

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

REGINA CELIA GAGLIARDO

**A INSERÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCIONAIS EM AULAS EXPERIMENTAIS DE
QUÍMICA ORGÂNICA NA GRADUAÇÃO: UMA ABORDAGEM SOB A LUZ DA
TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Rio de Janeiro

2022

REGINA CELIA GAGLIARDO

**A INSERÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCIONAIS EM AULAS EXPERIMENTAIS DE
QUÍMICA ORGÂNICA NA GRADUAÇÃO: UMA ABORDAGEM SOB A LUZ DA
TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Química,
Universidade Federal do Rio de Janeiro, para a
obtenção do título de Mestre em Ensino de Química.**

Orientadores:

Prof^a. Dra. Paula Macedo Lessa dos Santos

Prof. Dr. José Celestino de Barros Neto

Rio de Janeiro

2022

CIP - Catalogação na Publicação

GG135i Gagliardo, Regina Celia
A INSERÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCCIONAIS EM AULAS
EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA ORGÂNICA NA GRADUAÇÃO: UMA
ABORDAGEM SOB A LUZ DA TEORIA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA / Regina Celia Gagliardo. -- Rio de
Janeiro, 2022.
106 f.

Orientadora: Paula Macedo Lessa dos Santos.
Coorientador: José Celestino de Barros Neto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Química, Programa de Pós
Graduação em Ensino de Química, 2022.

1. ENSINO DE QUÍMICA. 2. APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA. 3. QUÍMICA VERDE. I. dos Santos,
Paula Macedo Lessa, orient. II. Neto, José
Celestino de Barros, coorient. III. Título.

REGINA CELIA GAGLIARDO

Aprovada em:

Prof. Dra. Paula Macedo Lessa dos Santos

Prof. Dr. José Celestino de Barros Neto

Jussara L. de Miranda

Magaly Girao Albuquerque

Rio de Janeiro

2022

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, por estarem sempre junto a mim nos momentos que eu mais necessito.

AGRADECIMENTOS



Agradeço à minha família e aos amigos por estarem sempre me apoiando nos momentos que necessito.

Aos técnicos dos laboratórios de graduação do Departamento de Química Orgânica, da Universidade federal do Rio de Janeiro.

As amigas Luiza Lira de Melo, Amanda Aparecida B. Ferreira e Hyume M. Brito.

Ao Departamento de Química Orgânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que colaborou me permitindo a aplicação das atividades nas aulas experimentais e fornecendo os reagentes necessários para viabilizar a minha pesquisa.

Aos professores regentes das turmas de Química Orgânica Experimental (Nanci Garden, Magaly Girão Albuquerque, Camilo Henrique da Silva Lima) e aos seus alunos, que generosamente contribuíram para o desenvolvimento das atividades propostas.

A todos os professores do Mestrado em Ensino de Química, que nos ensinam com tanta dedicação e amor.

À minha orientadora Paula M. Lessa dos Santos e ao meu coorientador José C. Barros Neto por me acolher, me encorajar, e estarem disponíveis para tirar as dúvidas,

Aos membros da banca examinadora, que acataram gentilmente meu convite para a avaliação deste trabalho.

“Agir com sabedoria assegura o sucesso”.

Eclesiastes 10:10b

RESUMO

GAGLIARDO, Regina Celia. A inserção de materiais instrucionais em aulas experimentais de Química Orgânica na graduação: uma abordagem sob a luz da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Os materiais instrucionais são recursos didáticos que podem ser potencialmente significativos e facilitar a aprendizagem dos estudantes. De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), o material pedagógico deve ter significado para o estudante e é, portanto, um processo idiossincrático. A presente pesquisa objetivou investigar a relevância de um material potencialmente significativo a ser adotado nas aulas experimentais de Química Orgânica para estudantes de graduação e o desenvolvimento de um material instrucional alinhado aos princípios da Química Verde (QV). A pesquisa de opinião foi realizada junto aos estudantes dos cursos de Engenharia Química e de Farmácia. A aplicação do novo roteiro desenvolvido sobre Cromatografia em Camada Fina foi realizada numa aula de Química Orgânica Experimental-I, do Departamento de Química Orgânica, do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A aula experimental foi constituída por quatro momentos: leitura do roteiro, aplicação de um questionário para o levantamento dos conhecimentos prévios dos discentes e confecção de um diagrama, realização do experimento e, no quarto momento, os estudantes fizeram um segundo fluxograma. Durante esta atividade, foi possível perceber uma melhora na desenvoltura na elaboração deste, revelando que os alunos conseguiram acrescentar mais informações e interligar os blocos de ações conceituais. A análise comparativa dos dois fluxogramas realizados por cada discente apontou para uma aquisição dos novos conhecimentos. A roteirização prévia, alinhada ao uso do fluxograma pode ter contribuído para uma aprendizagem significativa. A adequação do experimento ao princípio nº 05 da QV apresentou um ótimo resultado.

Palavras-chaves: Ensino de Química, Aprendizagem Significativa, Química Verde.

ABSTRACT

Instructional materials are teaching resources that can be potentially meaningful thus facilitating student learning. According to the Theory of Meaningful Learning (TML), the pedagogical material must have meaning for the student and is, therefore, an idiosyncratic process. The present research aimed to investigate the relevance of a potentially significant material to be adopted in experimental classes of Organic Chemistry for undergraduate students and the to develop an instructional material aligned with the principles of Green Chemistry (GC). The opinion poll was carried out with students from Chemical Engineering and Pharmacy courses. The application of the new instruction notes developed on Thin Layer Chromatography was carried out in a class of Experimental Organic Chemistry-I, at the Department of Organic Chemistry, at the Institute of Chemistry Institute at the Universidade Federal do Rio de Janeiro. The experimental class consisted of four moments: reading the script, applying a questionnaire to gather the students' previous knowledge making a diagram, performing the experiment and, ultimately, having the students make a second flowchart. During this last activity, it was possible to notice an improvement in the resourcefulness in the flowchart elaboration, revealing that the students were able to add more information and interconnect the blocks of conceptual actions. The comparative analysis of the two flowcharts performed by each student indicated acquisition of new knowledge. Prior scripting, aligned with the use of the flowchart, may have contributed to meaningful learning. The adequacy of the experiment to the GC principal # 5 presented an excellent result.

Keywords: Teaching Chemistry, Meaningful Learning, Green Chemistry.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 - Responsabilidade da geração de resíduos químicos.</u>	20
<u>Figura 2 - Um esquema do continuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica.</u>	51
<u>Figura 3 - Esquema proposto para as subdivisões dos tipos de aprendizagem, de acordo com a teoria de David Ausubel.</u>	54
<u>Figura 4 - Variação da aprendizagem mecânica até significativa</u>	56
<u>Figura 5 - Processo de assimilação</u>	58
<u>Figura 6 - Fluxograma de uma síntese inorgânica</u>	63
<u>Figura 7 - Pesquisa de opinião sobre a importância do uso de apostila nas aulas experimentais de laboratório</u>	74
<u>Figura 8 - Questionário-I</u>	76
<u>Figura 9 - Pesquisa sobre a formação no Ensino Médio</u>	77
<u>Figura 10 - Frequência que o aluno consulta o livro texto de PAVIA</u>	80
<u>Figura 11 - Importância do uso da apostila</u>	80
<u>Figura 12 - Fluxograma realizado após a aula experimental.</u>	82
<u>Figura 13 - Atividade realizada pelo aluno antes da aula prática</u>	83
<u>Figura 14 - Atividade realizada pelo aluno após a aula prática.</u>	84
<u>Figura 15 - Atividade realizada pelo aluno antes da aula prática.</u>	85
<u>Figura 16 - (a) e 16(b)-Atividades de cromatografia desenvolvida com acompanhamento do roteiro, de acordo com David Ausubel.</u>	86
<u>Figura 17 - 17(a) e 17(b)</u>	86

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro1- Comparação entre formas de abordagens na Experimentação.</u>	47
<u>Quadro 2 - Aprendizagem Significativa: da visão clássica a visão crítica</u>	49
<u>Quadro 3 - Método e forma de registro de coleta de dados</u>	65
<u>Quadro 4 - Ementa de Química Orgânica Experimental-I-DQO-UFRJ</u>	67
<u>Quadro 5 -Periculosidade e Toxidade do Clorofórmio.....</u>	73-74

Lista de abreviaturas e siglas

CENPES – Centro de Pesquisas da Petrobrás

CT – Centro de Tecnologia

DIQUIM – Departamento de Análises Químicas

DQO – Departamento de Química Orgânica

ETFQ-RJ – Escola Técnica federal de Química do Rio de Janeiro

FISPQ – Ficha de Informação de segurança de produtos químicos

QV – Química Verde

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

UFRJ – Universidade Federal do rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
2 - OBJETIVOS	24
2.1 - OBJETIVO GERAL	24
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	24
3.1 - QUÍMICA VERDE NO CONTEXTO HISTÓRICO	24
3.1.1 - Os 12 Princípios da Química Verde	28
3.1.1.1 - Prevenção	31
3.1.1.2 - Economia Atômica	32
3.1.1.3 - Síntese de Produtos Menos Perigosos	34
3.1.1.4 - Desenho de Produtos Seguros	34
3.1.1.5 - Solventes e Auxiliares Mais Seguros	34
3.1.1.6 - Busca pela Eficiência de Energia	35
3.1.1.7 - Uso de Fontes Renováveis de Matéria Prima	36
3.1.1.8 - Evitar a Formação de Derivados	36
3.1.1.9 - Catálise	37
3.1.1.10 - Desenho para a Degradação	38
3.1.1.11 - Análise em Tempo Real para Prevenção da Poluição	38
3.1.1.12 - Química Intrinsecamente segura para a Prevenção de Acidentes	38
3.2 - INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO	39
3.3 - EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA	43
3.3.1 - Experimentação como atividade demonstrativa	44
3.3.2 - Experimentação como atividade verificação	45
3.3.3 - Experimentação como atividade de investigação	46
3.4 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS) SEGUNDO DAVID AUSEBEL	48
3.4.1 - Aprendizagem Significativa x Aprendizagem Mecânica	51
3.4.2 - Aprendizagem Receptiva x aprendizagem por Descoberta	52
3.4.3 - Tipos de aprendizagem Significativa	56
3.4.4.- Processos de Aprendizagem	58

3.4.5. - Os Materiais Instrucionais e a TAS	59
3.5 - FLUXOGRAMAS NO ENSINO	62
4 - METODOLOGIA	64
4.1 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
4.2 - REALIZAÇÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	64
4.3 - DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	66
4.3.1 - Descrição do Produto	68
4.4 - CARACTERIZAÇÃO DO PÚBLICO ALVO	70
4.5 - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	70
4.5.1 - Diagnóstico do Interesse dos alunos	71
4.5.2 - Desenvolvimento de aula prática com roteiro com Princípios de Química Verde	72
4.5.3 - Proposta de Mudança de Substâncias	73
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1 - DIAGNÓSTICO DO INTERESSE DOS ALUNOS	74
5.2 - ROTEIRO USADO EM AULA PRÁTICA DE CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA	78
5.3 - PROPOSTA DE MUDANÇA DE SUBSTÂNCIAS	78
5.4 - UTILIZAÇÃO DO ROTEIRO ELABORADO	79
5.5 - ANÁLISE DOS FLUXOGRAMAS ELABORADOS PELOS GRADUANDOS NAS AULAS EXPERIMENTAIS	81
6 - CONCLUSÃO	87
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	91
ANEXOS	98
APÊNDICE A – QUADRO DE HORÁRIOS E DISCIPLINAS DOS LABORATÓRIOS DE GRADUAÇÃO	99
APÊNDICE B – PESQUISA DE OPINIÃO EM PRÁTICA DE ENSINO.....	100
APÊNDICE C - ROTEIRO DE CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA	101
APÊNDICE D - APOSTILA DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL-I ...	109

1 INTRODUÇÃO

Minha longa trajetória na Química iniciou quando passei no concurso da escola Técnica Federal de Química do Rio de Janeiro (ETFQ-RJ), no ano de 1982. Quando cursava o quarto ano de Química, fiz estágio no CENPES, no Departamento de Análises Químicas (DIQUIM), localizado na Ilha do Fundão. Estagiei por seis meses no setor de petróleo e seus derivados, no qual havia um laboratório de análises instrumentais (Infravermelho, ultravioleta, ressonância magnética). No mesmo ano que me formara na ETFQ, 1987, passei no vestibular. Ingressei na Universidade Federal Fluminense, no curso de Química Industrial. Durante a formação acadêmica fiz três anos de monitoria em Química Geral. Concluí o curso de Química Industrial e em 1994, passei no concurso para Técnico em Laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Em 1997 ingressei no curso de Licenciatura em Química, na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), pelo processo de aproveitamento de estudos, onde cursei dois anos de estudos complementares. Em 2004 tomei posse no concurso da Rede Estadual de Ensino, na qual leciono Química até o momento. Após a aprovação no concurso da Universidade federal do Rio de Janeiro, fiz uma entrevista na Reitoria e optei para trabalhar no Departamento de Química Orgânica (DQO), do Instituto de Química, pois o meu objetivo era continuar aprendendo Química enquanto trabalhava como técnica. A partir de então, fui encaminhada para uma entrevista com a chefia responsável do DQO, que me indicou o laboratório de Análise Orgânica para eu trabalhar.

Meus contatos iniciais com o laboratório de Análise Orgânica ocorreram através da orientação de uma professora-coordenadora que me acompanhou e me avaliou durante dois anos de estágio probatório.

Durante vinte e quatro anos trabalhando no laboratório de Análise Orgânica eu assistia às aulas da teoria da prática e após as aulas acompanhava os alunos no desenvolvimento das aulas experimentais. No primeiro dia de aula o aluno recebia uma garrafa contendo uma mistura de substâncias sólidas e líquidas desconhecidas para ser pesquisada durante um semestre. As aulas de Análise Orgânica eram semanais com carga horária de seis horas. Havia uma apostila da referida disciplina, contendo todos os testes necessários para o aluno usar durante a aula de experimentação. O método usado era da experimentação investigativa. A cada aula o aluno deveria traçar seus roteiros de análise, testar suas reações utilizando a

apostila na qual havia o teste de solubilidade, as técnicas de Ponto de Fusão, Ponto de Ebulição, testes de identificação para grupos funcionais e cromatografia em camada delgada. Durante as aulas experimentais os alunos interagem com o professor, com o monitor e comigo, pois estava sempre disponível para auxiliar em um preparo de reagente ou esclarecer dúvidas.

Antes do início das aulas eu preparava os reagentes especiais de análise, que deveriam ser feitos no momento do ensaio. Os reagentes de análise em geral, que eram estáveis, ou seja, não se decompunham, eram rotineiramente preparados a cada semestre e organizados em estantes de cada bancada para serem acessíveis aos alunos. Os solventes de capela eram devidamente etiquetados e dispostos nas estantes localizados dentro da capela.

O laboratório de Análise Orgânica tem a característica de possuir muitos reagentes específicos para a realização de diferentes grupos funcionais. Utiliza-se a técnica de semi-micro análise, pois bastam algumas gotas para executar o processo reacional.

Um laboratório de análise deve ser mantido cuidadosamente arrumado e organizado, a fim de evitar deterioração dos reagentes. Estes devem ser armazenados de acordo com sua compatibilidade química, evitando que ocorram possíveis reações químicas entre os reagentes estocados dentro do armário.

Para manter a organização dos reagentes, anualmente o estoque de reagentes é organizado e atualizado, sendo seus registros anotados em uma planilha e disponibilizada em uma pasta para consulta dos usuários do laboratório.

Durante os anos trabalhados em laboratório, sempre houve uma grande preocupação com a quantidade de resíduos gerados após cada aula. Devido a isso, os alunos são orientados durante as aulas experimentais a estarem atentos com o descarte de seus resíduos produzidos durante as aulas e, descartarem seus rejeitos em recipientes etiquetados e segregados, armazenados dentro da capela para posterior destinação para empresa especializada. Quanto aos rejeitos de ácidos e bases, orienta-se aos alunos a fazer a neutralização seguida de descarte no ralo da pia.

Ao final de cada semestre, os rejeitos são segregados, classificados em líquidos/sólidos halogenados e líquido/sólidos não halogenados. Após esta classificação são registradas suas quantidades em um relatório para posteriormente

serem entregues para uma firma credenciada pelo Instituto de Química na coleta anual de resíduos químicos. A partir dos registros semestrais desses resíduos refleti sobre a degradabilidade, toxidez dos reagentes utilizados em uma atividade experimental, problematizando o impacto que esses solventes tóxicos têm na saúde humana e no meio ambiente. A partir dessa problemática, foi observado que nenhum laboratório de graduação de Química Orgânica Experimental (ORGEXP-I) incluía abordagem de Química Verde com seus alunos e, tampouco havia materiais didáticos que abordasse a QV. Este fato ocorre devido a ausência dos tópicos de Química Verde na ementa do curso. Também foi observado a ausência de apostila para que os alunos do curso de ORGEXP-I possam acompanhar as aulas. Os métodos experimentais são descritos no quadro acompanhados de explicações em cada aula.

De acordo com ZANDONAI (2013), apesar de ser crescente o número de trabalhos científicos que abordem a QV, ainda é incipiente as pesquisas na área de Educação/Ensino de Química cujo objeto de investigação seja a inserção da QV em processos educativos e suas aplicações.

A crescente demanda pelo desenvolvimento de métodos ambientalmente seguros e sustentáveis é uma tendência importante tanto no setor produtivo quanto na esfera acadêmica. Desta forma, o planejamento de aulas práticas nos cursos de Química deve abranger experimentos que estejam fundamentados nos princípios de Química Verde. Estes incluem, entre outros, a utilização de materiais de partida atóxicos e oriundos de fontes renováveis, além da escolha apropriada das condições reacionais e da readequação das etapas de tratamento e purificação com o objetivo de diminuir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente (SILVA *et al*, 2016, p.967).

MARQUES *et al* (2007) apontam que o crescimento da área de QV no meio acadêmico pode auxiliar na formação de profissionais mais responsáveis e tecnicamente capazes de escolher processos químicos que incorporem a variável ambiental.

LENARDÃO *et al* (2003) afirmam que um profissional formado dentro dos princípios da QV estará mais bem preparado para o desafio que a indústria e o meio acadêmico passaram a impor nos últimos anos: a busca pela química autossustentável. Esse modo de pensar, de acordo com Prado (2003) incentiva a inserção da química Verde nos currículos e nas atividades científicas, e, também, seu emprego em escala comercial e industrial. Para alcançar esse êxito, é

necessário inserir os conceitos de QV no ensino de nível médio, tão cedo quanto possível (COSTA; RBEIRO; MACHADO, 2008; MACHADO, 2011).

Durante 28 anos trabalhados no Departamento de Química Orgânica foi observado que não há produção de material didático na perspectiva de QV, na disciplina de Química Orgânica experimental-I (ORGEXP-I). Conforme apontado por Silva, Machado e Mateus (2014) este será um desafio para os professores dos cursos profissionais. Deste modo, considerei útil a produção de um material didático para o uso na experimentação em química na perspectiva da QV e que contribuísse para a formação técnica em química.

Ao longo desses anos foi observada a importância de desenvolver no aprendiz a consciência ambiental, durante o trabalho no laboratório. O aprendiz deve ser estimulado a pesquisar sobre a toxidez de cada reagente ou solvente que fará uso em seus experimentos.

Observa-se que os docentes chamam a atenção de seus aprendizes para a responsabilidade pelos resíduos gerados nas aulas experimentais.

Foi observado que dentre os resíduos gerados, nos laboratórios de Química Orgânica Experimental-I e Análise Orgânica, o maior percentual está relacionado com resíduos orgânicos não-halogenados, seguidos por orgânicos halogenados.

O aprendiz também deve estar atento às normas de segurança no laboratório, o uso de equipamentos de proteção individual tais como luvas, óculos de proteção, jaleco etc) durante as aulas experimentais.

Sabe-se que os resíduos químicos são intrínsecos às atividades de química e que há muito a ser pesquisado e desenvolvido a esse respeito, pois todos desejam trabalhar em um laboratório de química com segurança. Pensando nisso, devem-se considerar os princípios norteadores de Química Verde.

As universidades e instituições de ensino produzem muitos resíduos como resultado de suas práticas diárias no ensino, na pesquisa, na extensão, que estão contempladas na Política Nacional de Resíduos (PNR), em seu artigo 48 (Lei 12305, de 12/08/2010) o qual considera:

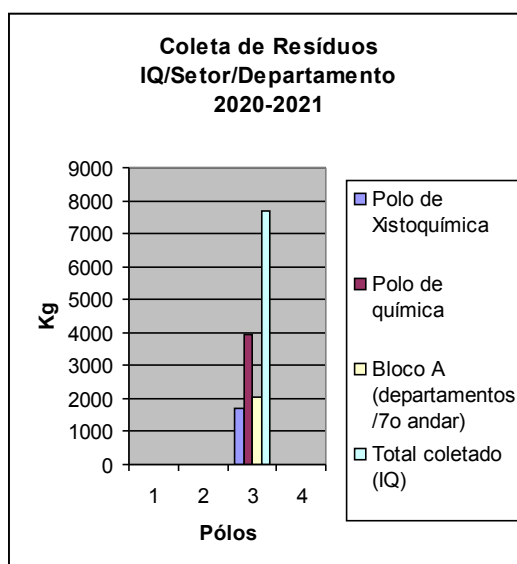
resíduos perigosos os que, em função de suas características de toxicidade, corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade ou explosividade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental. (LOPES, 2006. p.16)

Pode ser observado que a maioria das práticas experimentais não são guiadas por preceitos norteadores de Química Verde (LENARDÃO *et al.*, 2003) e

pelos princípios de Educação Ambiental. Este fato causa divergência na aplicação de posturas comprometidas com a problemática dos resíduos químicos, afetando a formação dos professores de Química nos cursos de licenciatura e nos demais cursos que tenham a Química em seus currículos, uma vez que, após formados, estes profissionais deverão levar consigo consciência ética em relação ao uso e descarte de produtos químicos, revelando a não compreensão do papel da experimentação no processo ensino/aprendizagem, além de refletir a falta de conhecimento mais aprofundado sobre este tema.

A análise do gráfico da Figura 1 exibe os percentuais de resíduos gerados pela graduação e pós-graduação e pesquisa. O gráfico revela que a pesquisa é responsável por grande parte dos resíduos gerados. É importante salientar que estes resíduos são globais, ou seja, resíduos sólidos e líquidos.

Figura 1 - Responsabilidade da geração de resíduos químicos



Fonte: Comissão de Resíduos do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2020-2021).

Diante desta problemática, da produção de resíduos sólidos e líquidos nas aulas experimentais de Química Orgânica, pensou-se em inserir um material instrucional que facilite a aprendizagem e que já tenha inserido neste os preceitos de Química Verde.

O ensino de Química Orgânica Experimental investigativa provoca no aprendiz uma educação diferenciada e ativa, fazendo-o interagir com o professor,

com os companheiros de grupo/dupla através de questionamentos, criticando seus resultados, criando esquemas de resolução dos problemas analisados (MOREIRA, 2011). Segundo este mesmo autor, estas posturas do educando conduzem as novas informações se incorporarem de forma não-arbitrária, mas hierarquizando conteúdos conhecidos e ancorados no cognitivo do aprendiz.

FAZENDA (2002) aponta que para transformar o conhecimento é necessário mudar o ambiente de aprendizagem a fim de favorecer a construção do conhecimento pelo educando.

Os organizadores prévios ou âncoras criadas com o objetivo de manipular a estrutura cognitiva podem e devem ser utilizados na relação entre aula teórica e a prática, pois tem a função de interligar os conceitos novos aos antigos.

Assim, segundo (SANTOS, 2013):

A clássica repetição deve ser deixada de fora, uma vez que se deseja que a aprendizagem seja funcional, devendo se assegurar a auto estruturação significativa. Neste sentido, sugere-se que os alunos “realizem aprendizagens significativas por si próprios”, o que é o mesmo que aprendam o aprender.

No processo de aprender a aprender, o aluno faz uma reflexão sobre suas vivências e suas relações com os conhecimentos adquiridos ao longo da sua vida estudantil, o sujeito deve possuir uma ação dinâmica e eficaz, na qual o estudante é o principal responsável pela sua efetiva aprendizagem (PELIZZARI et. al. 2002, p.39).

