5, p. 671 - 673. 1998.

JARDIM, W.F. **Cartilha para implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos**. Laboratório de Química Ambiental (LQA), Instituto de Química / UNICAMP, São Paulo, 2001.

LASSALI, T. A. F. **Gerenciamento de Resíduos Químicos - Normas e Procedimentos para Passivos Químicos**. Universidade de São Paulo, Prefeitura do Campus Administrativo de Ribeirão Preto. [online]. 2012. Pag1-32, Disponível em: http://www.pcarp.usp.br/pages/lrq/pdf/normas_gerenciamento.pdf. Acessado em 18 de fevereiro de 2012.

LENARDÃO, E.J.; FREITAS, R.A.; DABBOUB, M.J.; BATISTA, A.C.F.; SILVEIRA, C.C. **“Green Chemistry” – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa**. Química Nova, São Paulo, v.26, n.1, p.123-129, 2003.

LIMA, P. C. G.; LIMA, V. A. de L. **Gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior**. Quím. Nova vol.31 n.6 - São Paulo 2008.

LIMA, V. E. de; LIRA, T. K. B.; SCHEIBLER, J. R. e SOUZA, J. S. de B.. **Gestão e meio ambiente nos laboratórios de ensino de química**. 8vo Congreso Internacional de educación superior – Havana-Cuba, 2012.

LIRA, T. K. B.; BARROS, T. R. B.; BATISTA, T. S.; SOUZA, J. S. de B.; ALMEIDA, A. Z. F.; LIMA, V. E. de. **Resíduos químicos gerados em laboratórios didáticos: diagnóstico para uma gestão responsável.** III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina – GRAL 2013. Disponível em: http://gral.eng.br/g/images/easyblog_images/73/RESDUOS-QUMICOS-GERADOS-EM-LABORATRIOS-DIDTICOS-DIAGNSTICO-PARA-GESTO-RESPONSVEL-GRAL2013.pdf, acessado em 01 de fevereiro de 2014.

LIRA, T. K. B.; BATISTA, T. S.; ALMEIDA, A. Z. F.; SOUZA, J. S. de B.; LIMA, V. E. de. **Princípios de gestão e conservação ambiental aplicados aos laboratórios de ensino experimental de química.** Revista ENECT - Encontro nacional de educação, ciência e tecnologia/UEPB, 2012. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_84.pdf, acessado em 03 de março de 2014.

LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; SCHEIBLER, J. R. e LIMA, V. E. de. **Gerenciamento nos laboratórios de ensino de química: um caminho para a sustentabilidade.** Revista Brasileira de ensino de química, v. 7, n. 1 – 2012.

LISBOA, F. C.; OLIVEIRA, V. M. F.; RESENDE, M. M.; ROMANIELO, L. L. **Avaliação do uso de bagaço de cana na adsorção de proteína e lactose do soro do leite.** In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 27 a 30 jul. 2009.

MACHADO, G. O. **Preparação e caracterização de CMC e CMC grafitizada,** 2000, 101p (Dissertação de mestrado) Instituto de Química de São Carlos, 101p. 2000.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental.** São Paulo: Produquímica, 1994, 153p.

MARINHO, C. C.; BOZELLI, R. L. e ESTEVES, F. de A. **Gerenciamento de resíduos químicos em um laboratório de ensino e pesquisa: a experiência do laboratório de limnologia da UFRJ.** SCIELO - volume 36, número 2, 2011.

MARTINS, Luciene. **Gerenciamento de resíduos laboratoriais em pequenas unidade geradoras – fase I (diagnóstico, rotulagem e minimização).** 16º Congresso de Iniciação Científica, UNIMEP. 2008. Disponível em: <http://www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/6mostra/1/216.pdf>, acessado em 28 de julho de 2012.

MELLO, Valdicleide Silva. **Proposta de Gerenciamento de Resíduos Perigosos em Laboratórios Acadêmicos.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, 2010.

MICARONI, R. C. da C. M.; BUENO, M. I. M. S. e JARDIM, W. de F. **Gestão de Resíduos em Laboratórios do Instituto de Química da UNICAMP,** tese de doutorado, 2002. Disponível em: <http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtIs000448350.pdf>, acessado em 29 de julho de 2012.

Ministério do Meio Ambiente, Conselho nacional do meio ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>, acessado em 09 de fevereiro de 2014.

MORAIS, V. L. M. **Purificação de efluentes contaminados com hidrocarbonetos por adsorção em leito fixo de biomassa.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Paraíba, 2005.