Para avaliar o processo educativo, é indicado o uso de mapas conceituais, que, de acordo com NOVAK (2002), são diagramas que apresentam conceitos inter-relacionados formando estruturas conceituais compostas por três elementos: conceito, proposição e “palavras de enlace”. Os conceitos são apresentados dentro de caixas, que são os objetos de estudo. Os conceitos são interligados através de linhas que agregam frases e explicativas. Através desses mapas conceituais, o professor analisa a relação de dados, de lógica e de enlaces realizados pelo educando sobre os temas estudados. De acordo com NOVAK (2002), não existe mapa conceitual certo ou errado, apenas o mapa com lógica mais coerente.

Neste trabalho de pesquisa foram utilizados fluxogramas para expressar as ações de cada etapa do procedimento metodológico da experimentação.

Os fluxogramas ou diagramas também servem para avaliar se os alunos conseguiram entender significativamente os conteúdos e os procedimentos adotados na experiência, assim como avaliar a organização sequencial de cada etapa do procedimento.

O objetivo geral da pesquisa foi produzir um roteiro para as aulas de Química Orgânica Experimental-I, do Departamento de Química Orgânica da UFRJ, associando um recurso metodológico a uma teoria de aprendizagem que visa destacar a importância de se ter um referencial teórico que ensina como se aprende para que viabilize o planejamento de atividades que sejam propícias no processo de aprendizagem.

O roteiro supracitado foi planejado com uma experiência de cromatografia em camada delgada (CCD), na qual foi realizada a troca de um solvente tóxico por outro de menor toxicidade, sem causar prejuízo nas análises, visando atingir alguns dos 12 princípios de Química Verde. Com esta atitude podemos estimular os alunos a usarem os solventes com mais precaução, alertando-os para os perigos relativos ao manejo de substâncias tóxicas e perigosas, descartando estes rejeitos após o término de cada aula em coletores apropriados e seguindo as normas de segurança.

A pesquisa está organizada em três capítulos, a saber:

O Capítulo 3 desta dissertação apresenta o referencial teórico que direciona a pesquisa e resultou na metodologia e na forma como foram analisados os dados obtidos. A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) é o principal referencial teórico da pesquisa, cujas bases são apresentadas fornecendo subsídios para a compreensão das suas relações com a pesquisa. Este capítulo está dividido em cinco partes: Teoria da Aprendizagem Significativa segundo David Ausubel; Química verde onde abordaremos os 12 princípios da Química Verde; Química Verde no ensino, fazendo-nos repensar as atividades químicas, incluindo as práticas experimentais didáticas de um modo mais consciente e menos agressivo ao meio ambiente, a Experimentação no ensino de química e o uso de fluxogramas no ensino, que servirá como uma técnica para a aprendizagem significativa.

No capítulo 4 está explícita a metodologia empregada, assim como seus referenciais. O método qualitativo, o paradigma que o influencia, o desenvolvimento do produto, o público alvo, a técnica de coleta de dados, planejamento das aulas, diagnóstico de interesse e o desenvolvimento da aula prática. Esse capítulo mostra, portanto, o contexto da pesquisa e os instrumentos utilizados para a sua execução.

A proposta da confecção de uma apostila para as aulas de Química Orgânica Experimental-I (ORGEXP-I) surgiu a partir da necessidade expressa pelos alunos e identificada através do questionário aplicado a todas as turmas desta disciplina. Durante anos acompanhando às turmas observou-se a inexistência de apostila. É importante destacar que a apostila também orienta os técnicos na montagem das aulas e também para fazer listas de compras de materiais e reagentes para esta disciplina tão importante para o aluno que está iniciando seus estudos no laboratório de Química Orgânica experimental.

No capítulo 5 os resultados são apresentados seguidos da discussão dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar a relevância da inserção um material didático alinhado aos princípios de Química Verde para as aulas experimentais de Química Orgânica Experimental em cursos de graduação.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1- Verificar junto ao corpo discente a necessidade de material didático de apoio às aulas de Química Orgânica experimental-I (Orgexp-I).

2- Propor uma modificação em uma das aulas experimentais, aplicando um dos 12 Princípios de Química Verde em uma aula de cromatografia em camada delgada.

3- Propor um material didático aos alunos de Química Orgânica Experimental-I (Orgexp-I) alinhado aos Princípios de Química Verde.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. QUÍMICA VERDE NO CONTEXTO HISTÓRICO

Os fatos históricos sobre os problemas ambientais causados pelo crescimento da economia, diante do processo de industrialização seguem uma ordem cronológica. As crescentes preocupações com esses problemas deram início a movimentos ambientais que tomaram conta dos diversos segmentos, tais como sociedade, governos, organizações e outros agentes (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Os problemas ambientais começaram a surgir em 1949, quando ocorreu nos EUA a Conferência Científica da Organização das Nações Unidas sobre a Conservação e Utilização de Recursos (UNSCCUR). Em 1962 Rachel Carson, publicou seu livro, *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), que descreve as implicações adversas da utilização inadequada dos agroquímicos e inseticidas químicos sintéticos (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Em 1968 ocorreu a Conferência Intergovernamental de Especialistas sobre as Bases Científicas para Uso e Conservações Racionais dos Recursos da Biosfera

que teve publicação no Relatório do Clube de Roma, o qual engendrou uma pressão por parte da sociedade sobre os governos, relativo às questões ambientais, que então tiveram influência nos debates da Conferência de Estocolmo, realizada em 1972. Neste evento ocorreu a primeira tentativa em organizar a relação entre homem e meio ambiente (FARIAS; FÁVARO, 2011).

A partir dos primeiros eventos que tentavam discutir sobre os problemas ambientais, vários outros foram sendo realizados, com atenção voltada para a discussão de soluções desses problemas, sem deixar de considerar o desenvolvimento econômico. Em cada evento, definições foram concomitantemente levadas em pauta como eco-desenvolvimento e desenvolvimento sustentável.

De acordo com Ramos (2009), na década de 1970 os movimentos relacionados às questões ambientais se intensificaram. Nesta época, ocorreu um exacerbado consumo de derivados de petróleo por parte dos países desenvolvidos, que elevaram os níveis de CO₂ na atmosfera, alterando as condições climáticas e provocando danos irreparáveis a todo ambiente.

A queima de combustíveis fósseis, a queima de biomassa e a produção de cimento elevam a emissão de dióxido de carbono na atmosfera provocando o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, resultando o aquecimento global e as mudanças climáticas. Este processo colabora para a formação da chuva ácida (VASCONCELLOS; 2013).

Segundo Ramos (2009), nesse período as preocupações se intensificaram com os problemas ambientais e as discussões a respeito deste tema ganharam mais espaço. Tais ideias foram acentuadas pelo Clube de Roma, através da publicação conhecida como *The Limits to Growth*, onde foi considerada a reversibilidade deste processo. Em 1976, na Europa, ocorreu o primeiro movimento institucional que apoiava o uso de tecnologias limpas (*Non-waste Technologies*) sob o comando da ONU/OCDE. A partir de então, várias conferências sobre o meio ambiente foram realizadas no âmbito das Nações Unidas, dentre as quais a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Conferência da Terra ou Eco-92), quando houve discussões sobre o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, economia ambiental ou eco economia e, mesmo frente a essas discussões em eventos ambientais, as preocupações com os antigos e novos problemas permaneciam.

As grandes gerações de resíduos originados pelos processos industriais aumentaram os problemas com a poluição. Foi a partir daí que a Química Verde surgiu em seu primeiro contexto histórico.

A Química Verde originou-se nos Estados Unidos, nos anos, 90, onde as pesquisas científicas voltavam à atenção para as questões ambientais. De acordo com CORRÊA; ZUIN (2012):

Em 1991, logo após a publicação da Lei de Prevenção à Poluição dos EUA, a agência ambiental norte-americana (*Environmental Protection Agency*, EPA) lançou o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição” para apoiar o desenvolvimento de pesquisas que objetivassem prevenir a poluição quando da produção de compostos sintéticos. Em 1993, com a inclusão de outros tópicos como solventes ambientalmente corretos e compostos inócuos, houve a expansão e a renomeação deste programa, que a partir de então adotou oficialmente o nome de Química Verde. (CORRÊA; ZUIN, 2012, p. 10)

A Química Verde foi implantada através de um programa presidencial norte-americano que fez premiações para as áreas de pesquisas e setores industriais, que desenvolvessem metodologias e/ou materiais que reduzissem a produção de resíduos poluentes tóxicos.

Segundo Ramos (2009), os trabalhos foram premiados em cinco categorias: acadêmico, pequena empresa, rotas sintéticas alternativas, condições alternativas de reação e desenho de produtos químicos mais seguros. Após esta iniciativa, outros adotaram essa inovação de premiação para as áreas que buscam a redução de efluentes e geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente.

Após a criação da Química Verde como possibilidade para amenizar a produção de resíduos tóxicos no processo industrial, outras instituições de pesquisa começaram a discutir os problemas ambientais decorrentes de metodologias e processos utilizados por elas. Como exemplos disso são as pesquisas que utilizam sínteses alternativas, métodos cromatográficos de análise baseados nos Princípios da Química Verde, uso de catalisadores nos processos de síntese operando com os Princípios, a validação da Química Verde em processos industriais.

Há ainda as relações no contexto educacional como, por exemplo, pesquisas sobre Química Verde na Educação, no currículo, na formação de professores e sobre o papel dos químicos diante da QV e seus Princípios. Concordando com Corrêa; Zuin (2012), a pesquisa sobre QV e seus 12 Princípios é recente no âmbito acadêmico, assim como sua discussão e implementação no espaço governamental e industrial.

Um exemplo de contribuição citada por Corrêa, Zuin (2012, p.10) se refere ao “grupo de Síntese Orgânica Limpa do Instituto de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas (RS) que criou a WWVerde, uma página na internet com informações sobre a Química Verde” (CORRÊA; ZUIN, 2012, p.10). Esta página é livre para acesso e contém vários artigos publicados referentes a QV, sobre métodos analíticos, novas rotas sintéticas, meios reacionais, a inserção da QV na formação de profissionais da Química, a compreensão dos estudantes de Química sobre os conceitos, experimentos das aulas de laboratório da graduação que relacione os 12 Princípios ou alguns deles.

Toda essa diversidade de pesquisas realizadas dentro do contexto de Química Verde ressalta a preocupação em solucionar os problemas ambientais que se instalaram e que podem causar danos a qualquer população de qualquer lugar do planeta.

Corrêa; Zuin (2012, p. 9-22) citam vários projetos e eventos envolvendo a QV em diversos países, como por exemplo o Consórcio Universitário Química para o Ambiente (*Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment*, INCA), criado na Itália em 1993, objetivando reunir pesquisadores, cuja área de pesquisa foram as questões químicas e ambientais que prestigiassem a química como boa e ambientalmente correta.

O INCA proporciona todos os anos, para estudantes de química de vários países a Escola Internacional de Verão em Química Verde. Dentre essas criações foram concebidos o Instituto de Química Verde (*Green Chemistry Institute*, GCI), em parceria com a Sociedade Americana de Química (*American Chemical Society*, ACS), o periódico *Green Chemistry* criado pela Sociedade Britânica de Química (*Royal Society of Chemistry*, RSC), a criação do Sub-Comitê Interdivisional de Química Verde aprovado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union for Pure and Applied Chemistry*, IUPAC), entre vários eventos, livros, revistas e pesquisas de QV que também foram criados a partir do desenvolvimento da QV na década de 1990 (CORRÊA; ZUIN).

No Brasil, passaram a ser difundidos no meio acadêmico conceitos envolvendo síntese limpa, tecnologia limpa entre outros relacionados à QV. Um exemplo dessa difusão é a realização de um Workshop em novembro de 2007:

Ocorreu o primeiro Workshop Brasileiro sobre Química Verde em Fortaleza, onde foi anunciada a instalação da Rede Brasileira de Química Verde, que pretende ser o elemento institucional de promoção das inovações

tecnológicas para as empresas nacionais, com o apoio da comunidade científica e o suporte das agências governamentais. (CORRÊA; ZUIN, 2012, p.10)

A Química Verde é regida por princípios básicos que traduzem as perspectivas de metodologias e processos que indicam os caminhos para estruturação da Química voltada inicialmente para a indústria, mas que também se aplicam ao seu processo de ensino. Esses Princípios são apresentados no próximo tópico.

3.1.1 Os 12 Princípios da Química Verde

O conceito de Química Verde foi definido por Anastas e Warner em 1998 e pode ser definido como o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos químicos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente (ANASTAS; WARNER, 1998, apud LENARDÃO, 2003). De acordo com Lenardão (2003, p.124), “este conceito é atribuído à tecnologia limpa, sendo aplicado em países com indústria química bastante desenvolvida e que apresentam controle rigoroso na emissão de poluentes”. Este conceito vem sendo incorporado ao meio acadêmico, nas pesquisas na área de ensino e em indústrias (SANDRI; FILHO, 2017).

De acordo com Machado (2011), sobre a criação da QV:

A emergência da Química Verde foi impulsionada pelo desenvolvimento de um certo número de atividades no âmbito da Indústria Química que conduziram a novas atitudes e conceitos, na década de 80 do século passado, no contexto da consolidação do ambientalismo moderno. (MACHADO; 2011, 535)

As indústrias e laboratórios de sínteses geram grandes quantidades de resíduos que acarretam danos ambientais. A preocupação com estes resíduos gerados impulsionou as pesquisas na área de QV. A evolução das reações na Indústria Química levou à geração de resíduos e poluição. Para reverter esta situação foram criados novos conceitos como a economia atômica e fator E, que sustentaram e orientaram a criação dos 12 Princípios da QV (MACHADO, 2011).

Com o objetivo de prevenir a poluição quando na produção de compostos sintéticos, foi implementado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para a Prevenção de Poluição”. Os projetos

de pesquisa passaram a ter como ponto central estudos investigativos visando os melhores meios que uma rota sintética pode seguir e, para isto, deve ser considerado o material de partida, os processos químicos, os produtos, a eficiência de energia, promovendo assim a estruturação dos 12 Princípios que podem orientar os químicos que trabalham no processo de produção. Deste modo, ao seguir uma rota sintética, ou outro procedimento químico qualquer, devem-se inserir estes princípios, ou aquele que mais se adequar ao procedimento a ser realizado, visando à prevenção da poluição.

Assim, a filosofia da Química Verde está baseada em 12 princípios elencados por Lenardão (2003, p.124):

1. Prevenção. Evitar a produção de resíduo é melhor do que tratá-lo ou “limpá-lo” após a sua geração.

2.Economia dos Átomos. Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.

3.Síntese de Produtos Menos Perigosos. Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.

4. Desenho de Produtos seguros. Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.

5. Solvente e Auxiliares mais seguros. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, essas substâncias devem ser inócuas.

6. Busca pela Eficiência de Energia. A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.

7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima. Sempre que técnica- e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.

8. Evitar a Formação de Derivados. A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque essas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

9. Catálise. Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.

10. Desenho para a Degradação. Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.

11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição. Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.

12. Química intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes. As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Uma das grandes preocupações da Química verde está centrada na economia atômica, que é um parâmetro para medir a eficiência de uma reação de síntese, na qual o ideal seria a conversão de toda massa de reagentes em produto, aproveitando o máximo da matéria-prima com o mínimo de resíduo final.

A intensa utilização de solventes orgânicos (voláteis ou não) nos processos industriais da química demanda cuidado e capital em todas as fases (manufatura, transporte, estocagem manuseio, descarte). Cabe a área de Química Verde estudar estratégias para minimizar os problemas que possam surgir.

O ideal seria a utilização de água como solvente, mas na maioria dos estudos realizados com reações orgânicas ocorre a incompatibilidade com os reagentes devido a sua insolubilidade (SILVA; DE LACERDA; JUNIOR, 2005).

Nas universidades os laboratórios de pesquisa e de ensino utilizam através de seus procedimentos, muitos solventes e reagentes que devem ser armazenados e estocados com cautela, assim como os resíduos gerados após cada experimento devem ser descartados em locais apropriados.

Para caminharmos em direção dos caminhos da sustentabilidade, deve-se pensar em uma perspectiva de formação profissional com a Química Verde inserida nos currículos, aproximando-a a Educação Ambiental, na sua perspectiva crítica, desenvolver habilidades na resolução de problemas, promover uma educação ambiental no âmbito global, a fim de buscar “ferramentas de superação da crise da modernidade” (PITANGA, 2016).

Além dos 12 Princípios, foram propostos outros 12 princípios, que seguem a mesma lógica, são diferentes, mas possuem a mesma finalidade. Alguns autores publicaram sobre os 24 princípios, ou os Segundos Doze princípios.

Posteriormente, foi proposto por Winterton, no âmbito de uma análise mais ampla das relações da Química com a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, um segundo conjunto de princípios, os chamados segundos 12 princípios de QV, dirigidos especialmente aos profissionais da química Acadêmica que divisam novas vias de sínteses- já que se focam no escalonamento destas, requerido para implementar processos de fabrico para a respectiva concretização industrial, o campo onde realmente interessa obter verdura (MACHADO, 2012, p. 1250).

Apesar dos segundos 12 Princípios não apresentarem o mesmo foco de atenção como os 12 primeiros princípios, devem ser divulgados e levados em consideração, pois podem contribuir para a conscientização dos Químicos,

facilitando o trabalho de desenvolvimento de processos laboratoriais e industriais MACHADO, 2012).

Esta pesquisa se estruturou a partir dos 12 princípios que foram o foco da intervenção da atividade proposta.

Todos os 12 Princípios são cabíveis de serem executados na indústria química, em laboratórios de síntese, nos procedimentos de aulas experimentais e em pesquisas de inovação de laboratório e pesquisa. De acordo com Ramos (2009), alguns seguimentos da indústria utilizam mais certos princípios, por exemplo, os princípios que envolvem o uso de rotas alternativas como catálise e biocatálise, processos neutros, como fotoquímica e síntese biomimética, matérias primas alternativas, sendo estas inócuas e renováveis, entre outras. Apesar dos referidos Princípios serem visados dentro do campo de produção industrial, também podem ser alvo de adaptação para o ensino e investigação no meio acadêmico.

A seguir, os 12 Princípios serão apresentados com diversos exemplos de aplicação na Química.

3.1.1.1- Prevenção

Prevenir a formação de resíduo é melhor do que tratá-lo ou “limpá-lo” após a sua geração (ANASTAS *et al.*, 1998)

O primeiro Princípio engloba de forma geral o conceito central da QV e todos os demais Princípios. O desenvolvimento deste Princípio surgiu devido à preocupação com a falta de consciência em relação à necessidade de investimentos no comando e controle da poluição, através do setor público e privado e também, devido à ausência de uma legislação ambiental que responsabilizasse os autores de atividades químicas industriais que descartam seus resíduos tóxicos no meio ambiente (FARIAS; FÁVARO, 2011).

As ideias iniciais implantadas de comando e controle da poluição são substituídas por prevenção da poluição. Os problemas ambientais, dentre eles a geração de resíduos passa a ser vistos e discutidos com o intuito de encontrar novas soluções que procurem buscar uma alternativa que evite e minimize a produção de resíduos como alternativa à exclusividade de tratamento dos resíduos no fim da produção (LENARDÃO *et al.*, 2003).

As atividades industriais produzem muitos resíduos, além da elevada emissão de gases poluentes. Com o objetivo de reduzir os altos níveis de emissão de

poluentes, foi publicada, em 2006, pelo conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a resolução 382 que estabelece limites quanto aos altos níveis de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, envolvidos na contaminação atmosférica, provenientes de indústrias e demais fábricas (BRASIL, 2006). Em 1990, a Resolução no3 de 28 de junho dispôs sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

De acordo com Machado (2011), este Princípio propõe que seja realizada a redução na fonte, cujo objetivo principal é “minimizar ou eliminar poluentes e resíduos de natureza química, provenientes dos processos da Indústria Química e similares” (p.536).

Segundo Machado (2011) outros métodos agem na fonte, contribuindo para o princípio da prevenção e minimização de resíduos, como exemplos: o procedimento de reciclagem dentro dos processos químicos a recuperação e tratamento dos resíduos sólidos e líquidos. Os outros Princípios possuem a mesma finalidade e validam de formas diferentes outros caminhos que previnem a geração de resíduos e outros poluentes.

3.1.1.2- Economia Atômica

“Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final”. (TROST, 1991)

O conceito de efetividade e eficiência de uma síntese está relacionado ao cálculo de rendimento (Equação 1), que é definido pelo número de mols do material de partida versus o número de mols do produto com base no reagente limitante e na estequiometria da reação. Para exemplificar, podemos considerar que um mol do material de partida, que é o reagente limitante, produz um mol do produto desejado, acarretando um rendimento de síntese considerado 100% (RAMOS, 2009). Na maioria dos procedimentos de síntese, considera-se que se o rendimento for de 90%, o resultado é muito bom, se ocorrer em torno de 60%, regular e 20% ou menos será baixo (RAMOS, 2009).

$$n \% = \frac{\text{quantidade real do produto obtido}}{\text{quantidade teórica do produto}} \times 100 \quad (1)$$

O cálculo de rendimento, segundo RAMOS (2009), não fornece informações quanto ao uso ou geração de produtos indesejáveis que ocorrem durante a síntese, por exemplo, sobre os resíduos formados, reagentes e auxiliares incorporados no produto final.

De acordo com RAMOS (2009), a economia dos átomos é calculada através da divisão do peso molecular do produto desejado pelo peso obtido da soma de todas as substâncias produzidas na (s) equação (ões) estequiométrica (s) envolvida (s) no processo reacional (Equação 2):

$$\% \text{ EA} = \frac{\text{peso molecular do produto desejado}}{\text{peso molecular das substâncias produzidas}} \times 100 \quad (2)$$

Podemos exemplificar algumas reações com baixa eficiência atômica: as reações de eliminação, acilação de Friedel-Crafts e reação de Wittig, entretanto, as reações de adição (Diels-Alder, adição a olefinas) e rearranjos intermoleculares, são bastantes eficientes, pois todos os átomos dos reagentes são incorporados no produto final (LENARDÃO *et al.*; 2003).

O fator E também é um conceito que descreve eficiência de uma reação e que também é trabalhado no segundo Princípio. Este fator foi introduzido por Roger Sheldon e é empregado a nível industrial. O fator E pondera sobre a quantidade de resíduo gerado para cada quilograma de produto obtido (Equação 3) (RAMOS, 2009).

$$\text{Fator E} = \frac{\Sigma \text{ massa dos produtos secundários}}{\Sigma \text{ massa do produto desejado}} \times 100 \quad (3)$$

O Fator E considera todas as substâncias utilizadas no processo reacional, incluindo solventes (exceto a água) e os demais reagentes que não foram convertidos. Desse modo, quanto maior o valor do fator E, maior será a massa do resíduo gerado. Do ponto de vista ambiental, um fator E elevado será ruim. As indústrias do setor farmacêutico e da Química Fina são as que apresentam um elevado valor de fator E (RAMOS, 2009).

3.1.1.3- Síntese de Produtos Menos Perigosos

“Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente”. (PRADO, 2003)

Como os Princípios 3,4 se referem à toxicidade dos reagentes e produtos envolvidos em uma reação química, serão descritos de forma conjunta.

3.1.1.4- Desenho de Produtos Seguros

“Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.” (PRADO, 2003)

Estes princípios estão sendo adotados pelas indústrias a fim de reduzir o índice de toxicidade dos reagentes durante a síntese e os riscos de toxicidade dos produtos, assim como sua persistência na natureza (RAMOS, 2009).

Um exemplo de desenvolvimento de processos e produtos menos agressivos para o meio ambiente foi a descoberta do espinetorame.

De acordo com Ramos (2009), a espinetorame é uma mistura de 3'-O-etil-5,6-diidroespinosina J e 3'-O-etiletilspinosina L. A Dow AgroSciences produz a espinetorame a partir da fermentação natural de produtos da espinosina J e L e a síntese que as modifica possui baixo impacto ambiental, é menos persistente no ambiente e sua aplicação é eficaz em baixas quantidades quando comparado a outros inseticidas concorrentes.

3.1.1.5- Solventes e Auxiliares Mais Seguros

. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc) deverá ser evitada quando possível ou usadas inocuamente nos processos.” (PRADO, 2003)

A elevada quantidade de uso de solventes, agentes secantes, entre outros nos laboratórios industriais e procedimentos laboratoriais geram uma grande quantidade de resíduos. Além de muitos solventes orgânicos serem tóxicos, seu uso nem sempre é economicamente viável dado o custo adicional para sua recuperação ou descarte. Devido a isso, grandes esforços têm sido feitos para substituí-los por solventes verdes, como os fluidos supercríticos (por exemplo, o CO₂ a 31,1°C e 73,8 atm), líquidos iônicos à temperatura ambiente, hidrocarbonetos perfluorados e água.

Há casos onde as reações podem ser submetidas sem a utilização de solventes. Todas essas opções contribuem para reduzir a quantidade de resíduos gerados (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Cabe ressaltar que alguns solventes alternativos ainda possuem um percentual de grau de toxidez, mas que foram indicados como “solventes verdes” por serem menos perigosos em relação a outros solventes.