MOREIRA, R. F. P.; HUMBERTO, J. J.; SOARES, J. L. **Isotermas de Adsorção de Corantes sobre Carvão Ativado.** II Encontro Brasileiro de Adsorção – II EBA, Florianópolis – SC, 85-91, 2000.

NAGATA, D. T.; GENEROSO, J. de S.; LIMA, K. R.V., **Construção de filtro para adsorção de metais utilizando biomassa.** Revista Eletrônica de Educação e Tecnologia do SENAI-SP. ISSN: 1981-8270. ed. esp., ago. 2010.

NOGUEIRA, M.; NASCIMENTO, R. **Adsorção de fenol e nitrofenóis em solução aquosa usando bagaço da casca de coco como adsorvente.** Anais do Congresso: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa, PB – 2007.

PACCA, S. A., ANANIAS, E. A., **Tecnologias Ambientais para Curtumes e sua Adequação como Projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL),** Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change, São Paulo, maio de 2009.

PAIM, C.P.; PALMA, E.C.; EIFLER-LIMA, V.L. **Gerenciar resíduos químicos: uma necessidade.** *Caderno de Farmácia*, v. 18, n. 1, p. 23-31, 2002.

PENATTI, F. E.; GUIMARÃES, S. T. L. G. e SILVA, P. M. da. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de análises e pesquisa: o desenvolvimento do sistema em laboratórios da área química.** Anais do IV Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. IV, 2008.

RUTHVEN, D. M. **Adsorption – Theory & Practice.** Fortaleza - CE, 1996.

SANTOS V. C. G.; FERRAREZI J. G.; DRAGUNSKI, D. C. **Modificação química do bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de chumbo e cromo.** In: 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Águas de Lindóia, SP: 26 a 29 maio, 2008.

SANTOS, José Cleiton Sousa dos; PAZ, Mário Sérgio de Oliveira; BENIGNO, Ana Paula Aquino. **Programas de gerenciamento de resíduos químicos em universidades brasileiras.** V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação – V CONNEPI, 2010. Disponível em: <http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/conteudo/anais/files/conferences/1/schedConfs/1/papers/1910/public/1910-5811-1-PB.pdf>, acessado em 02 de fevereiro de 2014.

SCHEER, A. P.; MEIEN, O. F.; VASCO DE TOLEDO, E. C.; MACIEL, F. R.; WOLF, M.M. **A adsorção de misturas líquidas e seu tratamento por métodos numéricos.** III Encontro Brasileiro de Adsorção , Recife pp. 332-348, 2002.

SCHILLING, G. E. M.; ZENY, A. S.; BAPTISTA, M, V. da S. **Auditorias de redução de resíduos.** In: Associação Brasileiras de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES 1999. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 3, Rio de Janeiro, 10-14 mai. 1999.

SILVA, A. F.; SOARES, T. R. dos S.; AFONSO, J. C. **Gestão de Resíduos de Laboratório: Uma Abordagem para o Ensino Médio**, 2009. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc32_1/08-PE-9208.pdf. Acessado em 18 de fevereiro de 2012.

SILVA, H. R. G. da; DINIZ, J. F.; SILVA, J. Y. R. da; SILVA, A. M. da; LIMA, V. E. da. **Processos adsorptivos aplicados à descontaminação ambiental: estudo da viabilidade do uso de biomassas adsorventes na remoção de metais pesados em efluentes líquidos.** Revista ENECT - Encontro nacional de educação, ciência e tecnologia/UEPB, 2012. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster_691.pdf, acessado em 02 de março de 2014.

SILVA, P. H. O. da; TORRES, M. G. L.; BATISTA, M. da S. e VIEIRA, F. T. **Gestão de resíduos químicos gerados rotineiramente em aulas experimentais.** RCTVM, 2011. Disponível em: <http://www.rctvm.com.br/pdf/rctvm18.pdf>, acessado em 28 de julho de 2012.

SILVA, V. L. M.; GOMES, W. C.; ALSIMA, O. L. S. **Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2, 1 (2007) PAG. 27-32.

SOUZA, J. S. de B.; LIRA, T. K. B.; LIMA, B. T. da S. e LIMA, V. E. de. **Noções de gestão ambiental aplicadas aos laboratórios químicos acadêmicos e de pesquisa.** Disponível em: <http://annq.org/eventos/upload/1330233202.pdf>, acessado em 28 de julho de 2012.

TORRESI, S. I. C. de; PARDINI, V. L.; FERREIRA, V. F. **O lucro de alguns com degradação ambiental é prejuízo para todos.** Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 2. 2009, p. 275.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos.** 20º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 1999.