3.1.1.6- Busca pela Eficiência de Energia.

“A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.” (PRADO, 2003)

Segundo Ramos (2009), uma reação ideal deve ocorrer à temperatura e pressão ambientes, entretanto, muitas reações necessitam de aquecimento prolongado ou arrefecimento, às vezes até pressões diferentes e o suprimento de energia para tais procedimentos é proveniente da queima de combustível fóssil (não renovável), que geram consequências danosas na redução das reservas de energia não renováveis e o aumento da concentração de gases que contribuem para o efeito estufa na atmosfera e chuva ácida (RAMOS, 2009). Os grandes vilões que contribuem para os citados danos são o petróleo e o carvão mineral.

Sendo composto por 95% de hidrocarbonetos, metais pesados, enxofre e compostos nitrogenados, o petróleo contribui com a poluição gerada desde os processos de extração, transporte até a poluição atmosférica através de emissão de seus gases (MARQUES, 2015).

O consumo do carvão como alternativa ao problema da escassez do petróleo, que ocorreu devido a uma crise de aumento de preço no mercado internacional a partir de 2000, não foi uma boa solução. Em termos ambientais, polui o ar, as águas, os solos, em todas as fases de seu ciclo industrial (MARQUES, 2015).

As hidrelétricas, segundo Marques (2015) são consideradas uma fonte de energia limpa pelo fato de quase não produzem poluentes, no entanto causam impactos nos recursos hídricos e na fauna fluvial, além de causar erosão nas terras ribeirinhas, emissões de gás metano, degradação das bacias hidrográficas, desmatamento, proliferação de doenças, entre outros.

Entre outras fontes alternativas de energias renováveis pode-se citar a biomassa e a geração de energia eólica. De acordo com CORRÊA; ZUIN (2012), as células fotovoltaicas e as células a combustível são sistemas alternativos que podem converter e estocar energia eletroquímica. Esses sistemas são considerados como energia limpa por demonstrarem baixa emissão de gases poluentes, quando comparados a outros sistemas.

3.1.1.7- Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima

“Sempre que técnica for economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não-renováveis”. (ANASTAS, 1998)

É importante a seleção e utilização de matérias-primas de fontes renováveis (biomassa). Seja por exemplo, materiais derivados de plantas e outras fontes biológicas renováveis ou recicladas. Embora não sejam biomassas, CO₂ e metano são considerados renováveis, porque podem ser obtidos tanto através de métodos sintéticos como naturais. Um outro exemplo de fontes renováveis que têm sido destaque nas pesquisas é o biodiesel (um biocombustível obtido através da alcoólise de óleos vegetais), que é um combustível verde com potencial para substituir o líquido isolante presente nos geradores de energia movidos a óleo derivado do petróleo (LENARDÃO *et al.*, 2003).

3.1.1.8- Evitar a formação de derivados

“A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos”. (PRADO, 2003)

As reações de síntese devem ser obtidas a partir de fontes renováveis, em uma única etapa, simples e ambientalmente aceitável. Devem ocorrer em um processo rápido e ter um rendimento quantitativo com cem por cento de pureza, após ter sido separado da mistura reacional. Esta situação ainda é um desafio difícil de conseguir (WENDER *et al.*, 1997).

3.1.1.9- Catálise

“Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.” (DUPONT, 2000)

As reações catalíticas são mais limpas e eficazes que as reações estequiométricas.

A catálise é um processo cíclico, no qual o catalisador se combina com os reagentes para gerar compostos intermediários e facilitar a sua transformação em produtos. Ao final da reação, o catalisador é regenerado, ficando apto para reiniciar o ciclo catalítico (FIGUEIREDO; RAMÔA, 1989).

Na prática, devido às reações competitivas, o catalisador sofre alterações e sua atividade se torna inferior à inicial ou nula (desativação do catalisador). Devido a este processo é necessário ser regenerado ou até mesmo ser substituído, entretanto o tempo de vida do catalisador ativo é sempre maior que a duração do ciclo reacional (GUSEVSKAYA, 2003).

Segundo Lenardão *et al.* (2003), nos últimos anos foram desenvolvidos catalisadores altamente seletivos e efetivos em transformações, em geral, complexas e difíceis de serem previstas.

As reações que fazem uso de catalisadores heterogêneos possuem a vantagem de serem mais limpas e seletivas, pois o catalisador poderá ser reutilizado e reciclado ao final da reação. Além disso, ocorre a redução de formação de sais inorgânicos como produto da reação e diminuição de resíduos. Alternativas verdes podem ser citadas como a biocatálise, a fotoquímica e a síntese biomimética. As indústrias farmacêuticas têm substituído as metodologias clássicas de obtenção dos fármacos por métodos catalíticos como tecnologia limpa dos processos químicos (LENARDÃO *et al.*, 2003).

A utilização de processos catalíticos na indústria apresenta diversas vantagens, pois torna viáveis reações termodinamicamente favoráveis onde o equilíbrio não se estabelece em tempo economicamente aceitável, além disso, o emprego de catalisadores podem realizar reações em condições menos energéticas (pressão e temperatura inferiores), favorecendo um considerável ganho energético, reduzindo as reações laterais ou secundárias, formando menos co-produtos e, conseqüentemente, produzindo reações mais seletivas. Outra vantagem importante

da aplicação industrial da catálise é a excelente economia atômica de muitos processos catalíticos (SILVA *et al.*, 2005).

3.1.1.10 - Desenho para a Degradação

“Idealmente, deve-se dar origem a compostos que sejam degradados a produtos inócuos, logo após cumprirem a sua função”. (ANASTAS, 1998)

A Química Verde atua como uma ferramenta para a criação de materiais biodegradáveis. Desta forma, no processo de desenvolvimento de um produto químico é necessário avaliar em quais substâncias ele se degrada, pois, os produtos originados da degradação podem ser tóxicos, contendo várias periculosidades que podem aumentar o risco para a saúde humana e ambiental. Para facilitar a sua degradação é possível colocar grupos funcionais na sua estrutura. Deve-se adicionar funcionalidades que propiciem reações de hidrólise, fotólise ou outras que assegurem que o produto seja biodegradável (RAMOS, 2009).

3.1.1.11- Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição

Devem fazer parte do desenvolvimento dos processos químicos os métodos e as tecnologias que permitam a prevenção e a minimização da produção de substâncias perigosas, pois a QV pondera a premissa de que “ não controlamos aquilo que não medimos” (DAVIS; FOX *apud* RAMOS, 2009, p.24). Neste sentido, é necessário empregar sensores precisos, monitores e técnicas analíticas que permitam avaliação com o intuito de reduzir ou eliminar a formação de substâncias perigosas (RAMOS, 2009).

3.1.1.12 - Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes

“As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.” (Mc CREED, 1999).

Este Princípio chama atenção para os cuidados que os profissionais e alunos do curso de Química precisam ter durante um procedimento laboratorial, para evitar possíveis acidentes.

Segundo Ramos (2009), é importante orientar a questão da prevenção de acidentes na área da Química e Química Industrial. Neste discurso sempre aparecem às questões envolvendo a toxicidade das substâncias, explosividade, inflamabilidade, entre outros. Os cuidados com a prevenção da poluição são tão importantes quanto à prevenção de possíveis acidentes, uma vez que “as metas da QV devem envolver a gama completa de perigos e não estar apenas focada na poluição e ecotoxicidade” (RAMOS, 2009, p.32).

Observa-se que os Princípios estão intrinsicamente interligados conceitualmente, apesar de apresentar, cada um, a sua particularidade. É necessária e importante a divulgação da sua definição científica para discussão acadêmica para os alunos em formação em Química.

3.2 INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO

Na literatura há vários trabalhos que consideram a importância da inserção da QV nos currículos de química no Brasil.

Segundo Anastas; Kirchhoff (2002, p.686), “Estudantes de todos os níveis precisam ser introduzidos à filosofia e a prática da Química Verde”. Machado (2004) cita a declaração de Tóquio (2003) sobre Química Verde e Sustentável (QUIVES), a qual defende que esta nova abordagem da Química deve embutir, nos jovens cientistas, as competências éticas e práticas requeridas para reorientar a tecnologia química no sentido da Sustentabilidade. Para isso, o autor propõe inserir os princípios da QV em todos os níveis educacionais.

De acordo com o código de conduta da *American Chemical Society* (PRADO, 2003, p.743):

Os químicos têm a responsabilidade profissional de servir ao interesse público e ao bem-estar, através dos seus conhecimentos científicos. Os químicos deverão ter cuidados com a saúde e o bem-estar dos companheiros de trabalho, consumidores e da comunidade; deverão compreender e antecipar as consequências ambientais do seu trabalho. Os químicos têm a responsabilidade de evitar a poluição e proteger o meio ambiente.

Para que os químicos desempenhem suas funções é necessário a introdução da QV nos currículos (ANASTAS *et al.*, 2007; BRAUN *et al.*, 2006; HJERESSEN *et al.*, 2000).

Há uma evolução no interesse no uso da QV nos processos químicos

tradicionais tanto internacionalmente como nos países em desenvolvimento. Esta evolução é marcada por significantes contribuições de instituições interessadas no desenvolvimento alternativo e sustentável da química. O crescimento da QV no meio acadêmico resulta na formação de profissionais com a capacidade de desenvolver metodologias científicas e tecnológicas com aspectos positivos para o planeta (HJERESSEN, 2000; PRADO, 2003).

A aceitação da utilização da QV poderia ser mais fácil se houvesse na matriz curricular do discente a disciplina de toxicologia para informar sobre o perigo potencial ou interação potencial com outros materiais (WARNER *et al.*, 2004).

De acordo com BRAUN e colaboradores (2006), é possível incorporar a QV no ensino da química através das atividades laboratoriais. Deste modo, eles poderão aprender a importância de reduzir ou eliminar o uso ou produção de substâncias perigosas que envolvam riscos para a saúde e para o meio ambiente, além de aplicar os conceitos de prevenção de resíduos e economia de átomos (KIRCHHOFF, 2001; MONTES *et al.*, 2006).

Como os doze princípios da QV foram desenvolvidos para a aplicação em atividades de laboratório, sua inclusão no ensino de química torna-se mais adequada nas aulas de experimentação, porém ainda são muito escassos os relatos da QV no ensino de química experimental na graduação. Muitos graduandos nem sequer conhecem seu conceito ou significado, ainda que em algum momento tenha sido relatada em aulas teóricas (CUNHA; SANTANA, 2012).

Segundo Seidl *et al.* (2017), as iniciativas da inserção da QV no ensino superior ocorreram devido à Escola Brasileira de Química Verde (EBQV). Estes mesmos autores apontam as aulas práticas de laboratório como uma alternativa para inserir a QV no ensino superior, proporcionando aos discentes uma reflexão sobre as inovações tecnológicas mais sustentáveis.

A literatura aponta várias alternativas às práticas de laboratório convencionais. O foco das pesquisas aponta para a necessidade de se desenvolver processos mais eficientes, com base nos doze Princípios da QV.

SANSEVERINO (2002) relata uma breve introdução sobre o uso do aquecimento de micro-ondas em síntese orgânica em seguida, Merat e San Gil (2003) trabalharam a inserção do conceito de economia atômica no programa de uma disciplina de química orgânica experimental.

SILVA; JONES JUNIOR (2001), sugerem a substituição de solventes

orgânicos como meio reacional por água, uma vez que esta minimiza o impacto ambiental, além de ter mais baixo custo e apresentar menor periculosidade operacional.

ARAGÃO *et al.* (2009) estudaram métodos cromatográficos utilizando cromatografia líquida de alta eficiência e os princípios da QV na determinação de metilxantinas em bebidas.

SANTOS; colaboradores (2009), apresentam um experimento envolvendo a reação de oxidação do borneol à cânfora, utilizando água sanitária em acetona. Esta experiência mostra para os estudantes de graduação em química que um produto comercial barato e de baixa periculosidade pode ser um agente de oxidação de alcoóis.

SOUZA *et al.* (2012) relatam que têm aumentado a utilização de argilas como catalisadores heterogêneos em processos, devido a sua disponibilidade, baixo custo e segurança.

OMORI *et al.* (2012) descrevem um procedimento, simples e de baixo custo, para a redução de 4-(dimetilamino)-benzaldeído usando cenoura em água. Esta experiência interdisciplinar pode introduzir os conceitos de biocatálise e QV para discentes de graduação.

O percentual de publicações sobre sínteses verdes, ou que considerem os aspectos de verdura e inovações, é relativamente alto. O número maior de publicações está relacionado às pesquisas realizadas no âmbito da área de Ensino de Química em um contexto de Educação Ambiental, conforme explicado por ZANDONAI *et al.* (2013):

No período de 2008 a 2012, os artigos voltados ao ensino da Química Verde escritos por pesquisadores brasileiros foram publicados em periódicos do país (cerca de 70%), especialmente na revista Química Nova (SBQ). Há trabalhos que permitem ir além da descrição de um roteiro verde, mesmo considerando que estes também cumprem um importante papel, desde que os conteúdos sejam abordados em uma perspectiva epistemológica mais atual, em consonância com as recentes pesquisas da área de Educação e Ensino de Ciências no que tange à experimentação. (ZANDONAI *et al.*, 2013, p. 75)

No Ensino Superior de Química, a QV é um tema pouco debatido, mesmo no contexto atual onde as questões ambientais têm adquirido importante espaço como temática nas instituições de ensino, a discussão abordando os doze Princípios ainda se mostra limitada (ZANDONAI *et al.*, 2013). O processo de ambientalização

curricular discutido por Zuin, Farias e Freitas (2009) evidencia que esse processo ainda é insuficiente para superar concepções simplistas de ambiente. Sobre este processo, ZUIN (2008) explica:

Definida como um processo complexo de formação de profissionais que se comprometem continuamente com o estabelecimento das melhores relações possíveis entre sociedade e natureza, contemplando valores e princípios éticos universalmente reconhecidos, o desafio de sua inserção não se esgota nos espaços curriculares tradicionais (vulgo disciplinares), mas demanda a totalidade das práticas e políticas acadêmicas de ensino, pesquisa, extensão e gestão, ou seja, os pilares sobre os quais se estrutura a nossa ideia contemporânea de universidade. (ZUIN, 2008, p.6)

Há necessidade de se investir mais nos campos de formação de professores da química e em outros cursos que envolvam o conhecimento da química (Engenharia Química, Química Industrial etc) no sentido da ambientalização curricular. De acordo com Zandonai *et al.* (2013), tais ideias corroboram para integrar os conteúdos de química com os de outras áreas do conhecimento levando o aprendiz a identificar, refletir, e se posicionar diante das questões ambientais contemporâneas. Através de uma visão integrada da química, os princípios da Qv deverão estar inseridos transversalmente no currículo (ZANDONAI *et al.*, 2013).

ALMEIDA *et al.* (2018) descrevem experimentos didáticos envolvendo conceitos de Química Verde nas aulas práticas de química orgânica dentre as experiências é descrito o procedimento de formação do bioplástico a partir da reação, à quente, da tapioca comercial com suco de limão. A vantagem deste bioplástico é a sua rápida degradação em duas semanas, reduzindo a formação de resíduos químicos no meio ambiente. Os mesmos autores também destacam a experiência realizada com a cromatografia em coluna, utilizando como fase estacionária açúcar no lugar da sílica para separar as cianinas presentes nos hibiscos vermelhos. Ainda nesta experiência foi utilizado hexano e acetato de etila (7:3) e posteriormente etanol para fazer a eluição. Esta experiência está de acordo com o quarto princípio de química verde.

ALMEIDA *et al.* (2018) relatam uma síntese de esterificação do acetato de isoamila utilizando ultrassom. De acordo com os autores, esta metodologia pode ser utilizada para sintetizar outros ésteres. A reação com ultrassom oferece rapidez e maior rendimento quando comparado com a prática feita usualmente.

3.3. EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

As atividades experimentais laboratoriais em cursos de formação profissional na área de química e afins se caracterizam por mobilizarem um conjunto de conhecimentos teóricos e o desenvolvimento de habilidades e competências em relação aos aspectos práticos da química. Através dos modelos de observação destas atividades, o estudante deve ser levado ao pensar e ao agir, desenvolvendo seu senso crítico em relação à prática profissional. Tal prática deve contemplar o domínio teórico-prático dos saberes associados ao fazer da química como também a consciência do processo químico como um todo, inclusive os ambientais, econômicos e sociais.

À medida que o aprendiz desenvolve seus conhecimentos teóricos e os associa ao conhecimento prático, desenvolve também a sua intuição para compreender as experiências, reforçando seu aprendizado de forma significativa.

As atividades experimentais assumem um importante papel na promoção da aprendizagem, uma vez que os fenômenos químicos observados e verificados macroscopicamente requerem interpretação no nível microscópico, através das propriedades físicas e químicas das moléculas e átomos.

No contexto do ensino-aprendizagem as atividades experimentais estimulam os alunos a interpretar informações, relacionando o conhecimento científico com os aspectos do seu cotidiano, despertando a curiosidade e questionamentos (SILVA; MOURA; DELPINO, 2015).

A atividade experimental deve ser sistematizada a fim de proporcionar ao aprendiz um aprendizado crítico e reflexivo, tornando-o sujeito de sua própria aprendizagem (SILVA; MOURA; DEL PINO, 2017). O papel do professor neste caso deverá ser de um agente problematizador despertando no aluno o senso de observação do experimento, auxiliando-o a reconhecer a constante necessidade de novos conhecimentos a fim de alcançar uma significativa interpretação dos resultados experimentais. Durante este processo de ensino e aprendizagem ocorre mudança de atitude do aluno, que deixa de se comportar apenas como ouvinte e observador de aulas expositivas e passa a refletir, pensar, questionar e argumentar, participando de discussões propostas pelo professor.

A experimentação pode se desenvolver a partir de quatro concepções (ROSA; ROSA, 2010):

- Demonstrativa: está centrada no propósito da comprovação de uma teoria, impossibilitando a construção do conhecimento científico. O resultado final é entregue de forma acabada. A ciência é apresentada como sendo imutável e com verdades absolutas.
- Empírico-Indutivista: o conhecimento científico é obtido através de observações e do uso do método científico. Nesta concepção, o conhecimento científico é composto por verdades fixas e inquestionáveis, semelhante à demonstrativa.
- Dedutivista-Racionalista: as hipóteses direcionam a experimentação. Ocorre a valorização da construção do conhecimento científico, sendo este mutável e passível de reformulações.
- Construtivista: O ponto de partida é o conhecimento prévio dos discentes. O conhecimento científico tem origem nos conceitos já presentes, seja pelo aprimoramento de ideias mais simples, ou através da total mudança de determinado conceito. O fator mais importante a ser considerado é a realidade do aluno no processo. A seguir veremos algumas abordagens no uso da experimentação.

3.3.1 Experimentação como atividade demonstrativa

De acordo com Thomaz (2010), a abordagem mais utilizada pelos professores no Ensino de química ou Ciências é a experimentação demonstrativa. Os resultados da pesquisa realizada pelo autor a partir de respostas de professores secundaristas através de um questionário sobre as metodologias experimentais utilizadas mostram que:

Quanto ao tipo de trabalho experimental e frequência da sua utilização, entre os diferentes tipos de trabalho experimental discriminados: “demonstrações efetuadas pelo professor”, “verificações feitas pelos alunos em grupo”, “verificações feitas pelos alunos individualmente”, “pequenas investigações feitas pelos alunos”, é a “demonstração feita pelo professor” o tipo predominantemente utilizado pela maioria dos professores. As abordagens centradas no aluno são “frequentemente” ou “quase sempre” não utilizadas. (THOMAZ, 2010, p. 366).

A desvantagem da experimentação demonstrativa ocorre quando o experimento é apresentado na sua forma pronta e acabada, pois impossibilita a valorização dos conhecimentos prévios dos alunos, o levantamento e construção de hipóteses explicativas, impedindo que os alunos se envolvam em discussões e cheguem às próprias conclusões. Os conhecimentos prévios dos discentes são

desvalorizados e a construção do conhecimento científico se torna impossibilitada.

A experimentação quando utilizada de forma adequada pode se tornar um recurso pedagógico eficaz na construção de conceitos. Por outro lado, se for acompanhada por um processo investigativo, torna-se uma excelente ferramenta, possibilitando criar situações que resultem na motivação dos discentes.

Silva; Zanon (2000) afirmam que a utilização da Experimentação demonstrativa como única alternativa de metodologia de ensino pode desestimular o aluno a respeito dos fenômenos que o cercam, desestimulando a vontade de aprender ciências e de experimentar. Portanto é necessário apresentar situações de problematização para serem resolvidos em grupo. Sem a relação teórico-prática a experimentação não acrescenta nada no processo ensino-aprendizagem. Quando o experimento é apresentado de forma questionadora, pode favorecer uma interação social entre os alunos e o professor, contribuindo para a aprendizagem (GASPAR; MONTEIRO, 2005).

3.3.2 Experimentação como atividade de verificação

As atividades de verificação são empregadas com a finalidade de verificar ou confirmar uma lei ou teoria. Esta atividade proporciona aos alunos a capacidade de interpretar parâmetros que determinam o comportamento dos fenômenos observados, articulando-os com conceitos científicos que conhecem e de fazer generalizações, quando os resultados dos experimentos são extrapolados para novas situações. (ARAÚJO; ABIB, 2003).

Estas atividades são empregadas pelos professores nas escolas com o intuito de motivar os alunos, tornando o ensino mais realista, fazendo com que a abordagem do conteúdo não se restrinja apenas ao livro texto. Algumas vantagens são apontadas pelos professores para a sua utilização: os estudantes podem aprender técnicas e manusear equipamentos; requer pouco tempo para preparar e executar; é mais fácil de supervisionar e avaliar o resultado final obtido pelos alunos; maior probabilidade de acerto etc. (ARAÚJO; ABIB, 2003). A aplicação de atividades experimentais de verificação é mais adequada quando os alunos estão pouco familiarizados com aulas experimentais e não apresentam habilidades no manuseio de vidrarias e reagentes necessários à realização de atividades experimentais.

3.3.3 Experimentação como atividade de investigação

As atividades investigativas requerem do aluno a participação ativa em todas as etapas da investigação, desde a interpretação do problema até uma possível resolução para ele, ou seja, é um processo de reflexão, pois o aluno deverá, inicialmente, identificar o problema, pensar em métodos de desenvolvimento, para, finalmente, chegar a uma conclusão sobre o observado. Deste modo, a experimentação investigativa, proporciona ao educando a chance de analisar situações problemáticas, coletar dados, elaborar e testar hipóteses, argumentar, discutir com as equipes (SUART; MARCONDES, 2008).

Durante o desenvolvimento de atividades de investigação, os alunos necessitam interagir uns com os outros a fim de buscar explicação para os fenômenos observados. O professor atua como mediador entre o grupo e a tarefa, intervindo nos momentos onde há indecisão, falta de clareza ou consenso. Enquanto os alunos fazem os seus questionamentos, o docente os motiva a chegar às conclusões a respeito do fenômeno observado. (WILSEK; TOSIN, 2012).

Conforme enfatizam Hofstein; Lunetta (2003), as abordagens investigativas tiram o aluno do papel de sujeito passivo, que executa a experiência como se estivesse seguindo uma receita de bolo e o coloca em ação, pois a ideia é a de relacionar, planejar, discutir, dentre outros fatores importantes, o que não se observa em uma abordagem tradicional.

Com base nas discussões apresentadas, elaborou-se o Quadro 1 com o objetivo de efetuar uma comparação entre as abordagens de demonstração, verificação e investigação, elencando suas principais características, como participação do aluno e do professor, vantagens e desvantagens.

Quadro1- Comparação entre formas de abordagens na Experimentação.

	Abordagens na Experimentação		
	DEMONSTRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	INVESTIGAÇÃO
Papel do professor	Executar o experimento; fornece as explicações para os fenômenos	Fiscalizar a atividade dos alunos; diagnosticar e corrigir erros.	Orientar as atividades; incentivar e questionar as decisões dos alunos.
Papel do aluno	Observar o experimento; em alguns casos, sugerir	Executar o experimento; explicar os fenômenos	Pesquisar, planejar e executar a atividade; discutir explicações.

	explicações.	observados	
Roteiro de atividade experimental	Fechado, estruturado e de posse exclusiva do professor.	Fechado e estruturado.	Ausente ou, quando presente, aberto ou não estruturado.
Posição ocupada na sala	Central, para ilustração: ou após abordagem expositiva.	Após a abordagem do conteúdo em aula expositiva.	A atividade pode ser a própria aula ou pode ocorrer previamente à abordagem do conteúdo.
Algumas vantagens	Demandam pouco tempo; podem ser integrada à aula expositiva; úteis quando não há recursos materiais ou espaço físico suficiente para todos os alunos realizarem a prática.	Os alunos têm mais facilidade na elaboração de explicações para os fenômenos; é possível verificar através das explicações dos alunos se os conceitos abordados foram bem compreendidos.	Os alunos ocupam uma posição mais ativa; há espaço para a criatividade e abordagem de temas socialmente relevantes; o “erro” é mais aceito e contribui para o aprendizado.
Algumas desvantagens	A simples observação do experimento pode ser um fator de desmotivação; é mais difícil para manter a atenção dos alunos; não há garantia de que todos estarão envolvidos.	Pouca contribuição do ponto de vista da aprendizagem de conceitos; o fato dos resultados serem relativamente previsíveis não estimula a curiosidade dos alunos.	Requer maior tempo para a sua realização. Exige um pouco de experiência dos alunos na prática de atividades experimentais.

Fonte: Oliveira, (2012)

A experimentação é uma metodologia usada para melhorar a compreensão dos alunos sobre os fenômenos, que se explicados em uma aula convencional, não surtiria o mesmo efeito, ou seja, a utilização de modelos nos remete ao abstrato para compreender o concreto.

As abordagens demonstrativa e de verificação, por se mostrarem fechadas, com uma menor participação dos alunos em relação ao método investigativo, apresentam um menor efeito sobre a construção do conhecimento.

Conclui-se então que os processos de aprendizagem de conteúdos conceituais e procedimentais são enriquecidos por meio de atividades investigativas.

Cada abordagem na experimentação, seja ela Demonstrativa, de Verificação ou Investigativa apresenta a sua potencialidade, dependendo dos objetivos que o docente tem com o uso do experimento, assim como outras características que devem ser consideradas como tempo, espaço, disponibilidade de material etc. O importante é compreender os diferentes tipos de abordagem para que possam ser aplicadas com objetivos bem definidos e com estratégias que favoreçam o

aprendizado de novos conteúdos, procedimentos e atitudes,

A seguir, estudaremos a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que leva em conta as experiências dos estudantes. Esta teoria focaliza, primordialmente, a aprendizagem cognitiva, que ocorre através de processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento.

3.4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS) SEGUNDO DAVID AUSUBEL

Para compreender os processos que ocorrem com os aprendizes, durante uma situação de ensino e aprendizagem, é necessário fazer uso de algumas teorias que descrevam o uso e a retenção do saber, assim como o entendimento e transformação de conceitos envolvidos na cognição do indivíduo (GHEDIN; PETERNELLA, 2016, p.197). Desta forma, optou-se, neste estudo, pela abordagem teórica cognitivista da teoria de David Paul Ausubel para fundamentar a construção de um material didático (apostila/roteiro) organizado de forma lógica, na perspectiva da QV e que contribuísse na formação dos discentes nas aulas experimentais no ensino de Química.

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) foi proposta pelo pesquisador e psicólogo estadunidense David Paul Ausubel (2003), que dedicou sua vida acadêmica ao desenvolvimento de uma visão cognitiva à Psicologia Educacional. De acordo com Padilha *et al.* (2013), David Ausubel, nasceu em Brooklyn, Nova York, em 1918. Trabalhou como médico psiquiátrico. Em 1943 ganhou seu PhD em Psicologia do Desenvolvimento pela Universidade de Colúmbia, Nova York. Foi professor de diversas instituições, como a universidade de Illinois, Universidade de Toronto e universidades europeias, faleceu em 2008.

Para Ausubel, as teorias e os processos de ensino devem estar relacionados à atividade que ocorre na sala de aula e aos fatores cognitivos, afetivos e sociais que influenciam (PRASS, 2012, p.133).

A TAS teve relevante influência de outros autores: Joseph Donald Novak (1981,1984), D.Bob Gowin (1984) e MARCO ANTÔNIO e MOREIRA (2011 (a)).

No Brasil, Marco Antônio Moreira traduziu o livro de Novak (1981) e lançou juntamente com Masini Aprendizagem Significativa (Moreira; Masini, 1982).

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) foi proposta em 1963, por David Ausubel e ao longo dos anos outros autores vem agregando contribuições

com diferentes visões, da clássica até a crítica, adaptado de MOREIRA (2005) por SUÁREZ SILVA (2017), de acordo com a Quadro 2:

Quadro 2 - Aprendizagem Significativa: da visão clássica a visão crítica

Período	Autor	Visão	Definição de Aprendizagem Significativa
1963	David Ausubel	Clássica	Interação cognitiva não arbitrária e não literal entre o novo conhecimento, potencialmente significativo e algum conhecimento prévio relevante, chamado subsumor, existente na estrutura cognitiva do aprendiz.
1980 1990	Josef Novak	Humanista	Construção humanista que subjaz a integração construtiva, positiva, entre pensamentos, sentimentos e ações que conduz ao engrandecimento humano.
	Gowin	Interacionista social	Abordagem triádica (aluno-professor-materiais educativos do currículo), na qual o processo ensino-aprendizagem é uma negociação de significados cujo objetivo é compartilhar significados a respeito dos materiais educativos do currículo.
	Johnson-Laird	Cognitiva contemporânea	Construção de modelos mentais a partir de conhecimentos que o indivíduo já tem em sua estrutura cognitiva e daquilo que ele percebe de uma nova situação (novo conhecimento), seja por percepção direta, descrição ou percepção dessa situação.
1990-2000	Vergnaud	Complexidade e Progressividade	Construção de campos conceituais através da interação entre situações-problema (novos conhecimentos) e os conceitos em construção.
	Maturana	Autopoética	Interações perturbadoras entre a perturbação (novo conhecimento) e as explicações reformuladas pelas experiências (subsumores), que modificam a estrutura dos conhecimentos prévios sem alterar sua organização.
	Araújo e Veit	Computacional	Construções de representações mentais, que são representações internas com um certo grau de estabilidade, que podem modificar-se à medida que incorporam novas informações.
2000	Moreira	Crítica	Integração que o sujeito faz entre os conhecimentos significativos e a sociedade de forma crítica, subversiva e antropológica.

De acordo com Moreira (2006), a aprendizagem significativa é apresentada sob duas perspectivas cognitivas: uma a partir da visão clássica, proposta por David Ausubel na década de 1960, e a visão humanística, a partir de estudos de Josef D. Novak e D. Bob Gowin, a partir da década de 1980.

“Na visão clássica, aquilo que o aprendiz já sabe é o mais importante fator isolado que influencia a aprendizagem. Naturalmente, então, o ensino deve, necessariamente, ser conduzido de acordo” (MOREIRA, 2006, p.2) Além disso, complementa-se: “pode-se dizer que a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora a conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz” (GUIMARÃES, 2009, p.199).

Segundo Moreira (2006), na visão humanista proposta por Novak e Gowin, a aprendizagem significativa ocorre quando o aprendiz está disposto a novas aprendizagens.

A importância da perspectiva humanística se efetiva quando ocorre predisposição para aprendizagem significativa coincidindo com a integração de pensamentos, sentimentos e ações inerentes ao aluno. Estes autores, apoiados na visão Vygostikyana, consideram uma abordagem triádica interacionista da aprendizagem, nas quais existem as relações aluno-professor-materiais educativos. Estas relações influenciam significativamente na assimilação de novos conceitos, sendo o objetivo principal desta abordagem triádica o compartilhamento de ideias que tragam significados e que são firmados com os discentes para a ocorrência da aprendizagem. O essencial nesta negociação de significados é que os alunos aprendam, uma vez que envolvem conceitos e representações. (MOREIRA, 2006, 2009).

Ausubel desenvolveu pesquisas sobre a aprendizagem significativa que se caracteriza pela interação entre os conhecimentos prévios e conhecimentos novos e que essa interação é não-litera e não-arbitrária. Não-litera significa substantiva, não ao pé-da-letra e não-arbitrária significa que o indivíduo possui algum conhecimento prévio na sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 2011, p.14). Este conhecimento prévio foi denominado de subsunçor (AUSUBEL, 2000). Este é um conhecimento específico existente na estrutura de conhecimento do aprendiz, podendo ser uma concepção, um construto ou um modelo na organização cognitiva do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe será apresentado ou por ele descoberto. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva, facilitando o processo de novas aprendizagens.

Para que a aprendizagem seja significativa é necessário que haja uma interação entre os conhecimentos prévios e conhecimentos novos e que essa interação seja não-litera e não-arbitrária. Neste processo os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva, facilitando o processo de novas aprendizagens (MOREIRA, 2011, p.18).

Ao conjunto de conhecimentos que o aprendiz traz consigo, David Ausubel denominou de estrutura cognitiva a qual serve de ancoragem para o professor levar em consideração no ato de ensinar. Desta forma é importante que o professor elabore seus conteúdos de aula iniciando por conceitos mais amplos que deverão ser superpostos por conceitos com menor poder de extensão, pois para que haja aprendizagem significativa é necessário que se estabeleça uma relação entre o

conteúdo que será ensinado e aquilo que o aluno já sabe (uma proposição, um conceito, uma imagem).

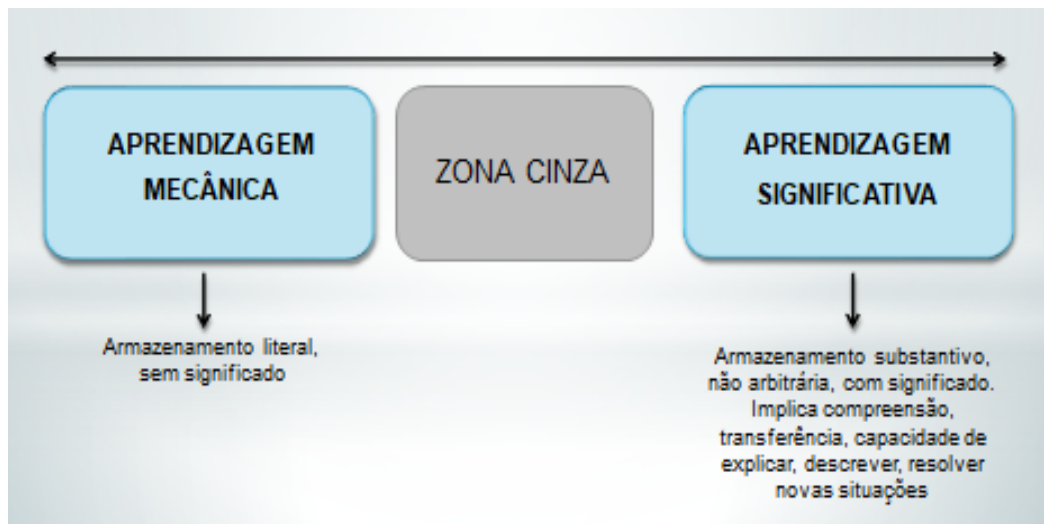
Na aprendizagem de conhecimentos científicos é importante e necessário haver uma hierarquia na organização cognitiva do aprendiz, uma vez que o conhecimento científico é constituído por uma rede de conceitos e proposições inter-relacionadas.

Quando uma informação não é aprendida de forma significativa, ela é aprendida de forma mecânica, sem interagir com as informações relevantes existentes na estrutura cognitiva. Neste caso, diz-se que a nova informação foi armazenada de maneira arbitrária e literal. A aprendizagem mecânica é um recurso muito usado quando o aprendiz memoriza (decora) um conteúdo para fazer provas.

3.4.1 Aprendizagem significativa X Aprendizagem mecânica

De acordo com Ausubel, a aprendizagem mecânica é inevitável no caso de conceitos totalmente novos para o aluno. Ausubel vê como um contínuo a passagem da aprendizagem mecânica para a significativa, mediada por uma “zona cinza” entre as diferentes aprendizagens. Veja a figura 2

Figura 2: Um esquema do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica.



Fonte: MOREIRA, 2011.

Um ensino potencialmente significativo poderá facilitar “a caminhada do aluno através da zona cinza”. (MOREIRA, 2011)

De acordo com Moreira (2011), a passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural, pois depende de subsunções

adequados, da predisposição do aluno a aprender, de materiais potencialmente significativos e da mediação do professor. Na prática, o que predomina é a aprendizagem mecânica.

A aprendizagem significativa é progressiva, onde a construção de um subsunçor é um processo de captação, internalização, diferenciação e reconciliação de significados que não ocorre de imediato, podendo ser bastante longo devido a rupturas e continuidades.
(MOREIRA, 2011).

São as situações-problema que darão sentido aos conceitos e a conceitualização das situações progressivamente acontecendo à medida que o aprendiz vai dominando as mais complexas.

3.4.2 Aprendizagem receptiva X Aprendizagem por descoberta

Segundo Ausubel a aprendizagem significativa pode ocorrer por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem receptiva, a informação é apresentada ao aprendiz na sua forma final, como por exemplo, através de um filme, de um livro, de uma aula, de uma experiência de laboratório. Aprender receptivamente significa que o aluno não precisa descobrir para aprender. Na aprendizagem por descoberta, o aluno necessita descobrir o que vai aprender, este é o exemplo de pesquisas científicas.

Com o decorrer da aprendizagem, o aprendiz irá acumulando conhecimento e fortalecendo suas “ideias âncoras” (subsunçores). Nesta etapa os conceitos passarão a ter significados para o aluno. Para acelerar este processo Ausubel sugere a manipulação da estrutura cognitiva dos alunos através do uso dos organizadores prévios.

Ocorrem casos onde o aprendiz não está com seus subsunçores ativados, neste caso, o professor deverá descobrir quais são esses conhecimentos prévios, ativá-los para dar prosseguimento no novo tema.

As condições para a aprendizagem significativa por recepção envolvem, principalmente, a aquisição de novos significados a partir do material de aprendizagem (material de instrução, matérias, livros, aulas, aplicativos, apostilas,...). Este deverá apresentar significado lógico, isto é, relacionável não-arbitrário e não literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. O aprendiz deverá possuir ideias ancoradas relevantes com as quais esse material possa ser

relacionado, ou seja, o aprendiz deverá ter os conhecimentos prévios necessários para que possa fazer esse relacionamento de modo não-arbitrário e não literal. Neste processo de aprendizagem, é importante que o aprendiz se predisponha a aprender, pois o sujeito que aprende se predispõe a relacionar, diferenciando, integrando, interativamente os novos conhecimentos, (MOREIRA, 2011).

Para Ausubel (2003, p.36) os estudantes necessitam estar ativamente envolvidos nos processos de ensino e de aprendizagem para construir com responsabilidade seus próprios conhecimentos. É através da curiosidade em aprender mais e através de estímulos que ocorre a interação entre os processos de aprendizagem, que devem ser desenvolvidos ativamente na sua própria consciência para adquirir um significado pessoal. Os processos de ensino e de aprendizagem devem ser organizados considerando-se os conhecimentos prévios exibidos pelos estudantes.

De acordo com Moreira (2011, p.26):

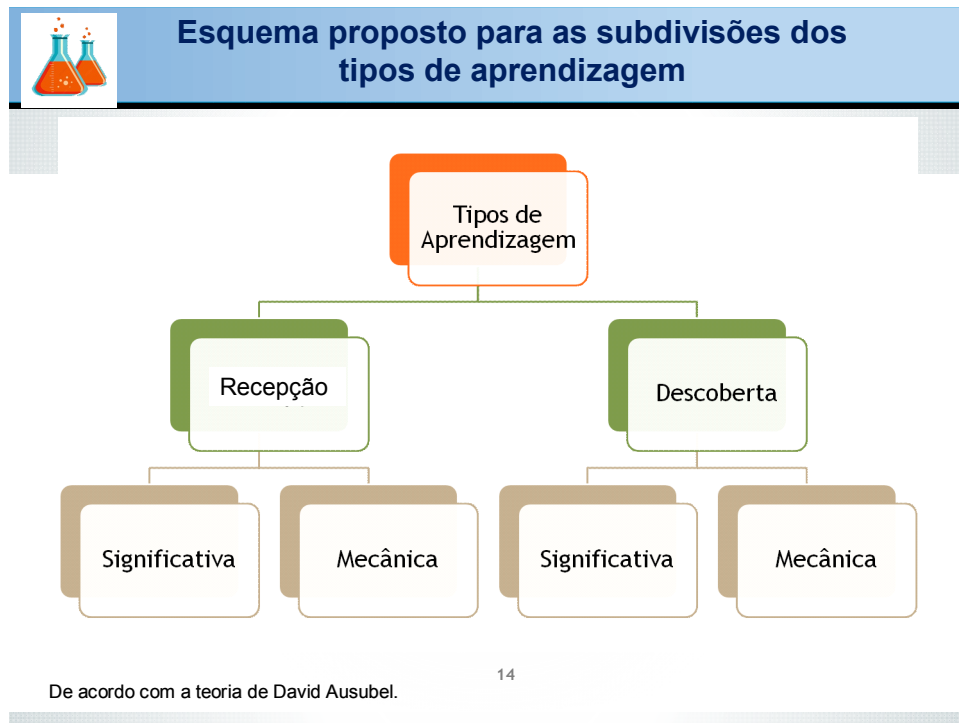
O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes “se ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas ideias, conceitos, proposições podem ser apreendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras ideias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros.

São nesses processos que os conhecimentos pré-existentes são reelaborados tornando-se mais abrangentes e completos. Desse modo a aprendizagem significativa ocorre quando os estudantes conseguem compreender a lógica do material a ser apreendido.

As aprendizagens por descoberta ou por recepção podem ou não ser significativas. MOREIRA (2011) destaca que pode haver uma superposição entre os conteúdos aprendidos por recepção e por descoberta, uma vez que aqueles aprendidos por recepção são utilizados na descoberta de soluções de problemas.

Ausubel considera que as aprendizagens por recepção e por descoberta se situam ao longo de um contínuo de aprendizagem significativa e mecânica. De acordo com a teoria de Ausubel, os tipos de aprendizagens foram esquematizados assim:

Figura 3 - Esquema proposto para as subdivisões dos tipos de aprendizagem, de acordo com a teoria de David Ausubel.



Fonte: A autora

As aulas de laboratório são exemplos de aprendizagem por descoberta dirigida pelo professor. Nesta metodologia o aprendiz se situa entre a recepção e a descoberta, uma vez que o aluno monta seus experimentos, observa os fenômenos ocorridos durante a experiência e tira suas conclusões após assistir às aulas.

Quando o aprendiz se depara com um conhecimento totalmente novo, onde lhe é apresentado pela primeira vez os conhecimentos novos, haverá inicialmente uma aprendizagem mecânica, uma vez que ele não detém de conhecimentos prévios em sua estrutura cognitiva. Neste processo de conhecimento, à medida que o aluno toma posse do novo conhecimento, este vai se integrando na estrutura cognitiva, se tornando em um conhecimento prévio, que servirá de ancoragem (subsunção) para que seja associado às novas informações correlatas, de maneira significativa, aos conhecimentos assimilados por ele. Este processo envolve, simultaneamente, a diferenciação progressiva em sua estrutura cognitiva e a reconciliação integradora de modo a identificar semelhanças e diferenças e

reorganização de conhecimento, ou seja, o aprendiz constrói e produz seu conhecimento.

Moreira; Massini (1982, p.27) acrescentam que

A aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que não é literal e não arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz, e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, adquirindo mais estabilidade.

Assim, o núcleo central da estrutura cognitiva resulta da constituição da interação entre a estrutura cognitiva prévia, ancorada, com o novo conhecimento. Nessa interação ocorre um processo de interação mútua entre a estrutura inicial e o que é necessário aprender. A aprendizagem se torna significativa à medida que:

O material novo, ideias e informações que apresentam uma estrutura lógica, interage com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para a sua diferenciação, elaboração e estabilidade (MOREIRA; MASINI, 1982, P.4).

A assimilação do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz através de um material potencialmente significativo poderá melhorar a retenção, aquisição e organização de uma nova ideia se o conhecimento adquirido com ela permanece ancorado a uma forma modificada de conhecimento relevante na estrutura cognitiva deste aluno. Essa ancoragem permite uma relação não arbitrária e substantiva entre a nova ideia e as já estabelecidas (AUSUBEL, 2003, p.107).

Na aprendizagem mecânica a aprendizagem ocorre “com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes na estrutura cognitiva” (MOREIRA; MASINI, 1982). A aprendizagem significativa e a mecânica não constituem uma oposição em si. Ambas podem aparecer durante o mesmo processo de ensino e aprendizagem em situações que se aproximam mais de uma ou de outra. Essa é a ideia de um *continuum* onde estão localizados esses dois tipos de aprendizagem, conforme Ausubel *et al.* (1978).

A Figura 4 consiste de um gráfico proposto por Novak (1996) que ilustra a diferença e continuidade entre esses tipos de aprendizagem. A variação do tipo de aprendizagem está apresentada desde a “quase memorística até a altamente significativa” e desde a aprendizagem receptiva, onde a informação acabada é apresentada ao aprendiz diretamente, até a aprendizagem por descoberta (NOVAK, 1996, p.23).

3.4.3 Tipos de aprendizagem significativa

Ausubel (2003, p.84), classifica a aprendizagem significativa em: representacional, conceitual e proposicional.

A aprendizagem representacional é a mais fundamental, pois está associado aos significados de símbolos individuais ou o que estes representam. É observada quando se relaciona uma palavra, presente na estrutura cognitiva, à sua representação concreta. Como, por exemplo, a palavra “cão”, que pode ser representada por uma imagem, um objeto. As crianças relacionam de forma não-arbitrária e não-literal esta proposição de equivalência representacional ao conteúdo relevante na estrutura cognitiva.

MOREIRA, (2011, p.38) explica que:

A aprendizagem representacional é a que ocorre quando símbolos arbitrários passam a representar, em significado, determinados objetos ou eventos em uma relação unívoca, quer dizer, o símbolo significa apenas o referente que representa.

O aprendiz aprenderá significativamente uma nova imagem não-abstrata quando associar a ele um novo vocábulo que o represente.

Na aprendizagem conceitual ou de conceitos, Moreira (2011) se refere a conceitos que indicam regularidades em eventos e objetos, indicando que há um contínuo representacional, que visa generalizar o que a primeira especificou, atingindo conceitos mais elaborados. Por exemplo, a aprendizagem conceitual “relaciona mesa a uma infinidade de objetos com propriedades comuns, que uma vez construído o conceito, ele passa a ser representado por um símbolo linguístico”.

Na aprendizagem proposicional são utilizados grupos de palavras para dar significado a uma determinada circunstância, que dependem de aprendizagens anteriores. Implica dar significado a novas ideias expressas na forma de proposição.

Como afirma Moreira (2011, p.39): “as aprendizagens representacional e conceitual são pré-requisitos para o proposicional, mas o significado de uma proposição não é a soma dos significados dos conceitos e palavras nela envolvidos. ” Estes dois tipos aprendizagens podem ser classificados em três formas.

A aprendizagem significativa é dita subordinada quando um conceito é incorporado a uma estrutura ancorada com conhecimentos prévios. A nova ideia ou conceito será subordinada aos conceitos pré-existentes mais gerais e mais abrangentes. Seja por exemplo a palavra ou ideia inicial de escola. Se o aprendiz

sabe o que é uma escola, este poderá incorporar a ideia de diferentes tipos de escola como escola técnica, escola pública etc. Todos os conceitos serão aprendidos através de um processo de ancoragem e subordinação à ideia inicial de escola. (MOREIRA, 2011, p. 36)

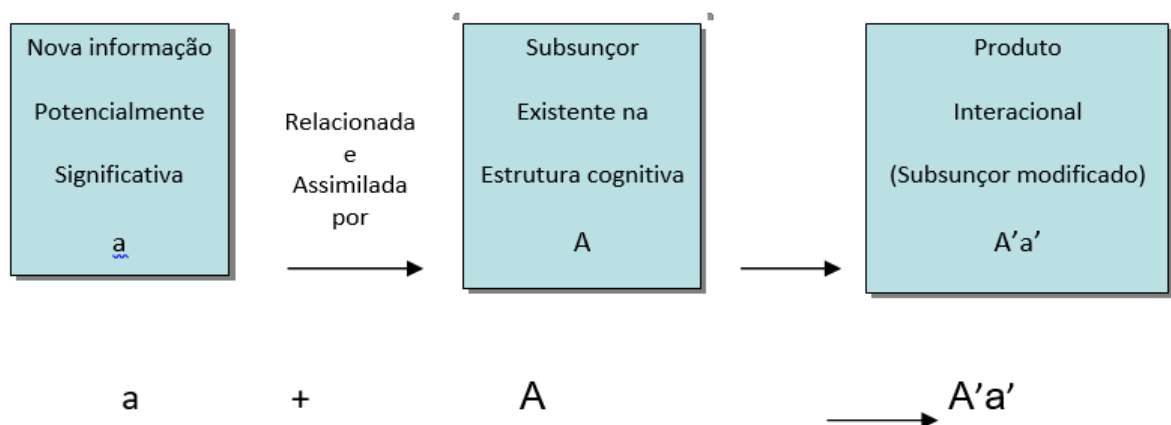
A aprendizagem significativa superordenada ocorre quando uma nova proposição é relacionada a proposições subordinadas específicas relevantes existentes na estrutura cognitiva. Este tipo de aprendizagem envolve processos de abstração, indução, síntese que levam a aquisição de conceitos.