YAMAURA, M.; COSTA, C. H.; COTRIM, M. E. B.; PIRES, M. A. F., 2008. **Avaliação de um Resíduo Agroindustrial como Biossorvente para Remoção de Íons Ni²⁺,** In: Safety Health and Environmental World Congress – SHEWC 2008, Rio de Janeiro - RJ.

APÊNDICE A – TRABALHOS PUBLICADOS PELA AUTORA NA TEMÁTICA GESTÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIOS

BATISTA, T. S.; LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; ALMEIDA, A. Z. F.; LIMA, V. E. de. **Remoção de cromo(III) em efluentes utilizando casca de tangerina como biomassa adsorvente.** 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – 2013.

BATISTA, T. S.; LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; BARROS, T. R. B.; LIMA, V. E. de. **Remoção de chumbo(II) em efluentes utilizando diferentes biomassas adsorventes.** Revista ENECT - Encontro nacional de educação, ciência e tecnologia/UEPB, 2012. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_104.pdf, acessado em 03 de março de 2014.

LIMA, V. E. de; LIRA, T. K. B.; SCHEIBLER, J. R. e SOUZA, J. S. de B.. **Gestão e meio ambiente nos laboratórios de ensino de química.** 8vo Congreso Internacional de educación superior – Havana-Cuba, 2012.

LIMA, V. E. De; SANTOS, V. D. Dos; LIRA, T. K. B.; LIMA, B. T. da S.; SCHEIBLER, J. R.; SOUZA, J. S. de B.; SOUSA, L. S. A. DE; SOUTO, Y. M. **Gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes gerados em laboratórios de química utilizando processo de adsorção.** 3º Congresso de Pós-Graduação e Pesquisa / 18º Encontro de Iniciação Científica , 2011.

LIRA, T. K. B.; BATISTA, T. S.; ALMEIDA, A. Z. F.; SOUZA, J. S. de B.; LIMA, V. E. de. **Princípios de gestão e conservação ambiental aplicados aos laboratórios de ensino experimental de química.** Revista ENECT - Encontro nacional de educação, ciência e tecnologia/UEPB, 2012. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_84.pdf, acessado em 03 de março de 2014.

LIRA, T. K. B.; BATISTA, T. S.; SOUZA, J. S. de B.; LIMA, V. E. de. **Estudos da adsorção em leito fixo de biomassas adsorventes como proposta para tratamento dos efluentes gerados em laboratórios químicos.** 1º Congresso universitário da UEPB - 2013. Disponível em: http://www.congressouepb-prpgp.com.br/documentos/pibic_2012_2013/engenharias.pdf, acessado em 03 de março de 2014.

LIRA, T. K. B.; BARROS, T. R. B.; BATISTA, T. S.; SOUZA, J. S. de B.; ALMEIDA, A. Z. F.; LIMA, V. E. de. **Resíduos químicos gerados em laboratórios didáticos: diagnóstico para uma gestão responsável.** III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina – GRAL 2013. Disponível em: http://gral.eng.br/g/images/easyblog_images/73/RESDUOS-QUMICOS-GERADOS-EM-LABORATRIOS-DIDTICOS-DIAGNSTICO-PARA-GESTO-RESPONSVEL-GRAL2013.pdf, acessado em 01 de fevereiro de 2014.

LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; SCHEIBLER, J. R. e LIMA, V. E. de. **Gerenciamento nos laboratórios de ensino de química: um caminho para a sustentabilidade.** Revista Brasileira de ensino de química, v. 7, n. 1 – 2012.

LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. de B.; SCHEIBLER, J. R. e LIMA, V. E. de. **Gerenciamento nos laboratórios de ensino de química: um caminho para a sustentabilidade.** 2º Congresso Químico do Brasil, 2012. Disponível em: <http://annq.org/eventos/upload/1339379402.pdf>, acessado em 03 de março de 2014.

SCHEIBLER, J. R.; SOUZA, J. S. de B.; LIRA, T. K. B.; LIMA, V. E. de. **Gestão e meio ambiente nos laboratórios de ensino de química: um caminho para a sustentabilidade.** Encontro Paraibano de Educação, Desenvolvimento e Sustentabilidade, 2011.

SOUZA, J. S. de B.; LIRA, T. K. B.; BARROS, T. R. B.; LIMA, V. E. de. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios do ensino de química: uma questão ambiental.** 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – 2013.

SOUZA, J. S. de B.; LIRA, T. K. B.; LIMA, B. T. da S. e LIMA, V. E. de. **Noções de gestão ambiental aplicadas aos laboratórios químicos acadêmicos e de pesquisa.** 2º Congresso Químico do Brasil, 2012. Disponível em: <http://annq.org/eventos/upload/1330233202.pdf>, acessado em 28 de julho de 2012.