A aprendizagem combinatória se relaciona com conceitos ou proposições amplas de conteúdo, já existentes na estrutura cognitiva. Possui alguns significados comuns aos conhecimentos originais, mas não os subordina e nem superordena.

3.4.4 Processos de aprendizagem

Durante o processo de aprendizagem significativa, ocorre a interação entre os conhecimentos prévios (subsunores), que existem na estrutura cognitiva e os novos conhecimentos ou uma nova ideia. Esta interação é seguida de assimilação de conceitos e, em seguida de obliteração, resultando, finalmente, em um subsunçor modificado. Na figura 5 MOREIRA; MASINI (2001) trazem a seguinte representação para a assimilação:

Figura 5 - Processo de assimilação



Fonte: MOREIRA; MASINI, 2001, p.16.

O produto obtido entre o novo conceito e o subsunçor facilita novas ancoragens, porque ele não inibe seu subsunçor. Ele o torna mais amplo e capaz de reter novas informações, aumenta a complexidade da estrutura cognitiva do

aprendiz, formando um conteúdo cognitivo diferenciado (MOREIRA, 2011, p. 99).

Quando o aprendiz não dispõe de conhecimentos prévios relevantes, Ausubel (2003) sugere a utilização de materiais potencialmente significativos, denominados por ele de organizadores prévios.

Um organizador prévio ou recurso instrucional envolve o uso de materiais introdutórios que se administram antes da apresentação da aula. De acordo com Moreira (2011), são exemplos de utilização de organizadores prévios: um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação, ou seja, um método que aproxime o aprendiz do conceito subsunçor adequado para ancorar um novo conceito.

A função principal do organizador prévio (recurso instrucional) é fazer uma “ponte cognitiva” entre o conhecimento que o aprendiz possui e o que ele deve aprender a fim de que o novo material possa ser aprendido de forma significativa.

Ausubel afirma que quando há aprendizagem significativa, existe compreensão genuína. Neste caso, existe a “posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 14-15). Este autor propõe que sejam realizadas avaliações de diferentes níveis de complexidade para analisar se houve realmente a aprendizagem significativa.

3.4.5. Os materiais instrucionais e a TAS

Moreira (2011) afirma que os recursos didáticos podem ser potencialmente significativos ou não significativos, pois a significação é uma questão individual. Não existem livros, aulas, problemas significativos. Desse modo, é o aluno que dá sentido aos novos conhecimentos que tem relação com os conteúdos estudados e com os conhecimentos relevantes (ideias subsunçoras) armazenados na estrutura cognitiva do aprendiz. A segunda condição é o desejo do aprendiz para relacionar os novos conhecimentos de forma substantiva e não-arbitrária a seus conhecimentos preexistentes. Isto significa que o estudante deve querer aprender. Neste caso, não se trata de motivá-lo, ou este gostar da disciplina, mas que ele saiba comparar interativamente as novas ideias aos conteúdos prévios (subsunçores), de modo a transformar essas novas ideias e dar outros significados (MOREIRA, 2011, p.25). Assim, um material ou tarefa de aprendizagem para ser potencialmente significativo depende da sua própria natureza e da natureza da estrutura cognitiva particular do

aprendiz.

Quanto a sua natureza, o material a ser aprendido deve ser não arbitrário, isto é, deve possuir significado lógico para se relacionar as ideias do aprendiz. O relacionamento não arbitrário ocorrerá quando o material for plausível para proporcionar suporte ideacional que possibilite sua interação com os subsunçores existentes na estrutura cognitiva.

De acordo com Ausubel (2003), “a potencial significação do material de aprendizagem varia com fatores como idade, a inteligência, a ocupação, a vivência cultural etc”.

Para (AUSUBEL *et al.*, 1980, trad) o conhecimento prévio exerce tanta importância na aprendizagem atual, que poderia reduzir a psicologia educacional a um único princípio: o de que a nova aprendizagem deve ser realizada de acordo com o que o aluno já conhece.

Como estratégia de aprendizagem, Ausubel (1968) considera que a própria definição de aprendizagem significativa inclui a revisão de conteúdos por parte do aluno, na medida em que a assimilação do material potencialmente significativo e a consequente mudança da sua estrutura cognitiva dependem de como esse aluno responde às apresentações iniciais e subsequentes do material a ser aprendido.

As estratégias de aprendizagem atuam como ações mentais e comportamentais que propiciam aos aprendizes melhores realizações e qualidade de aprendizagem (WIENSTEIN; MAYER, 1986).

A revisão é uma alternativa de aprendizagem que o aluno pode utilizar para aprender sem a supervisão direta do professor, favorecendo condições de focalizar significados antes despercebidos, enriquecendo a estabilidade (consolidação) dos significados já assimilados, melhorando a força de dissociação dos mesmos, acarretando o aumento da retenção e do acesso ao uso desses significados (AUSUBEL *et al.*, 1980, trad: PONTES NETO, 1991).

O recurso de mapas conceituais (MOREIRA, 1999) pode ser utilizado como estratégia de aprendizagem escolar (NOVAK; GOWIN, 1984; MOREIRA e BUCHWEITZ, 1987).

De acordo com Moreira, o Vê de Gowin (GOWIN, 1981) é outra estratégia de aprendizagem, desenvolvida fora do contexto da teoria de Ausubel, que pode facilitar a aprendizagem significativa, pois, sendo um instrumento metacognitivo pode auxiliar o aluno a aprender por conta própria.

Os materiais instrucionais também podem ser utilizados como organizadores prévios para introduzir uma aula. Neste caso, o professor apresentará ao estudante como material introdutório (texto, livro, jogo etc), antes do material de aprendizagem em si. O conteúdo apresentado desta forma visa transformar a estrutura cognitiva do aluno, possibilitando a formação de novas informações a partir das informações já existentes.

A aprendizagem significativa só ocorre quando o aprendiz transforma o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico, na medida em que esse conteúdo se insere de modo peculiar na sua estrutura cognitiva. Cada pessoa possui um modo específico de fazer esta inserção, tornando essa atitude um processo idiossincrático (AUSUBEL, 2003, p.58). Quando duas pessoas aprendem significativamente o mesmo conteúdo, elas partilham significados comuns sobre o mesmo assunto, no entanto podem apresentar opiniões pessoais sobre outros aspectos do mesmo material, tendo em vista a construção peculiar deste conhecimento.

A aprendizagem mecânica ocorre com a absorção literal e não substantiva do novo material. O esforço necessário para este tipo de aprendizado é menor que na aprendizagem significativa, sendo muito utilizado pelos alunos quando se preparam para fazer exames escolares que exigem respostas literais às suas perguntas, no entanto este tipo de aprendizagem possui um baixo grau de retenção na aprendizagem de médio e longo prazo, acarretando no esquecimento das aprendizagens (AUSUBEL, 2003, p. 59).

Ausubel (2003) sugere o uso da aprendizagem mecânica quando não existirem na estrutura cognitiva do aprendiz subsunçores que facilitem a conexão entre estes e a nova informação. Na ausência destes subsunçores, sugere-se a memorização do conhecimento inicial e, a partir deste, a estruturação do novo conhecimento através da utilização dos organizadores prévios, que servirão de pontes cognitivas entre o que o aprendiz já sabe e o que se espera apreender. Esta construção de conhecimento ocorre com um elevado grau de abstração e inclusividade, favorecendo a construção dos pilares da estrutura cognitiva do aprendiz e, assim facilitar a apreensão de conhecimentos mais específicos.

Ausubel (2003) sugere que o modelo de organização cognitiva proposto para a aprendizagem e a retenção significativas de materiais potencialmente significativos pressuponha a existência de uma estrutura cognitiva, organizada hierarquicamente

com conceitos altamente inclusivos. A maneira mais natural de aquisição de conhecimentos é através da diferenciação progressiva, partindo de uma ideia mais geral e inclusiva para as de menor, cada uma delas ligadas através de um processo de subsunção. Outro modo de favorecer a aprendizagem significativa é através da reconciliação integrativa.

De acordo com Ausubel (2003):

[...] quer a aprendizagem quer a retenção de material potencialmente significativo são influenciadas pelas características das ideias relevantes particulares da estrutura cognitiva, com as quais interagem, e pela natureza deste processo interativo. Por outras palavras, a estrutura cognitiva existente é o principal fator a afetar a aprendizagem e a retenção significativas. (AUSUBEL, 2003, p.60)

Conclui-se que a teoria de Aprendizagem Significativa pode ser uma alternativa viável para se trabalhar em vários contextos da educação, com o intuito de amenizar as dificuldades de aprendizagem, uma vez que ela possibilita o planejamento do ensino visando facilitar a apreensão de conceitos com significados potencialmente significativos.

3.5 FLUXOGRAMAS NO ENSINO

Os fluxogramas surgiram em meados de 1920 a 1930 para documentar processos de negócios. A partir desta década foram usados para desenvolver programas de computador e todos os tipos de algoritmos. (SANTOS, 2017).

O objetivo principal é descrever a sequência de um processo, especificando os recursos utilizados como fonte para as informações. Em cada etapa, deve-se explicitar os materiais e os serviços que entram e que saem do processo, bem como as decisões que são tomadas.

A utilidade do fluxograma é tornar mais fácil a análise do processo, através das entradas e das saídas e dos pontos críticos do processo.

Através de um texto é possível produzir diferentes diagramas, sendo por isso bastante usado em processos químicos, no laboratório e em várias outras situações onde se requeira facilitar a comunicação entre pessoas envolvidas em um mesmo processo.

Um fluxograma que envolva um processo deverá conter as seguintes etapas: um elemento de partida, elementos intermediários, elementos acrescentados, elementos retirados e produto (s) ou resultado (s) final (is) do processo. Se houver ramificações no processo, deverão ser indicadas com clareza, assim como aquelas

que conduzem a obtenção de produtos distintos.

O aluno que se dedica na construção de um fluxograma de um experimento levará vantagens sobre aquele que não o faz, pois estará organizando suas ideias e suas ações para a realização de um bom experimento. Outra vantagem está na otimização do tempo gasto que envolve a organização prévia dos materiais e equipamentos usados na bancada. Acrescente-se a isto a facilidade e rapidez que os fluxogramas oferecem para revisar os procedimentos.

Durante a produção do fluxograma de uma experiência, o aprendiz estará fazendo uma conexão entre a compreensão do roteiro e uma forma de agir ou como fazer no laboratório.

O uso de fluxograma é bastante utilizado nas aulas de Química Orgânica experimental-II, onde se realiza síntese de produtos orgânicos (DANUELLO, A. C.; PEZZA, L.; OLIVEIRA DE, J.E.,2009).

Pode-se afirmar que a construção de fluxogramas possibilita uma aprendizagem com significado, pois desenvolve a formação do pensamento crítico e sistematizado.

Abaixo, um exemplo de fluxograma de uma síntese Inorgânica.

Figura 6 - Fluxograma de uma síntese inorgânica



Fonte: <https://pt.slideshare.net/gremio94/aula-3-relatorio-e-fluxograma>

4 METODOLOGIA

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa de campo envolve a participação da pesquisadora, através da observação participativa, sendo a pesquisa do tipo qualitativa, de acordo com Moreira (2011, p.76).

Esta pesquisa ocorreu com duas abrangências de ação: pesquisa de opinião envolvendo 170 alunos e, em um segundo grupo de pesquisa, ocorreu uma aula investigativa com uma turma contendo onze alunos.

Esta classificação de metodologia de investigação foi adotada porque nos permite um estreitamento entre a relação da teoria com a prática, proporcionando a observação de como o conhecimento é influenciado pela cultura dos próprios alunos e pelas relações desses alunos com outros, com o professor e com o material didático. De acordo com Libêneo (2006), os materiais didáticos são instrumentos facilitadores de aprendizagem, onde o professor os utilizará como pressuposto a realidade dos alunos, tornando uma efetivação da aprendizagem significativa.

Acredita-se que a abordagem qualitativa alcança as respostas dos questionamentos particulares, proporcionando um ambiente propício para interpretação das relações afetivas, dos fenômenos como ações dos alunos e contexto social, que não são reduzidos com a instrumentalização de variáveis e dos processos que são geralmente utilizados nas pesquisas de cunho quantitativo.

Segundo Godoy (1995, p.62), a abordagem qualitativa possui aspectos essenciais, como: o pesquisador como instrumento e o meio como fonte para a coleta e análise de dados; o caráter descritivo tem papel fundamental na obtenção dos resultados; o pesquisador se preocupa com as concepções prévias do investigado e o enfoque indutivo na análise de dados, sendo o processo principal.

4.2 REALIZAÇÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi realizada de março a dezembro de 2019 e de

janeiro a julho de 2020, nas bases de dados do Google acadêmico e portal de Periódicos da Capes, utilizando as palavras-chave: experimentação, aprendizagem significativa (David Ausubel), material de apoio, ensino/aprendizagem, Química Verde, combinados dois a dois.

A instituição escolhida para o desenvolvimento do trabalho foi a Universidade Federal do Rio de Janeiro, localizada na Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro, que possui cursos de graduação com a disciplina de Química Orgânica Experimental-I, em sua ementa, onde ensina as técnicas básicas de Química Orgânica no laboratório.

Com o objetivo na elaboração de um roteiro experimental voltado para a Química Verde foram desenvolvidas duas atividades: aplicação de questionário investigativo, com todas as turmas da disciplina de Química Orgânica Experimental-I, do departamento de Química Orgânica, para conhecer o desejo dos discentes na aquisição de uma apostila ou roteiro e, no período seguinte, aplicação de atividade prática de cromatografia em camada delgada para testar o uso de solvente menos tóxico que o clorofórmio, na referida aula no curso diurno.

O quadro 3 apresenta o método de coleta de dados e como esses dados foram registrados.

Quadro 3 - Método e forma de registro de coleta de dados

ATIVIDADE	PERÍODO	FORMA DE REGISTRO DE DADOS
Análise Prévia	29/10 a 22/11/2018	Questionário inicial investigativo para saber se os alunos de Orgexp-I do Instituto de Química desejam ter uma apostila. Apêndice B, página 97. Total de alunos: 170 Turnos: manhã, tarde e noite
Atividade Experimenta I	10/06/2019	Apresentação do tema da aula: Cromatografia em Camada Delgada. - Roteiro de aula experimental - Comunicação oral - Fluxogramas registrados pelos alunos pré-atividades e pós-atividades experimentais. Questionário 1, figura 7 - Fotografias Total de alunos: 11 Período: manhã

Fonte: A Autora (2021)

A diagnose foi aplicada aos alunos das disciplinas de Química Orgânica Experimental-I, ministradas aos cursos de graduação em Farmácia, licenciatura em Química, Engenharia Química, Química Industrial, Engenharia de Alimentos e Engenharia de Bioprocessos. Participaram desta avaliação 170 alunos. Este questionário foi aplicado pela própria autora deste trabalho. Cabe ressaltar que o resultado desta etapa foi de suma importância para dar continuidade a próxima etapa da pesquisa.

Na segunda fase, ocorreu a atividade experimental para uma turma composta por 11 alunos. Com a finalidade de testar o uso do roteiro e identificar a aprendizagem significativa, foram aplicados dois fluxogramas: um após a leitura e compreensão deste e o segundo após o término da aula.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

O produto desta dissertação foi elaborado com o intuito de contribuir para o trabalho de atividades experimentais em um laboratório de Química Orgânica-I, do Departamento de Química Orgânica. A escrita deste produto (apostila) foi realizada para acompanhar o cotidiano das aulas experimentais dos alunos e docentes, durante as aulas experimentais investigativas.

Este trabalho resultou do acompanhamento das aulas experimentais supracitadas durante dois períodos, do ano de 2019, onde foi possível observar a sequência de aulas de cada turma e analisar as dificuldades que os discentes apresentavam durante as atividades práticas.

A confecção do produto (apostila de Química Orgânica Experimental-I) ocorreu em duas etapas: a primeira foi o levantamento e a análise de várias práticas contidas em livros didáticos de Química Orgânica experimental, apostilas e roteiros da referida disciplina consultada na Internet, durante o ano de 2019. A segunda etapa foi a organização de uma apostila contendo todos os roteiros que contemplam a ementa do curso de Química Orgânica Experimental-I. A apostila é composta por onze técnicas que foram escritas de acordo com o desenvolvimento metodológico de cada aula. A última técnica abordada desta sequência de roteiros é a técnica de cromatografia em camada fina ou delgada (CCF ou CCD), que foi selecionada para a proposta de troca de solvente e posteriormente aplicada como aula investigativa com uma turma contendo onze alunos. A técnica de cromatografia em camada fina

(CCD) foi selecionada por ser uma técnica rápida, de fácil execução, na qual os alunos já aprenderam todas as técnicas anteriores abordadas durante o curso e já adquiriram desenvoltura para trabalhar em laboratório. A ementa desta disciplina está apresentada no quadro 4, abaixo:

Quadro 4 - Ementa de Química Orgânica Experimental-I-DQO-UFRJ

Disciplina: Química Experimental-I

EMENTA:

1. Segurança em laboratório químico.
 - 1.1 Vidraria: uso, manuseio e limpeza.
2. Solubilidade em solventes diversos.
 - 2.1 Classificação sistemática em grupos de solubilidade.
3. Destilação simples.
4. Destilação fracionada.
5. Destilação à pressão reduzida.
6. Destilação por arraste de vapor.
7. Ponto de ebulição.
8. Ponto de fusão.
9. Extração por partição (líquido-líquido).
10. Filtração e agentes dessecantes.
11. Cromatografia em camada fina.
12. Uso do “Handbook” de Química e Física.

Fonte: Sistema de Gestão Acadêmica (SIGA)

O produto é um artefato cultural importante da mediação e apoio do fazer pedagógico. A seleção de práticas foi escrita em consonância com a sequência didática seguida pela professora regente da turma que defende como percurso educativo para o desenvolvimento do educando enquanto lê faz e aprende. O produto é uma possibilidade para os aprendizes conhecerem novas experiências enquanto aprendem. Não tem a pretensão de ser um produto definitivo e acabado, pois à medida que o professor regente quiser ou achar necessário poderá introduzir novas técnicas, substituir técnicas antigas por novas técnicas, etc.

O produto servirá de guia para o discente durante as aulas experimentais e

também o auxiliará na confecção de seus relatórios após cada aula.

O produto assume uma aprendizagem baseada na resolução de problemas, no qual os discentes são orientados a participar ativamente no processo ensino-aprendizagem, no qual o docente atua como mediador e orientador, encorajando e auxiliando o discente no processo de produção de conhecimento em uma abordagem investigativa. Este processo conduz ao desenvolvimento de competências cognitivas e sócio-emocionais, mobilizando os educandos para uma aprendizagem significativa.

Os itens constantes no modelo do roteiro são definidos e comentados abaixo:

4.3.1 Descrição do produto

O produto está dividido em três partes ou capítulos:

Parte 1: Regras de segurança:

Descreve as regras básicas de segurança em laboratório a fim de evitar ou diminuir os riscos de acidentes. Apresenta os pictogramas da classificação de produtos químicos; aconselhamentos sobre a importância de se fazer os registros dos resultados dos experimentos em um caderno exclusivo para esta finalidade; os cuidados com a limpeza da vidraria usada após cada experimentação; uma relação de figuras/nomes de vidrarias de uso comum em laboratório.

Nesta aula sobre as regras segurança, o professor poderá chamar a atenção dos discentes para os doze Princípios de Química Verde, incutindo-lhes a importância de usar os equipamentos de proteção (EPI) adequados à prática de laboratório, obedecer às regras de descarte de rejeitos químicos gerados após cada aula e trabalhar com quantidades reduzidas de solventes e reagentes a fim de reduzir a quantidade de resíduos tóxicos. Estas medidas estão de acordo com o primeiro princípio de Química Verde.

Parte 2: Análise de mistura binária líquida:

Apresenta os diferentes tipos de destilação: destilação simples, destilação

fracionada, destilação à vácuo, destilação por arraste de vapor.

Ainda neste capítulo, são apresentados os testes de solubilidade e ponto de ebulição.

Ao final deste capítulo, o aluno encontrará uma tabela contendo uma lista de possíveis substâncias líquidas, na qual deverá preenchê-la com as estruturas de cada substância seguida de suas constantes físicas: ponto de ebulição, densidade, solubilidade.

Parte 3: Análise de mistura binária sólida

Neste capítulo, serão estudadas as seguintes técnicas: Extração reativa ácido-base, recristalização, determinação do ponto de fusão, cromatografia em camada delgada, adsorção.

Finalizando este capítulo, há uma lista de possíveis substâncias sólidas, onde o discente deverá completá-la com as respectivas estruturas de cada substância, seguida do ponto de fusão e solubilidade.

Cada técnica supracitada possui seus objetivos específicos, correlação com a teoria para situar o aluno sobre os conceitos teóricos necessários à execução da prática; relação de materiais e de reagentes de laboratório necessários para a execução de cada prática; desenho esquemático de cada aparelhagem; procedimento a ser seguido em forma de passos; breve questionário a ser respondido pelo aluno posteriormente a realização da atividade experimental, com a finalidade de fazer o aluno a fixar os conteúdos trabalhados.

Finalizando o produto, há uma lista de referências bibliográficas que podem ser consultadas em caso de dúvida na execução das atividades, no estudo pré ou pós-laboratório.

A última técnica da apostila foi a cromatografia em camada delgada, na qual foi realizada uma pesquisa de solvente menos tóxico para substituir o clorofórmio que é misturado à sílica para posterior fixação nas placas cromatográficas de vidro.

Para substituir o clorofórmio esta pesquisa sugere a mistura de acetato de etila/etanol (foi usada tanto para confecção das placas quanto para eluir as substâncias), na proporção 3:1, pois de acordo com o quinto princípio de Química Verde é necessário fazer uso/substituir substâncias tóxicas por substâncias inócuas

ou menos tóxicas. Acrescenta-se a isto, o fato do clorofórmio ser um solvente bastante tóxico à saúde humana e ao ambiente.

A mistura de solventes (acetato de etila/etanol-3:1) foi previamente testada com duas substância utilizadas como amostra desconhecida e mostrou desempenho favorável na corrida cromatográfica e na revelação com lâmpada de U.V.

Esses roteiros foram organizados em formato de apostila, na mesma ordem das aulas assistidas com a professora regente.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

O público-alvo desta pesquisa foram estudantes do Ensino Superior.

A instituição escolhida para a aplicação da atividade no Ensino Superior foi a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Inicialmente, foi aplicado um questionário em todas as turmas de Química Orgânica Experimental-I, nos períodos da manhã, tarde e noite, de caráter investigativo, para saber se os alunos desta disciplina tinham o interesse em ter uma apostila para orientá-los em suas aulas experimentais. Tais turmas investigadas pertenciam a cursos de graduação em áreas relacionadas à Química como disciplina obrigatória em suas grades curriculares. Essas turmas investigadas pertenciam aos cursos de Licenciatura em Química, Engenharia Química, Bacharelado em Química, Química Industrial. No total, foram 170 alunos que responderam ao questionário investigativo.

O professor regente de cada uma das turmas pesquisadas acompanhou as intervenções, permitindo a aplicação do questionário e posteriormente, ocorreu o consentimento da realização da aula com aplicação do roteiro, estando ciente do trabalho a ser realizado na pesquisa.

Todos os alunos aceitaram livremente participar desta última aula do curso, que seria de cromatografia em camada delgada.

4.5 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados junto a turma de Química Orgânica Experimental-I, contendo onze alunos, foram utilizados fluxogramas, que são diagramas que organizam, de modo sequenciado, ideias, conceitos, processos, pessoas, de modo

visual (SANTOS, 2017).

Além dos fluxogramas, foram utilizadas anotações de campo e registros fotográficos realizados ao longo das atividades desenvolvidas.

Os alunos desenvolveram dois fluxogramas: um antes da aula experimental, a fim de facilitar e organizar as sequências dos procedimentos experimentais e um segundo no final da aula. A confecção destes fluxogramas visou comparar o avanço da aprendizagem do aluno.

4.5.1 Diagnóstico do interesse dos alunos

Foi elaborado um questionário para verificar o interesse em se ter um roteiro para as aulas experimentais (Apêndice B).

Inicialmente, conversou-se com a chefia do departamento de Química Orgânica para saber se havia interesse na confecção de uma apostila de aulas experimentais e, também, buscar orientações quanto à relação de disciplinas existentes no departamento. Em seguida, solicitou-se orientação com a professora-orientadora. Após a conversa com esta, ficou estabelecida a aplicação de uma pesquisa de opinião simplificada nas turmas de Química Orgânica-I (ORGEXP-I).

Foi obtida a grade de disciplinas/horários (Apêndice A). A grade de horários foi de grande importância, pois através dela foi possível ter acesso às turmas para se aplicar os questionários nos dias e horários corretos, bem como pedir permissão para cada professor das diferentes turmas para a aplicação dos questionários.

Elaborou-se um questionário de opinião (Apêndice-B) para avaliar se o aluno considera importante o uso de uma apostila experimental de laboratório e para saber o tipo de formação que esse aluno obteve no ensino médio (formação técnica ou ensino médio básico). O questionário foi aplicado no período de 29/10 a 22/11/2018, nas turmas da manhã, da tarde e da noite. Cada aula de laboratório tem a duração de 4 horas, aproximadamente. Após a aquisição das respostas dos questionários, os dados foram organizados em gráficos e tabelas.

Utilizou-se o questionário, pois é bastante utilizado para a coleta de dados nas aulas de ciências, sendo valorizado pelos professores. Segundo Cervo e Bervian (2002), o questionário utilizado como instrumento de análise prévia implica em buscar conceitos que existem na estrutura cognitiva do aluno, afim de que possam ser construídas proposições a partir desses conceitos. Para esses autores,

O questionário é uma forma mais usada para coletar dados, pois, possibilita medir com melhor exatidão o que se deseja. Em geral, a palavra questionário refere-se a um meio de obter respostas às questões por uma fórmula que o próprio informante preenche. [...] eles contêm um conjunto de questões, todas logicamente relacionadas com um problema central. (CERVO E BERVIAN, 2002, p.48).

As perguntas dos questionários podem ser abertas ou fechadas. As perguntas fechadas contêm opções de resposta previamente delimitadas, sendo, portanto, mais fáceis de codificar e analisar, enquanto as perguntas abertas não delimitam as alternativas de resposta. São úteis quando não há informação suficiente sobre as possíveis respostas das pessoas.

Portanto, optou-se pela aplicação de questionário fechado, que se caracteriza como uma ferramenta útil que possibilita resultados eficazes para análise do conhecimento prévio dos discentes.

4.5.2 Desenvolvimento de aula prática com roteiro e inserção de princípios de Química Verde

A fim de se introduzir uma roteirização prévia às aulas de Química Orgânica Experimental-I (ORGEXP-I), foi elaborado um roteiro experimental em uma das aulas. Os roteiros foram impressos e distribuídos para cada estudante, mediante autorização prévia da professora regente, que permaneceu na aula acompanhando a pesquisa.

A turma é composta por onze alunos. Estes alunos se organizaram em duplas. O tema da aula foi Cromatografia em Camada delgada (CCD), um método de separação de misturas.

A aula de cromatografia foi realizada com o auxílio de um roteiro para motivar o aluno e auxiliá-lo durante a aula. Inicialmente foi realizada uma leitura do roteiro, seguida de explicações teóricas e exemplos. Durante a leitura foram realizados esquemas do processo cromatográfico no quadro. Algumas dúvidas dos alunos também foram sanadas, durante as explicações usando o quadro e o giz. Após o término da explicação do funcionamento da técnica de cromatografia em camada delgada (CCD), foi solicitado ao aluno que fizesse um fluxograma indicando as funções responsáveis pela atividade e os recursos necessários para realizar a análise cromatográfica das amostras deles. O objetivo desta etapa foi analisar se o

aluno entendeu a lógica de informações que caracteriza a técnica cromatográfica.

Durante a aula experimental foi observado que alguns alunos quando tinham dúvidas, chamavam o professor ou o monitor para tirar dúvidas usando a apostila.

Após o término da aula, solicitou-se ao aluno que fizesse um segundo fluxograma baseado na prática realizada, sem consultar o anterior. Nesta segunda etapa, o objetivo foi analisar se o aluno conseguiu agregar novos conhecimentos com o auxílio da prática experimental acompanhada de leitura da mesma. Ao final desta etapa, foi distribuído, a cada aluno da turma, um questionário para investigar se esse aluno fez curso técnico em Química, se já havia aprendido a técnica de cromatografia em camada delgada antes, com que frequência ele consultava o livro texto do PAVIA, adotado pela disciplina de Química Orgânica Experimental-I. Finalmente, perguntava-se no questionário, se o aluno considerava importante ter uma apostila para fazer uso durante as aulas experimentais de ORGEXP-I.

4.5.3 Proposta de mudança de substâncias

As atividades em laboratório requerem atenção especial, pois grande parte das substâncias apresenta grau de toxicidade consideráveis, requerendo sempre de alunos e professores atenção e precauções a serem tomadas. Devido a isso, foi proposta a mudança de um solvente tóxico (clorofórmio- CHCl_3) misturado à sílica gel, na cromatografia de camada delgada, por uma mistura de solventes menos tóxica, como a mistura de acetato de etila/etanol (usada tanto para confecção das placas quanto para eluir as substâncias) na proporção 3:1, adicionada à sílica-gel em pó (TLC, Silicagel, 60 G, F254), (TAYGERLY *et al.*, 2012).

Abaixo, segue o quadro-5 relatando a periculosidade e toxicidade do Clorofórmio.

Quadro 5 - Periculosidade e Toxicidade do Clorofórmio.

Produto químico	Periculosidade/toxicidade
Acetato de etila	Líquido inflamável que provoca irritação ocular grave, sonolência ou vertigens. Pode provocar pele seca por exposição prolongada. <u>Toxidez aguda:</u> DL50 oral-ratazana = 5620 mg/kg CL50 inalação – rato- 2h – 45000 mg/m ³
Etanol	Líquido inflamável. <u>Toxidez aguda:</u> DL50 oral- ratazana = 7060 mg/kg

	CL50 – inalação- ratazana = 10 h – 20.000 ppm
Clorofórmio	Nocivo por ingestão. Irritante à pele; possibilidade de efeitos cancerígenos Efeitos graves para a saúde em caso de exposição prolongada por inalação e ingestão <u>Toxidez aguda:</u>
Clorofórmio	DL50 oral- ratazana =690 mg/kg CL50 – inalação- ratazana – 4h – 47.702 mg/m ³

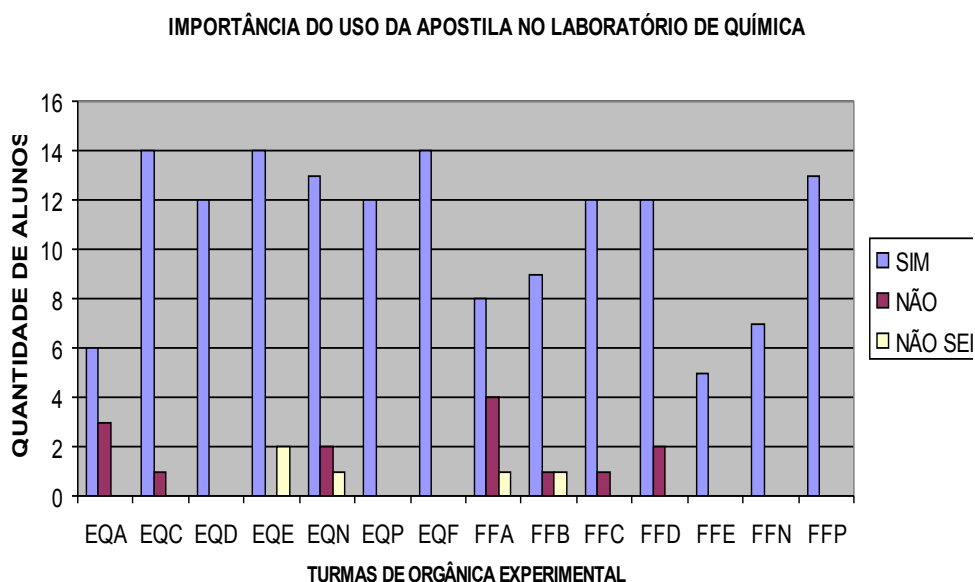
Fonte:SIGMA ALDRICH

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNÓSTICO DO INTERESSE DOS ALUNOS

Após o recolhimento dos questionários respondidos, os resultados foram organizados na forma de gráfico e apresentados a seguir (Figura 7), onde as legendas EQ referem-se às turmas do curso de Engenharia Química e as legendas FF referem-se às turmas do curso de Farmácia.

Figura 7 - Pesquisa de opinião sobre a importância do uso de apostila nas aulas experimentais de laboratório



A figura 7 se refere à pesquisa realizada no primeiro período de 2019, na turma de Química Orgânica Experimental-I da Engenharia Química, no turno da manhã. Estes alunos cursam esta disciplina no segundo período.

No gráfico da figura 7, as siglas representam: EQ – Escola de Química; FF –

Faculdade de Farmácia.

Através da análise geral da figura (7), observa-se que predomina a opção sim, revelando que a maioria dos alunos deseja ou valoriza o uso da apostila para consultá-la durante as aulas experimentais.

O uso da apostila nas aulas experimentais mostrou-se significativo tanto para o aluno que tem formação técnica no nível médio quanto para o aluno que cursou apenas o ensino básico, pois auxilia esses alunos nas novas aprendizagens que irão obter durante o curso.

Foi observado que o resultado do desenvolvimento do produto foi satisfatório, pois os alunos interagiram bem com a leitura e com os professores, mostrando-se motivados em resolver bem os testes e interpretar os resultados cromatográficos com clareza de entendimento.

Figura 8 - Questionário-I

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA DA UFRJ
 PEQUI-UFRJ
 QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I
 Aluna: Regina Célia Gagliardo
 Professores-orientadores: Paula Lessa dos Santos e José Celestino Barros
 Proposta de Aula para Prática de Ensino-2
 Tema: Cromatografia em camada delgada/fina
 Data: 10/06/2019

(I)

CURSO: ORGEXP-1 – DQO
 Prof. Nanci/ Magaly

QUESTIONÁRIO?

Nome: _____

1- Curso: _____ Engenharia Química () Química Industrial (X) Outros: especificar

2- Fez curso Técnico em Química no nível médio? Sim (X) Não ()

3- Se você fez Escola Técnica de Química, você aprendeu Cromatografia em Camada Fina?

Sim (X) Não ()

4- Fez outro curso técnico no ensino médio? Sim () Não (X)

5- Se sua resposta foi sim, no item (3), especificar: Sim

6- Com que frequência você tem consultado o livro texto do PAVIA para acompanhar as aulas de Orgexp-1?

Sempre ()

Às vezes (X)

raramente ()

Nunca ()

7- Você acha importante o uso de uma apostila para acompanhar as aulas experimentais de ORGEXP-1?

Sim (X)

Não ()

Não sei ()

Justificativa: Pela ausência de rotas experimentais e de reagentes operacionais, a apostila é fundamental para auxiliar o desenvolvimento da prática e, posteriormente, a elaboração do relatório

Fonte: A autora

O questionário-I, da figura (8), mostra que os alunos consultam pouco o livro texto, consideram a apostila importante para ser usada durante as aulas experimentais e para orientá-los na confecção dos relatórios.

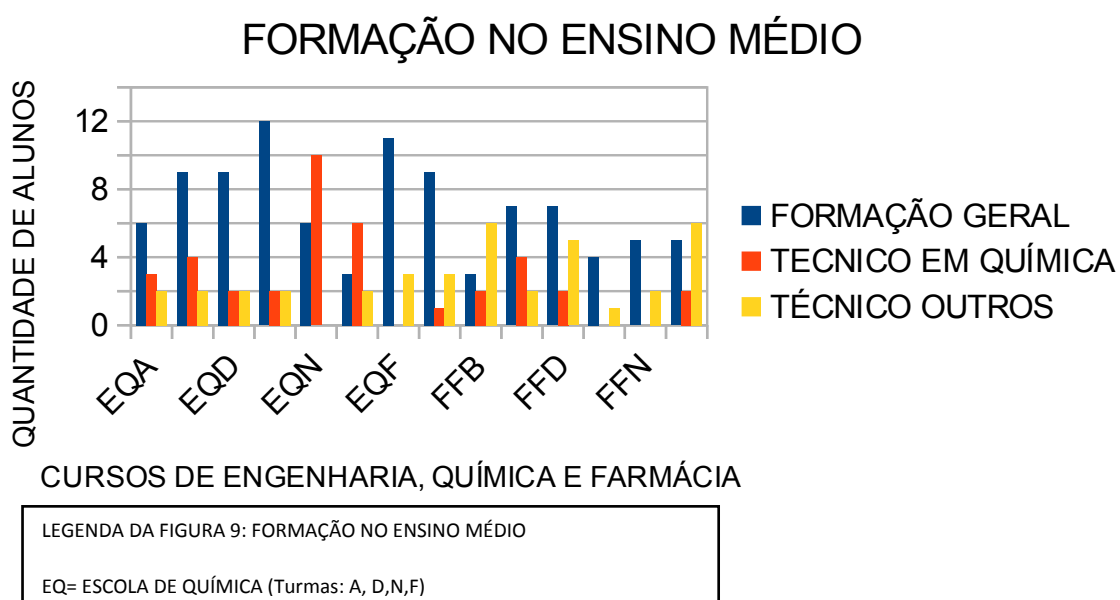
Os alunos, que disseram **SIM** (na questão 2), fizeram curso Técnico em Química e, portanto, trazem uma experiência extra para o aprendizado do ensino

superior de Química ou Engenharia Química, pois já conhecem várias técnicas, dentre elas a de cromatografia em camada delgada, além disso, se mostram mais desenvolvidos durante as aulas experimentais.

A figura (9) abaixo, mostra o resultado da “formação no Ensino médio”, dos alunos dos cursos de Engenharia, Química e Farmácia.

A análise do gráfico revela a predominância de alunos com formação geral no ensino médio, seguida de formação em técnicos em química. Observa-se o maior percentual de técnicos em química estão presentes nos cursos de Engenharia Química (EQA, EQD, EQN, EQF).

Figura 9 - Pesquisa sobre a formação no Ensino Médio



No apêndice A, uma tabela (1) contendo número de turmas e horário de aulas dos discentes pesquisados nos laboratórios de graduação do departamento de Química Orgânica, no Instituto de Química, da UFRJ.

O questionário foi aplicado no período de 29/10 a 22/11/2018, nas turmas dos turnos da manhã, da tarde e da noite, Apêndice B.

De acordo com a análise dos gráficos acima, podemos concluir que a maioria dos alunos dos cursos de Engenharia Química (turmas: EQA, EQC, EQD, EQP, EQF, EQN, EQF), e dos cursos de Farmácia (turmas: FFA, FFB, FFC, FFD, FFE, FFN, FFP) consideram importante o uso da apostila nas aulas experimentais.

Até mesmo os alunos que vieram do ensino médio com formação técnica também valorizam o uso da apostila. Dois outros aspectos merecem destaque: parte dos alunos já se encontra em períodos mais adiantados e a pesquisa foi realizada no final do semestre letivo. Portanto, ainda assim, os alunos consultados reconheceram a necessidade de um material instrucional nas aulas experimentais. Isto corrobora com os conceitos aprendidos com o referencial teórico de David Ausubel de que o material de aprendizagem colabora significativamente com os novos conhecimentos de aprendizagem.

5.2 ROTEIRO USADO EM AULA PRÁTICA DE CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA (CCD)

A aula foi conduzida através da leitura de um roteiro abordando o tema de separação de misturas e identificação de compostos orgânicos por cromatografia em camada delgada (CCD). Após esta aula os alunos fizeram perguntas para sanar as dúvidas e utilizaram os procedimentos escritos no roteiro para desenvolver a aula experimental e continuar a tirar as possíveis dúvidas sobre a interpretação dos cromatogramas obtidos. Muitos alunos recorriam ao monitor ou ao professor solicitando mais esclarecimentos sobre a prática. Houve bastante interação professor-aluno-roteiro.

Foi observado que os alunos com formação técnica em química se destacavam durante a resolução dos problemas nas aulas experimentais. Estes alunos também valorizam o material instrucional.

As figuras 16 (a) e 16 (b) da página 84 mostram o uso do roteiro durante a aula experimental.

O questionário aplicado aos alunos mostra como resultado que o aluno considera fundamental o uso da apostila para orientá-lo durante as aulas e para preparar o relatório. Esta observação corrobora com os conceitos aprendidos com o referencial teórico de David Ausubel de que o material de aprendizagem colabora significativamente com os novos conhecimentos de aprendizagem.

5.3 PROPOSTA DE MUDANÇA DE SUBSTÂNCIAS

Baseado no pressuposto de que os compostos halogenados possuem elevada toxidez e poluem o meio ambiente, observou-se que em todas as aulas o uso destes é ostensivo. Devido a este fato foi proposta a troca deste solvente por uma mistura de acetato de etila com etanol na proporção 3:1. Esta mistura pode ser dispersa a sílica gel 60 G, F254.

Em uma experiência laboratorial, foi observado que o tempo de secagem da sílica na placa de vidro (2,5 X 7,5 cm) foi similar ao do clorofórmio, ficando firme o suporte. Realizou-se, então, a diluição de padrões de acetanilida e dibenzofurano seguida da aplicação dos mesmos na placa cromatográfica. A revelação com lâmpada de UV indicou que as substâncias analisadas tiveram como fator de retenção 0,9, assemelhando-se aos resultados obtidos utilizando a placa preparada com clorofórmio. Este trabalho foi apresentado na forma de pôster em setembro/2019, na Primeira Semana da Licenciatura em Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro, oportunizando o desenvolvimento de uma aula experimental de cromatografia em camada delgada no segundo período de 2019.

A mistura de acetato de etila com etanol apresentou ótimos resultados quando usados com as amostras utilizadas nas aulas de Química Orgânica Experimental-1 (ORGEXP-1).

É importante ressaltar que a mistura Acetato/etanol teve finalidade dupla de efetuar a eluição das amostras e para substituir o clorofórmio durante a confecção das placas cromatográficas.

Através desta experiência podemos concluir que a mistura foi eficiente, indicando a possibilidade de ser utilizada em substituição ao clorofórmio nas aulas de cromatografia em camada delgada de química Orgânica Experimental-I.

A vantagem da troca de solventes: a mistura acetato/ etanol é menos tóxica e também de menor custo que o Clorofórmio, tanto no processo de descarte como no processo de recuperação de solvente.

A substituição de clorofórmio nesta prática obedece ao Princípio número 5 dos postulados de Química Verde (uso de solventes e auxiliares mais seguros), de acordo com TAYGERLY, J.P. *et al.* (2012).

5.4 UTILIZAÇÃO DO ROTEIRO ELABORADO

O roteiro está dividido em introdução teórica, materiais/solventes usados e procedimentos experimentais, bibliografia, conforme apêndice C, no final deste trabalho.

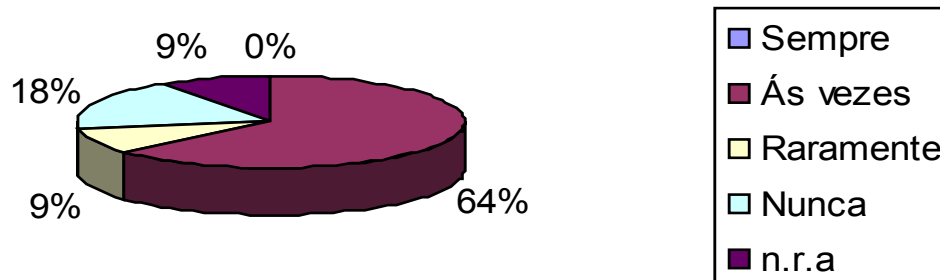
Como o resultado das pesquisas realizadas na Prática de Ensino-I apontou para o desejo dos alunos de ter um roteiro ou apostila, uma nova pesquisa foi realizada através de questionário, com uma turma do segundo semestre de 2019, para ratificar este desejo.

A pesquisa foi realizada com onze alunos, do curso diurno, sendo que quatro (4) destes cursaram Escola Técnica de Química e já conheciam a técnica de cromatografia.

O resultado foi exibido na forma de figuras (10 e 11), que analisados conduz a conclusão que o aluno consulta, às vezes, o livro-texto de PAVIA, mas considera importante ter uma apostila para orientá-lo durante a execução das técnicas desenvolvidas nas aulas experimentais. Até mesmo os alunos que vieram do ensino médio com formação técnica também valorizam o uso da apostila.

Figura 10 - Frequência que o aluno consulta o livro texto de PAVIA

Frequencia que o aluno consulta o livro PAVIA

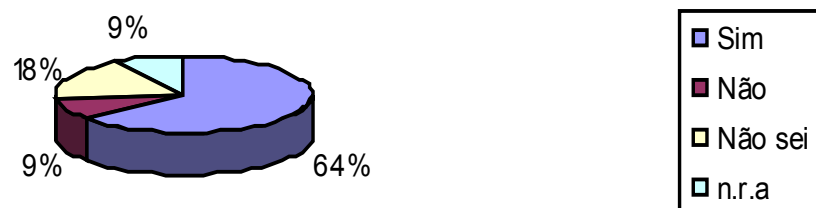


Fonte: A autora.

Na figura 11, abaixo, mostra que a maioria dos discentes (64%) dão importância ao uso da apostila durante as aulas experimentais.

Figura 11 - Importância do uso da apostila

Importância do Uso da Apostila



Fonte: A autora

5.5 ANÁLISE DOS FLUXOGRAMAS ELABORADOS PELOS GRADUANDOS NAS AULAS EXPERIMENTAIS.

A análise e comparação dos fluxogramas elaborados pelos estudantes em dois momentos distintos da aula foram avaliadas numa primeira análise que revelou que os alunos conseguiram mostrar melhor desenvoltura no esboço do segundo fluxograma, pois apresentaram maior detalhamento na sequência dele. Os resultados da análise da atividade sugerem que ela proporcionou avanço do pensamento na direção da maior complexidade racional tornando o conceito aprendido mais abrangente, mudando o paradigma de uma aprendizagem embasada no tradicional para uma aprendizagem com ação transformadora, dialógica entre educador e educando (FREIRE, p. 79, 2011).

.Figura 12 - Fluxograma realizado após a aula experimental.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA DA UFRJ
 PEQUI-UFRJ
 QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I
 Aluna: Regina Célia Gagliardo
 Professores-orientadores: Paula Lessa dos Santos e José Celestino Barros
 Proposta de Aula para Prática de Ensino-2
 Tema: Cromatografia em camada delgada/fina
 Data: 10/06/2019

Aula de ORGEXP-1

Tema: cromatografia em camada fina

Nome do aluno(a):

X

Depois da prática (III)

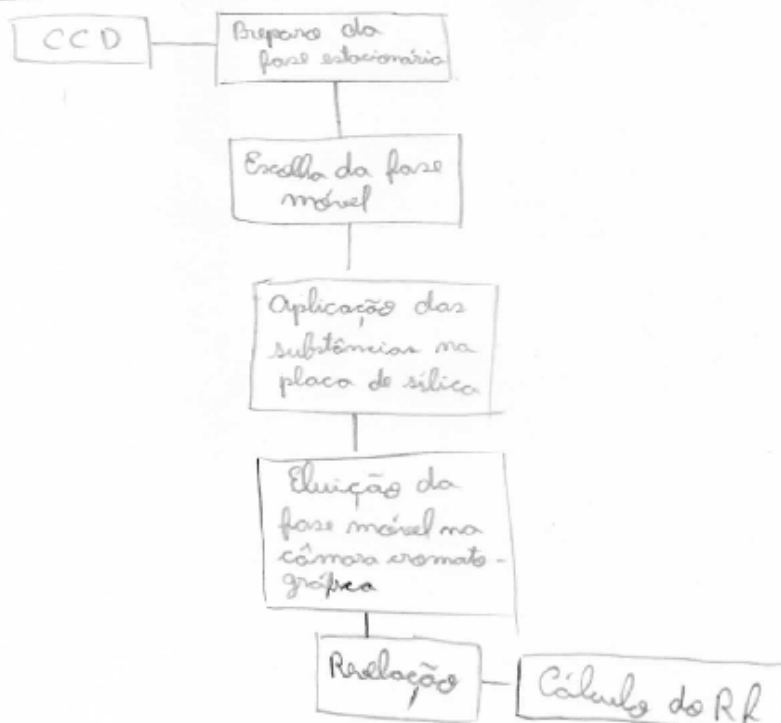
ATIVIDADE

Agora que você aprendeu a técnica de cromatografia, organize em um fluxograma esta técnica aprendida.

O fluxograma é um organizador diagramático onde serão inseridas as funções responsáveis pelas atividades e os recursos que serão necessários para atingir os objetivos.

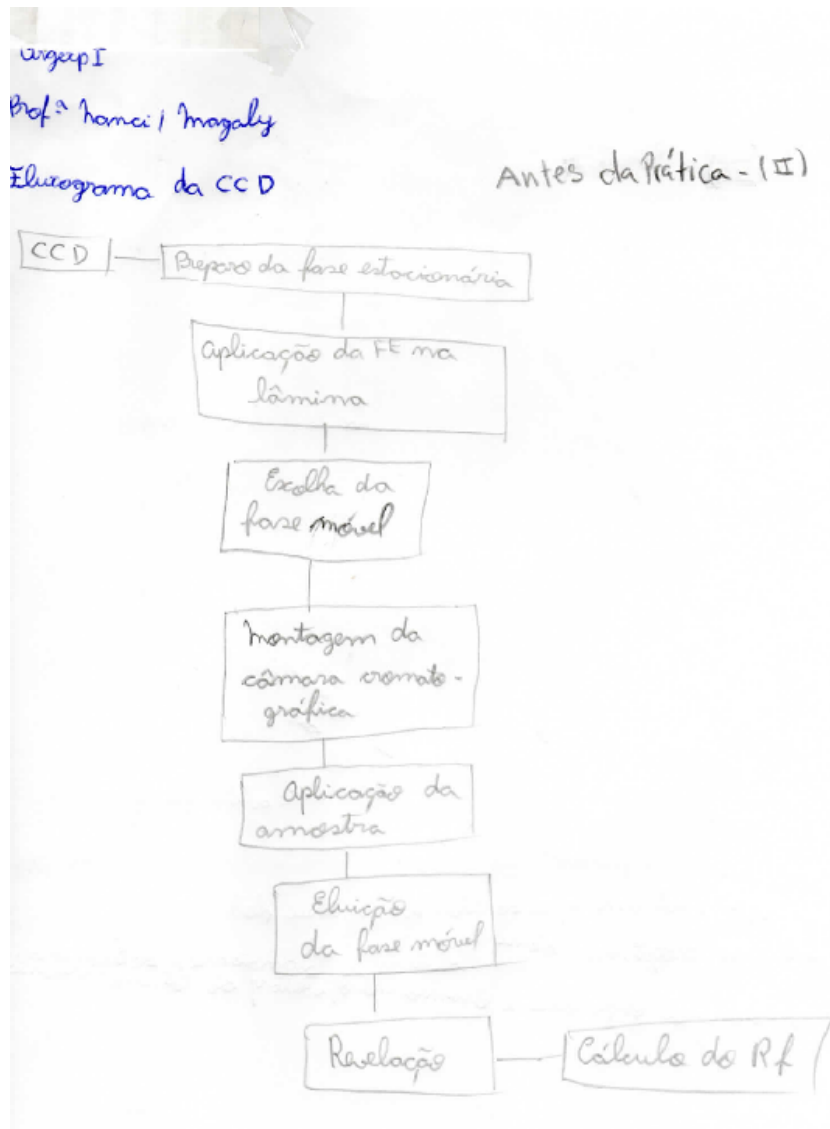
O objetivo é registrar a sequência lógica de informações que caracteriza o trabalho que está sendo executado. Você poderá usar retângulos como símbolo para inserir os comandos.

Fluxograma



Fonte: A autora

Figura 13 - Atividade realizada pelo aluno antes da aula prática



Fonte: A autora

Figura 14- Atividade realizada pelo aluno após a aula prática.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA DA UFRJ
 PEQUI-UFRJ
 QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I
 Aluna: Regina Célia Gagliardo
 Professores-orientadores: Paula Lessa dos Santos e José Celestino Barros
 Proposta de Aula para Prática de Ensino-2
 Tema: Cromatografia em camada delgada/fina
 Data: 10/06/2019

Aula de ORGEXP-1

Tema: cromatografia em camada fina

Nome do aluno(a):

X

Depois da prática (III)

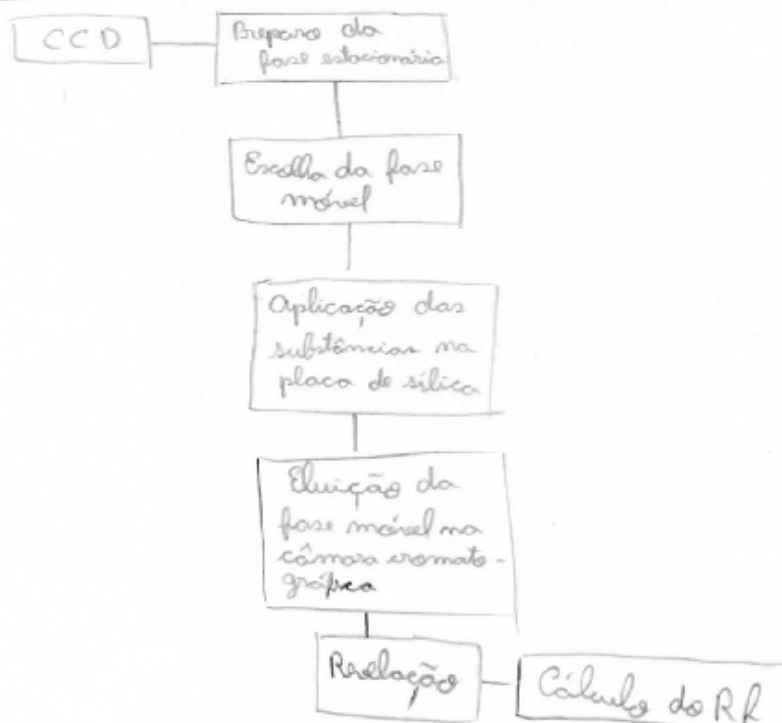
ATIVIDADE

Agora que você aprendeu a técnica de cromatografia, organize em um fluxograma esta técnica aprendida.

O fluxograma é um organizador diagramático onde serão inseridas as funções responsáveis pelas atividades e os recursos que serão necessários para atingir os objetivos.

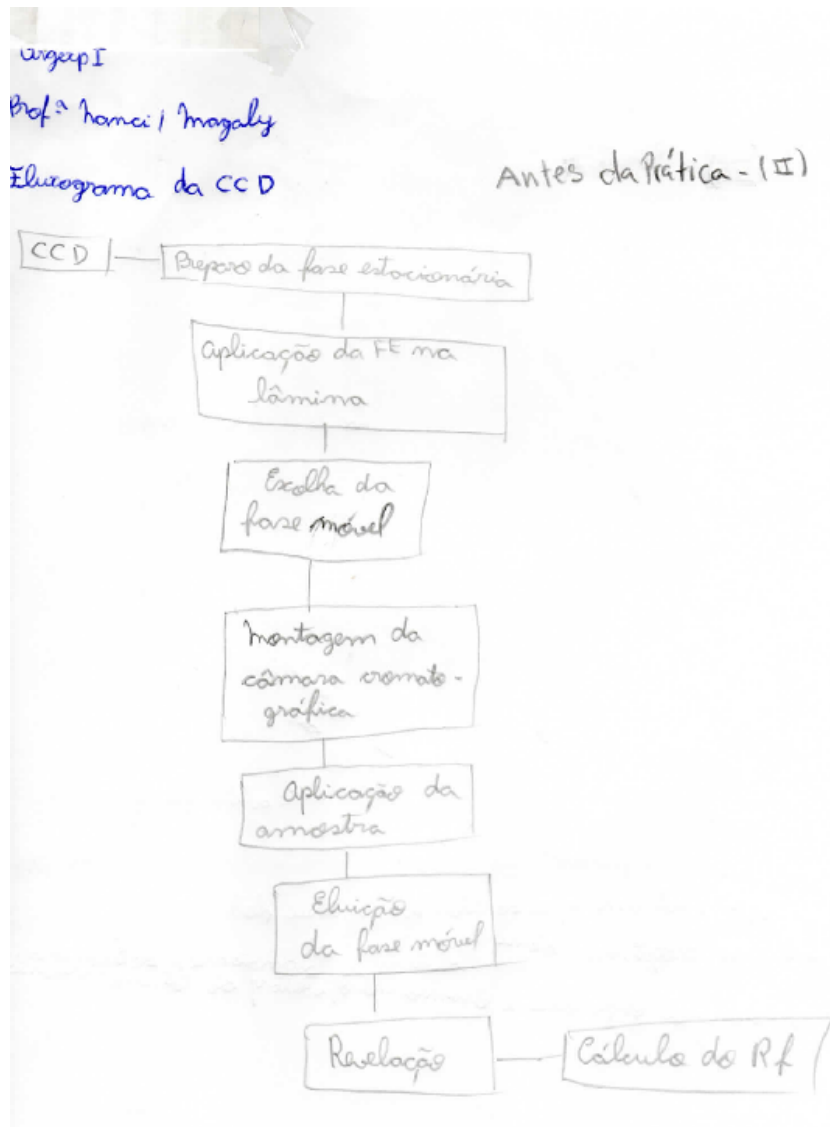
O objetivo é registrar a sequência lógica de informações que caracteriza o trabalho que está sendo executado. Você poderá usar retângulos como símbolo para inserir os comandos.

Fluxograma



Fonte: A autora

Figura 15 - Atividade realizada pelo aluno antes da aula prática.

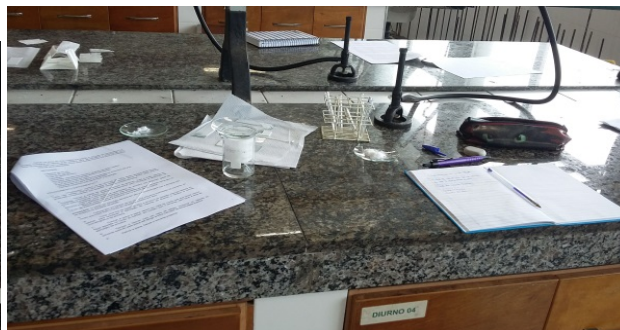
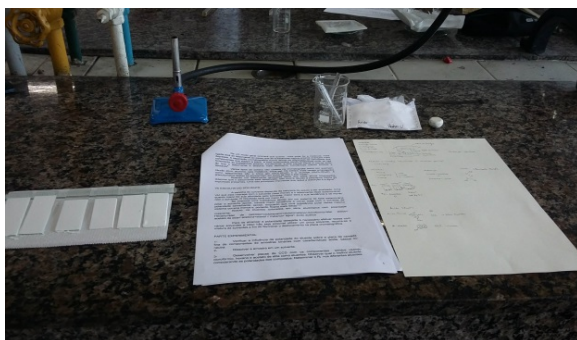


Fonte: A autora

As figuras 12 e 14 mostram uma proposta de atividade para o aluno fazer após a aula experimental, enquanto as figuras 13 e 15 apresentam um exercício realizado, pelo mesmo aluno antes da aula experimental, sendo que esta atividade foi realizada através da leitura do roteiro. O intuito era analisar e comparar os fluxogramas: um feito com a leitura do roteiro, antes da prática, e o outro após a prática.

As figuras 16 (a) e 16 (b) mostram o material instrucional sobre a bancada sugerindo que está sendo utilizado pelo aluno, enquanto as figuras 17 (a) e 17(b) ilustram as placas de CCD obtidas pelos alunos após serem excluídas.

Figura 15 - (a) e 16(b)-Atividades de cromatografia desenvolvida com acompanhamento do roteiro, de acordo com David Ausubel.



As figuras 17 (a) e (b) mostram o bom desempenho de separação das amostras analisadas.

PLACAS DE CCD OBTIDAS PELOS ALUNOS DURANTE A ANÁLISE DE AMOSTRAS DESCONHECIDAS

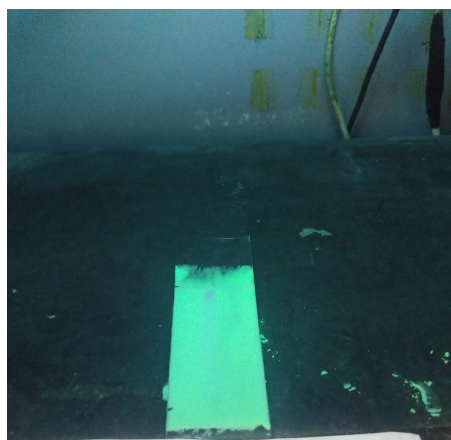
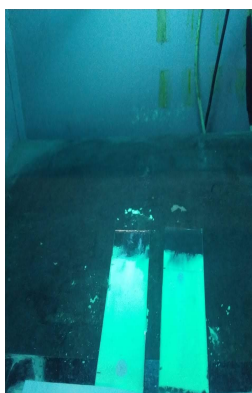


Figura 16 - 17(a) e 17(b)

Placas de CCD (a)

Placa de CCD (b)

Figuras (a) e (b) de placas de CCD reveladas em câmera iluminada com lâmpada de U.V.
Eluentes usados: acetato de etila e Etanol (3:1), em substituição ao Clorofórmio

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho investigou-se junto ao corpo discente que cursava a disciplina de Química Orgânica experimental-I (ORGEXP-I) do Departamento de química Orgânica da UFRJ a relevância do uso de material didático de apoio às aulas experimentais.

Os resultados dos questionários diagnósticos respondidos pelos alunos da disciplina de (ORGEXP-I), do ano de 2019, indicaram elevada concordância favorável para o uso de uma apostila (ou roteiro) durante as aulas experimentais desta disciplina. Este resultado impulsionou a elaboração de um material de apoio às aulas experimentais.

Inicialmente, escolheu-se uma aula de cromatografia em camada delgada (CCD), e preparou-se um roteiro alinhado com os princípios da Química Verde.

A metodologia utilizada consistiu de estratégias de ensino, tais como aula teórico-expositiva-dialogada, realização de aula prática, fluxogramas, os quais foram determinantes para promover maior integração entre a teoria e a prática da cromatografia em camada delgada (CCD).

O roteiro de cromatografia apresenta a sugestão de troca do solvente clorofórmio, que é muito tóxico ao ambiente e aos indivíduos que o manipulam, por uma mistura menos tóxica de solventes (acetato de etila e etanol, 3:1). O resultado positivo desta substituição permitiu concluir que é possível abolir os solventes halogenados das aulas experimentais de ORGEXP-I.

Durante as atividades laboratoriais, os discentes se mostraram ativos e motivados pela leitura e entendimento do roteiro. Através de uma relação dialógica com a professora fizeram intercâmbio de ideias e na construção de conhecimento, realizaram a aprendizagem investigativa na “elaboração de hipóteses, anotações, análise de dados e a capacidade de argumentação” (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.73).

Os discentes participaram das atividades práticas em duplas para favorecer a troca de ideias e significados das observações e conclusões prévias.

Através da participação ativa dos discentes, dos resultados das análises das placas de CCD e dos fluxogramas apresentados após a aula, foi possível perceber indícios de que os educandos compreenderam a técnica de cromatografia em camada delgada e que, neste caso a aprendizagem foi significativa para eles.

O material de apoio foi significativo para os discentes, que se mostraram motivados para leitura e para efetuar registros de observações em seus cadernos de laboratório.

Foi observado que a maioria dos alunos não soube explicar por que houve a substituição do solvente clorofórmio por uma mistura menos tóxica, devido ao desconhecimento sobre os Princípios de Química Verde. A maioria associou à poluição ambiental, isto se deve ao fato de que os alunos de ORGEXP-I estão no segundo período e ainda não tiveram aulas envolvendo este tema.

É importante a inserção dos conceitos dos Princípios de Química Verde na primeira aula, junto com a apresentação do ensino sobre segurança no laboratório, uso de reagentes e descarte de resíduos químicos, a fim de promover no aluno um pensamento mais crítico e atencioso a respeito dos impactos que a química pode causar no meio ambiente e aos indivíduos.

Há uma carência na divulgação dos preceitos da filosofia da Química Verde na área de ensino. Esta filosofia deve ser permeada em todo currículo de forma transdisciplinar a fim de formar profissionais comprometidos com o meio ambiente e a saúde humana. Desta forma teremos futuros profissionais na área da Química interessados em criar processos menos poluentes, professores mais engajados e conscientes com os impactos ambientais. Estes futuros professores poderão repassar seus conhecimentos para seus alunos para que aprendam a respeitar o meio ambiente e a se importarem em colaborar com um mundo menos poluído.

Os objetivos do trabalho foram alcançados uma vez que a técnica proposta com a substituição de reagente tóxico por outro de menor toxidez foi desenvolvida com sucesso. O procedimento adotado foi adequado aos moldes de uma aula experimental investigativa tradicional e o parecer da professora regente da turma foi positivo, sendo promissora a adoção deste roteiro para futuras aulas de ORGEXP-I.

Finalmente, espera-se que o material didático elaborado e aplicado possa servir de ferramenta importante para a aprendizagem significativa de Química para outros discentes da disciplina de ORGEXP-I.

Deseja-se que o uso deste material didático (produto) possa servir de base para futuras modificações nas demais práticas experimentais, quando houver necessidade de adequar às técnicas aos Princípios de Química Verde, a fim de reduzir quantidades de reagentes usados ou substituir reagentes tóxicos por outros de menor toxidez.

O uso deste material didático (produto) também será útil para os novos docentes ingressantes para lecionar na disciplina de ORGEXP-I, para os monitores e técnicos responsáveis pelo preparo da aula experimental que se beneficiarão deste valioso material.

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi realizada em 2019. Em março de 2020 iniciou a pandemia do Covid-19, que foi tão dolorosa para todos, obrigando toda a população do mundo a ficar em casa e se reinventar em novos trabalhos remotos. Neste ano, todos os alunos iniciaram seus estudos através de aulas remotas e on-line. Os professores tiveram que fazer cursos para se adaptar ao novo sistema de aulas. As universidades de todo o país tiveram que fazer novos programas de aulas para que os alunos não perdessem o período. Enquanto isso a pandemia foi se alastrando pelo mundo todo acarretando um imenso número de óbitos, além do impacto negativo na economia, pois muitos trabalhadores morreram ou perderam seus empregos, por terem que ficar em casa se protegendo da pandemia que avançava através de todo o território brasileiro e do mundo. No ano seguinte, de 2021, a pandemia continuou com força, surgindo a segunda onda, mas felizmente veio a vacinação para alentar os ânimos da população que continua em casa. Muitos continuam trabalhando no sistema online ou remoto. Todo o sistema educacional do país teve que se render ao ensino remoto e se reinventar. Esta pesquisa também passou por todo este evento, quando ficamos em casa lendo nossos artigos e pesquisando. A apostila ou produto foi testado por um professor, junto a seus alunos de Química Orgânica-I experimental no final de outubro de 2021. O resultado do uso da apostila junto aos seus alunos o surpreendeu, visto que a aceitabilidade foi ótima e o professor explorou vários pontos da apostila, inclusive aplicando novas estratégias de exercícios de fixação.

Um dos roteiros propostos está bem ajustado aos princípios de Química Verde, pois apresenta um posicionamento em prol de uma química mais sustentável, que não agrida ao meio ambiente e a saúde das pessoas.

A filosofia de QV é importante para a área industrial, mas também para ser ensinada aos alunos, que serão futuros profissionais na área da Química. No caso particular dos licenciandos em Química, depois de formados serão professores com a missão de disseminar os seus novos conhecimentos desta filosofia verde, aos seus futuros alunos, que se tornarão cidadãos mais conscientes.

REFERÊNCIAS

- . DANUELLO, A.C.; PEZZA, L.; DE OLIVEIRA, J.E . Recristalização da Acetanilida, UNESP, 2009. Disponível em
<http://www.cempeqc.iq.unesp.br/Jose_Eduardo/APRESENTA%C3%87%C3%95ES%20ANOS%20ANTERIORES%20V%201.5%2011_08_2010/Semin%C3%A1rios%20Bac%202009%20pdf/10_02_BAC_2009_vers%C3%A3ofinal.pdf> acesso em 24 de Nov. de 2019.
- ALMEIDA, Q. A. R.; SILVA, B. B; SILVA, G. A. L.; GOMES, S. M.S.; GOMES, T. C. Oficina temática de experimentação em química: repensando o ensino de química de forma sustentável. **Revista Extensão e Cidadania**, v.5, n.9, n.10, jan./dez.2018.
- ANASTAS, P. T; WARNER, J. C. **Green Chemistry theory and Practice**, cit, p.30, University Press, Oxford, 1998.
- ANASTAS, P. T.; KIRCHHOFF, M. M. Origins, current status, and future challenges of Green chemistry. **Acc. Chem. Res.**, v. 35: 686, 2002.
- ANASTAS, P. T., WOOD-BLACK, F.; MASCIANGIOLI, T.; MCGOWAN, RUTH, L. Exploring opportunitie in green chemistry and engineering education: **a workshop summary to the chemical sciences roundtable. Washington DC: The National Academy Press**, 2007.
- ARAGÃO, N. M.; VELOSO, M.C.C.; ANDRADE, J. B. Validação de métodos cromatográficos de análise – um experimento fácil de aplicação utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os princípios da “química verde” na determinação de metilxantinas em bebidas. **Quimica Nova**, v. 32, n. 9, p. 2476, 2009.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v.25, n.2, p. 176-194, 2003.
- AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- _____. Algumas limitações psicológicas e educacionais da aprendizagem por descoberta. In: NELSON, L. N. **O ensino: textos escolhidos**. Trad. de Joshuah de Bragança Soares. São Paulo: Saraiva, 1980.
- _____. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa:Plátano, 2003.
- BRAUN, B.; CHARNEY, R.; CLARENS, A.; FARRUGIA, J.; KITCHENS, C.; LISOWSKI, C.; NAISTAT, D.; O’NEIL, A. Completing our education: Green chemistry in the curriculum. **Journal Chemical Education.**; v. 83, n. 8, p. 1126, 2006.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Prentice Hall, 5ª edição, 2002.

CORREA, A. G.; ZUIN, G. V.; **Química Verde: fundamentos e aplicações**. 1. Ed. São Carlos: EdUFSCar. 2012, 172p.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. S. C. "Uma Revisão da Bibliografia sobre o Ensino da Química Verde". **Química - Bol. SPQ**, v. 109, p. 47 – 51, 2008.

FAZENDA, Ivani C.A. *et al.* (Org). **A pesquisa em educação e as transformações do conhecimento**. 4.ed. Campinas-SP: Papirus, 2002. 159p. (Coleção Práxis).

FARIAS, L.; FÁVARO, D. I. T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v.34, n.6, p.1089-1093, 2011.

FIGUEIREDO, J. L.; RAMÔA RIBEIRO, F. **Catálise Heterogênea**; Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1989.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. Editora Paz e Terra, 62ª Ed., 2011.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. D. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

GHEDIN, Evandro; PETERNELLA, Alessandra. **Teorias Psicológicas e suas implicações à educação em ciência**. Boa Vista: Editora da UFRR, p.432, 2016.

GOWIN, D. B. **Educating Ithaca**, N.Y.: Cornell University Press, 1981.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**. São Paulo, v. 35, n.2, p. 57-63, 1995.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v.31, n.3, p. 198-202, 2009.

GUSEVSKAYA, E. V. Organometallic catalysis: some contributions to organic synthesis, **Química Nova**, 26, 242-248, 2003.

HAGEN, J. A Practical Approach, **Journal Industrial Catalysis**, 2nd Ed.; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, capítulo 1, p. 1-13, 2006.

HJERSEN, D. L.; SCHUTT, D. L.; BOESE, J. M. Green of Chemistry and Education. **Journal Chemical Educatio**, v. 77, n. 1543, 2000.

HOFSTEIN, A. P. e LUNETTA, V. The laboratory science education: foundation for the twenty- first century. **Science Education**, V.88, P.28-54, 2003.

KIRCHHOFF, M. M. "Topics in Green Chemistry". **Journal Chemistry Education**, v. 78, n.12, p. 1577, 2001.

LENARDÃO, E.J. *et al.* "Green Chemistry": os 12 princípios de Química Verde e sua inserção na atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n.1, p.123-129,

2003.

LIBÂNEO, J. C. **Adeus professor, adeus professora: novas exigências educacionais e profissão docente**. São Paulo: Cortez, v.27, 1998.

LOPES, M. Senado Aprova Política Nacional de Resíduos. **Folha do Meio Ambiente**, Brasília, setembro 2006.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino da Química Verde. **Quím. Nova**, v. 34, n.3, p. 535 - 543, 2011.

MACHADO, A. A. S. C. “Química e desenvolvimento sustentável QV, QUIVES, QUISUS”. Química – **Boletim SPQ**, 95: 59, 2004.

MACHADO, A. A. S. C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais de ensino secundário. **Informativo de Química** n. 124, jan./mar., p. 65-74, 2012.

MALPAS, Geoffroy Roger Pointer. Como preparar um relatório, como preparar um fluxograma. **Química para Engenharia**. 02/04/2011. Disponível em < <https://pt.slideshare.net/gremio94/aula-3-relatorio-e-fluxograma> > Acessos em 24 nov.2019.

MARSON, Guilherme A. **Princípios para Elaboração de Fluxogramas de Procedimentos Experimentais Químicos**. Disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >. Acessos em 24 nov.2019.

MONTES, I.; SANABRIA, D.; GARCIA, M.; CASTRO, J.; FAJARDO, J. A. Green approach to aspirin synthesis using microwave irradiation. **Journal Chemical Education**., v.83 , n. 4 992, 2007.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Revista Galaico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística**, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, nº 23 a 28:87-95, 1988

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. **Aprendizagem significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. S.; **Aprendizagem significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1988.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Mapas conceituais: Instrumentos didáticos, de avaliação e de análise de currículo**. São Paulo: Moraes, 1987.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. In: V ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 2006. Madrid. **Anais do V encontro internacional sobre aprendizagem significativa**.

Madrid: Não informado. 2006. In Encuentro Nacional sobre Enseñanza de La Matemática, 2007. Tandil. **Anais do I encontro nacional sobre enseñanza de La matemática**. Tandil, 2007. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica>>. Acesso em: 04 jan. 2021.

MOREIRA, M. A. **Metodologia de pesquisa em ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.; **Aprendizagem significativa: teoria e textos complementares**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

NOVAK, J. D. LEARNING Gregory J. Kelly and Richard E. Mayer, Section editors Meaningful Learning: The essential factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment os Learns. **Science Education**, New York U.S.A, v. 86, n. 4, p. 548-571. 18 jun.2002. Disponível em < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.10032/pdf>> acesso 04/08/2020.

NOVAK, J. D. **Uma teoria da educação**. Trad. Marco Antônio Moreira. São Paulo: Pioneira, 1981.

OMORI, A. T.; PORTAS, V.B. & OLIVEIRA, C.S. Resolução enzimática do 4-(dimetilamino)benzaldeído com pedaços de cenoura (*daucus carota*) um experimento simples na compreensão da biocatálise. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 435, 2012.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2012.

PADILHA, R.; POLACHINI, V.; CAMARGO, E. C. **A teoria de David Ausubel e o ensino da matemática: uma possível experiência significativa**. VI Congresso Internacional de ensino em Matemática. Ulbra: Canoas, 2013.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; ENGEL, R. G. **Química Orgânica Experimental – Técnicas de escala pequena**. 2ª edição, Porto Alegre, Bookman, 2009.

PELIZZARI, Adriana, *et al.*, **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**-Ver. PEC, Curitiba, v. 2, n.1, p.37-42, jul.2001-jul. 2002.

PITANGA, Ângelo Francklin. CRISE DA MODERNIDADE, EDUCAÇÃO AMBIENTAL, EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EDUCAÇÃO EM QUÍMICA VERDE: (RE) PENSANDO PARADIGMAS. **Ensino, Pesquisa, Educação, Ciência**, Belo Horizonte, v.18, n.3, p.141-159, Dec. 2016.

PONTES NETO, J. A. da S. O papel da revisão na aprendizagem verbal significativa. **Revista Vertentes – UNESP-Assis**, v. 1, p. 33-35, 1991.

PRADO, A. G. S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química**

Nova, v.26, n. 5, 2003.

PRASS, Alberto Ricardo. **Teoria da Aprendizagem**. 2012. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2012.

RAMOS, M. A. F. A. C. **Química verde e potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário**. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Discutindo as concepções epistemológicas a partir da metodologia utilizada no laboratório didático de Física. **Revista Iberoamericana de Educación**, v.52, n. 6, 2010.

SANDRI, M. C. M.; FILHO, O. S. Análise da verduza química de experimentos propostos para o ensino médio. **ACTIO: Docência em Ciências**, v.2, n.2, p. 97-118, jul/set, 2017.

SANTOS, Giovanna Ataria Campos. **Mapeamento de processos e fluxograma no setor de contratos, de convênios e prestação de contas da Secretaria de saúde de Caraguatatuba**. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Processos Gerenciais), Instituto Federal de São Paulo. Caraguatatuba, 2017.

SANTOS, A. P. B.; GONÇALVES, I. R. C.; PAIS, K. C.; MARTINEZ, S. T.; LACHTER, E. R. ; PINTO, A. C. Oxidação do borneol à cânfora com água sanitária – um experimento simples, de baixo custo e limpo. **Química Nova**, v.32, n. 6, p. 1667, 2009.

SANSEVERINO A. M. Microondas em síntese orgânica. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 660, 2002.

SANTOS, Julio César Furtado dos. **Aprendizagem significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. 5.ed. Porto alegre- RS: Editora Mediação, 2013. 96 p. Disponível em <<https://escolafutura.files.wordpress.com/2013/10/o-papel-do-professor-na-promocao-3a3c2a7c3a3c2a30-da-aprendizagem-significativa.pdf>>. Acesso em 04/08/2020

SIGMA ALDRICH Clorofórmio – Ficha de Informações de segurança de Produtos Químicos – FISPQ. Disponível em <<http://www.sigmaaldrich.com.br>>. acessado em 26/11/2020.

SEIDL, *et al.*; NASCIMENTO, C. R.; FIGUEIREDO, M. K. .A.; GOULART, K. A. Ensino em Química Verde. **Caderno de Química Verde**, n.4, p. 10-16, 2017.

SILVA, F. M.; JONES JUNIOR, J. Reações orgânicas em meio aquoso. **Química Nova**, v.24, n. 5, p. 646, 2001.

SILVA, F. M.; DE LACERDA, P. S. B.; JONES JUNIOR, J. Desenvolvimento Sustentável e Química Verde. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 103-110, 2005.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G., DEL PINO, J. C. **Atividade Experimental Problematizada**: uma proposta de diversificação das atividades para o ensino de Ciências Experimentais em Ensino de Ciências, v.10, n. 3, 2015.

SILVA, B. B *et al.* Utilização dos conceitos da Química Verde nas aulas de laboratório. In: **XVII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ)**, Florianópolis, 2016. P. 965 - 974. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/busca.htm?query=utiliza%E7%E3o+dos+conceitos+de+quimica+verde>. Acesso em dez. 2020.

SILVA, C. R. G.; MACHADO, A. H.; MATEUS, A. L. Atividades sobre Química Verde para o ensino profissional de química de nível médio: uma análise e reformulação. In: **XVII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVII ENEQ)**, Ouro Preto, 2014. P. 2769 - 2779. Disponível em <https://www.s bq.org.br/eneq/xvii/anais_xvii_eneq.pdf>. Acesso em set. 2020.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G., DEL PINO, J. C. Atividade Experimental Problematizada (AEP) como uma estratégia pedagógica para o ensino de ciências: aportes teóricos, metodológicos e exemplificação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.12, n. 5, 2017.

SILVA, L. D. A. e ZANON, L. B. A experimentação no ensino de ciências. In: SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ARAGÃO, Rosália M. R. De (Org). **Ensino de ciências: fundamentos e abordagens**. São Paulo, Ed. CAPES/UNIMEP, p. 120-153, 2000.

SOUZA, S. P. L.; MARQUES, M. R. C.; MATTOS, M. C. S. Desenvolvimento sustentável e pensamento complexo – estudo de caso: o uso de argilas como catalisadores. **Química Nova**, 35 (9): 1891, 2012.

SUÁREZ SILVA, J. A. **Bioquímica na escola**: uma proposta didática para AA aprendizagem significativa. Dissertação de mestrado. Santa Maria: RS, 2017.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. Atividades experimentais investigativas: habilidades cognitivas manifestadas por alunos do Ensino Médio. Em: **encontro nacional de ensino de química**, 14, Curitiba, 2008. Resumos...Curitiba, 2008.

TAYGERLY, J. P.; MILLER, L. M.; YEE, A.; PETERSON, E. A. A convenient guide to help select replacement solvents for dichloromethane in chromatography. **Green Chemistry**, 2012, 14, 3020-3025.

THOMAZ, M. F. A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.17, n. 3, p. 360-369, 2010.

TROST, B. M. Atom Economy – A Challenge for Organic Synthesis: Homogeneous Catalysis Leads the Way. **Angewandte Chemie International Edition in English**, 1995, v.34, p.259.

ZANDONAI, D. P.; **A Inserção da Química Verde no Curso de Licenciatura em Química do DQO-UFSCar: Um Estudo de Caso.** 2013. Dissertação de Mestrado Profissional. Departamento de Química-UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ZÔMPERO, Andréia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Belo Horizonte: **Revista ensaio**, v.3, n.3, p.67-80, set/dez. 2011.

ZUIN, V. G., FARIAS, C. R.; FREITAS, D. A ambientalização curricular na formação inicial de professores de química: considerações sobre uma experiência brasileira. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 552-570, 2009.

WARNER, J. C.; CANNON, A. S.; DYE, K. M. Green chemistry. **Environmental Impact Assessment Review**, 24: 775-799, 2004.

WILSEK, M. A. G.; TOSIN, J. A. P. Ensinar e Aprender Ciências no Ensino Fundamental com Atividades Investigativas através da resolução de problemas. **Estado do Paraná**, v.3, n. 5, p. 1686-1688, 2012.

WINSTEIN, C. E.; MAYER, R. E. The teaching of learning strategies. *In*: WITTROCK, M.C. (Edit). **Handbook of research on teaching**. New York: MacMillan Publishers, 1986. p. 315-317.

ANEXOS

APÊNDICE A – QUADRO DE HORÁRIOS E DISCIPLINAS DOS LABORATÓRIOS DE GRADUAÇÃO

Turno	Lab	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira
Manhã 08:00 às 12:00	619	Q. O. Exp-I EQ _A Prof. Bárbara	Q. O. Exp-I FF _A Prof. Nanci e Camilo		Q. O. Exp-I EQ _D Prof. Regina Sandra e Alvicleir	Q. O. Exp-I EQ _E Prof. Garrett
	620		Q. O. Exp-I FF _B Prof. Bárbara			
Tarde 13:00 às 17:00	619		Q. O. Exp-I FF _E Prof. Débora	Q. O. Exp-I EQ _C Prof. Débora	Q. O. Exp-I FF _D Prof. Nanci	Q. O. Exp-I EQ _F Prof. José Barros
			Q. O. Exp-I FF _C Prof. Lígia e Ingrid			
Noite 18:00 às 22:00	619	Q. O. Exp-I EQ _N Prof. Josué Sebastian		Q. O. Exp-I FF _N Prof. Gemal e Camilo		
	620			Q. O. Exp-I FF _P Prof. Tiago Lima		
	625	Q. O. Exp-I EQ _P Prof. Beth e Daniel				

TABELA 2: HORÁRIOS DOS LABORATÓRIOS DE GRADUAÇÃO –DQO-IQ-BLOCO A-CCMN-UFRJ
TURMAS DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL-1 (TURMAS PESQUISADAS)

APÊNDICE B – PESQUISA DE OPINIÃO EM PRÁTICA DE ENSINO-1

PEQUI-PÓS-GRADUAÇÃO DE ENSINO EM QUÍMICA DA UFRJ

ALUNA: REGINA CELIA GAGLIARDO

PROFESSORA-ORIENTADORA: PAULA LESSA

PESQUISA DE OPINIÃO –PES-1

TURMAS DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL-I (ORGEXP-I)

TURMA: _____MANHÃ () - TARDE () - NOITE ()

DATA: _____

PREZADO ALUNO(A):

Estamos fazendo uma pesquisa para saber **sua opinião** sobre a **importância do uso da apostila de laboratório**. Por favor, responda-nos:

Você acha importante ter uma apostila de práticas de laboratório para orientá-lo nas aulas práticas experimentais?

1- SIM ()

2- NÃO ()

3- NÃO SEI ()

APENDICE C - ROTEIRO DE CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA DA UFRJ

PEQUI-UFRJ

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I

Aluna: Regina Célia Gagliardo

Professores-orientadores: Paula Lessa M. dos Santos e José Celestino Barros

Proposta de Aula para Prática de Ensino-2

Tema: Cromatografia em camada delgada/fina

Data: 10/06/2019

I) INTRODUÇÃO

A cromatografia é uma técnica que se baseia na separação dos componentes de uma mistura. Esta separação ocorre devido a diferentes interações entre duas fases: a fase móvel e a fase estacionária. Os componentes de uma mistura migram com diferentes velocidades, de acordo com a força de interação com a fase estacionária. Aqueles que interagem pouco com a fase estacionária são arrastados facilmente enquanto outros componentes que possuem maior interação ficam retidos. As diferentes velocidades de migração surgem devido ao movimento do soluto (um dos componentes da mistura), entre a fase estacionária e a móvel e dependem de parâmetros físico-químicos dos componentes que compõem o sistema cromatográfico. Também existem outros fatores atuantes na distribuição do soluto entre as duas fases como peso, geometria e tamanho da molécula.^{1,2,3}

O termo cromatografia, originado nas palavras gregas *chrom* (cor) e *grafe* (escrever), foi empregado pela primeira vez em 1906 pelo botânico russo Michael Tswett enquanto descrevia suas experiências na separação dos componentes de extratos de folhas em faixas coloridas. Apesar do nome, este processo não depende da cor, embora seja útil para facilitar a identificação dos componentes separados.^{2,3}

II) CLASSIFICAÇÃO

Há diversos tipos de classificação da técnica de cromatografia. Por exemplo:

a) em relação ao fenômeno responsável pela separação: adsorção, partição, troca-iônica, exclusão e afinidade.

b) em relação ao estado físico das fases¹:

FASE MÓVEL	FASE ESTACIONÁRIA	TIPO
Gás	Líquido	Gás-líquido (CGL)
Gás	Sólido	Gás-sólido (CGS)
Líquido	Líquido	Líquido-líquido
Líquido	Sólido	Líquido-sólido

Quadro 1: Classificação da técnica de cromatografia

c) em relação ao suporte da fase estacionária: camada fina, papel, coluna.

d) em relação ao fluxo da fase móvel: unidimensional, bidimensional, radial.

III) CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

Trata-se de uma técnica de baixo custo, simples e muito importante para a separação rápida. É empregada tanto em análises quantitativa quanto qualitativa usando pequenas quantidades de amostra. Também é usada para determinar a pureza do soluto (amostra), identificar componentes de uma mistura através de comparações com seus respectivos padrões, acompanhar o curso de uma reação através do aparecimento de produtos e desaparecimento dos reagentes e ainda isolar componentes puros de uma mistura.

Na cromatografia de camada fina/delgada, a fase estacionária é uma camada fina de um sólido finamente dividido chamado de adsorvente (sílica gel, alumina, celulose). Este adsorvente fica depositada sobre um suporte de vidro ou placa industrial. A este conjunto chamamos de placa cromatográfica.

A fase líquida ou móvel (solvente) ascende sobre a camada de adsorvente favorecendo a separação dos componentes da mistura. Este solvente é colocado em

um recipiente (Becher), chamado de “cuba” cromatográfica. Para aumentar a saturação dos vapores dentro desta e facilitar a ascensão do solvente, introduz-se uma tira de papel de filtro no seu interior.

Inicialmente dilui-se o soluto (amostra) em um solvente ou mistura de solventes (hexano, clorofórmio éter etílico etc). Em seguida, aplica-se a amostra, com um capilar, sobre a linha base situada 1cm da base da placa. Na terminologia cromatográfica aplicar a amostra também é conhecido com a expressão de “espotar”, derivado do inglês spot (mancha).

O cromatograma é desenvolvido com a fase móvel (solvente), movendo-se através da fase estacionária por ação da capilaridade. Este processo é chamado de “corrida cromatográfica”, que é finalizada até um limite arbitrado, que se chama frente do solvente. Em seguida, a placa será retirada da cuba e seca até que todo o solvente seja evaporado.

Após a evaporação do solvente da placa, está será revelada através de uma lâmpada de luz ultravioleta ou sendo colocada em uma cuba com iodo.

O iodo reage com compostos orgânicos formando complexos coloridos que variam do marrom ao amarelo. Após retirar placa de dentro da cuba, marca-se, imediatamente o local da mancha para posterior cálculo do Rf.

Abaixo, segue o esquema da cromatografia em camada delgada:

Cromatografia em Camada Delgada - CCD



Figura 20.4 Câmara de desenvolvimento com uma placa de cromatografia em camada fina.

IV) CÁLCULO DO FATOR DE RETENÇÃO - R_f

O R_f é um número que mede a distância percorrida pelo soluto (d_s) em relação à distância percorrida pela base móvel (d_m). Para cada soluto, determina-se uma constante.

Na prática, a d_s é medida a partir do centro da mancha do soluto até o ponto de aplicação.

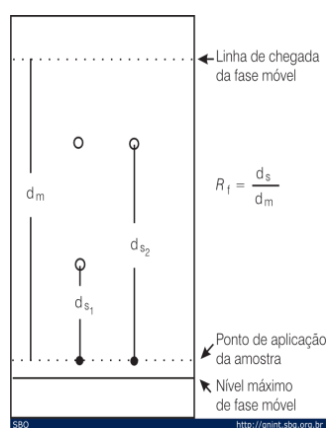


Figura 2: esquema de cromatograma obtido por CCD
(Fonte: DEGANI *et. al.*; 1998, p. 22,1998)

V) ADSORÇÃO

A adsorção é um fenômeno de superfície que ocorre quando há o aumento da concentração de uma substância na superfície de um sólido. Quando uma substância orgânica entra em contato com um adsorvente haverá adsorção total ou parcial, dependendo das forças intermoleculares envolvidas e das suas intensidades. Assim, se compostos apolares se ligam através de forças de Dispersão de London, que são consideradas fracas, eles não se ligarão fortemente ao adsorvente, salvo se possuírem alto peso molecular. Compostos polares, por sua vez apresentam interações mais importantes e podem ser do tipo: dipolo-dipolo, coordenação, ligação de hidrogênio e formação de sal⁴.

A ordem de intensidade das forças de interação:

Formação de sal > coordenação > ligação de hidrogênio > dipolo-dipolo > Dispersão de London

Compostos apolares se ligam à alumina ou à sílica através de ligações de Dispersão de London, que são forças fracas. As ligações mais importantes são as dos compostos orgânicos polares, onde as forças são do tipo dipolo-dipolo ou envolvem alguma interação direta do tipo: coordenação, "ligação de hidrogênio (um caso extremo de dipolo-dipolo)" ou formação de sal⁴. A figura 3 abaixo mostra as interações possíveis entre os compostos orgânicos e a alumina.

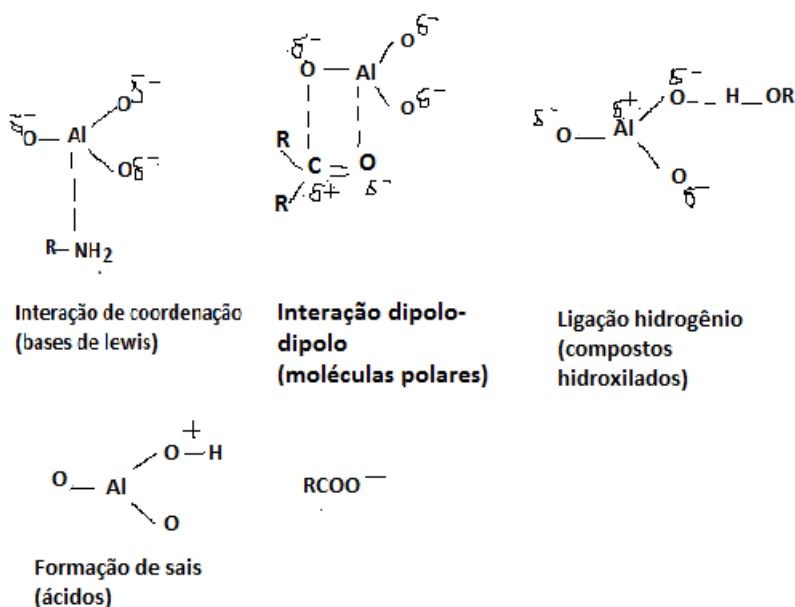


Figura 3: "interações possíveis entre compostos orgânicos POLARES".
Fonte: PAVIA, LAMPMAN, KRIZ, ENGEL, 2009.

De um modo geral ocorrerá que quanto mais polar for a molécula, mais ligada está ao adsorvente ao passo que as substâncias menos polares avançam mais depressa. A separação cromatográfica ocorre devido às diferenças de velocidade dos componentes que sobem a placa. A fase estacionária sendo fortemente polar se liga fortemente às substâncias polares. Usualmente, a fase líquida móvel é menos polar do que o adsorvente e dissolve mais facilmente substâncias menos polares e apolares⁴.

Vários tipos de sólidos são usados na cromatografia como, por exemplo: carvão ativo, alumina, sais metálicos, sílica gel. Os sólidos mais usuais empregados como adsorventes são a sílica gel ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) e a alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). [A granulometria destes se apresenta em torno de 200 a 400 mesh³.

]

Quando um adsorvente apresenta parte dos sítios ativos bloqueados, dizemos que o adsorvente está desativado. Isto ocorre devido a pequenos traços de impurezas presentes. Uma das principais impurezas que reduz a adsorção é a água³.

VI) ESCOLHA DO SOLVENTE

A escolha do solvente depende da natureza do soluto a ser analisado. Uma vez que este interage com o solvente (fase móvel) e o adsorvente (fase estacionária), quanto maior for sua afinidade pelo solvente, maior será a sua tendência a se mover com o solvente. O resultado será um maior R_f.

Se tivermos uma substância apolar em um sistema de fase estacionária polar e solvente apolar, haverá maior tendência a correr mais com o solvente de polaridade semelhante, apolar, enquanto que uma substância polar nesse mesmo sistema correria menos e, portanto, ficaria mais retida^{1,3,4}.

Abaixo, os eluentes colocados em série eluotrópica com polaridade crescente:

Hexano < éter de petróleo < ciclohexano < diclorometano < clorofórmio < éter etílico < acetato de etila < acetona < etanol < metanol < água < ácido acético

Para se alcançar a polaridade desejada é necessário efetuar testes com vários solventes e caso não seja possível utilizar um único solvente, recorre-se a mistura de solventes a fim de favorecer o deslocamento na placa cromatográfica.

PARTE EXPERIMENTAL

A proposta deste experimento é substituir o solvente clorofórmio, que possui elevada toxidez tanto para a saúde humana quanto para o ambiente por uma mistura de solventes menos tóxica, como a mistura de acetato de etila/etanol (3:1).

Esta proposta está de acordo com o item 5 dos princípios de Química Verde que diz:

Solvente e Auxiliares mais seguros. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, essas substâncias devem ser inócuas. (LENARDÃO, 2003, p.124):

1- Verificar a influência da polaridade do eluente sobre a placa de camada fina de componentes de amostras binárias com características ácida, básica ou neutra.

2- Dissolver a amostra em um solvente.

3- Desenvolver placas de CCD com os componentes sólidos usando clorofórmio, hexano, acetato de etila e mistura de acetato de etila/etanol (3:1) como eluentes, observar qual o melhor eluente, considerando as polaridades dos compostos. Determinar o R_f nos diferentes eluentes.

4- Aplicar na placa de CCD substância padrão e, ao lado, os componentes da amostra. Comparar os valores de R_f obtidos para as amostras e identificá-las com base na comparação com o padrão. Faça observações quanto à pureza das amostras.

5- Discutir os resultados!

MATERIAIS:

Bécher de 50 mL (3)

Vidros de relógio (3)

Tiras de papel de filtro

Capilares

Solventes: clorofórmio, hexano; acetato de etila (capela)

Soluções dos componentes sólidos (amostras)

Placas/lâminas de vidro (6)

Suspensão de sílica em clorofórmio, preparada no momento da aula

Lâmpada de UV para fazer a revelação

Câmara contendo iodo para fazer a revelação

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL^{3,4}

1- Inicialmente, deve-se conferir se as lâminas de vidro estão devidamente limpas. Caso não esteja, lavar as mesmas com água e sabão. Borrifar álcool etílico para eliminar possíveis contaminantes. Em seguida, secar cuidadosamente.

2- Aplicar a pasta de sílica, inserindo as lâminas, duas a duas, dentro do recipiente contendo a sílica e mistura de acetato de etila/etanol (3:1). Retirar lentamente para favorecer a deposição da sílica. Deixar evaporar o solvente.

3- Dissolver uma pequena quantidade de amostra em algumas gotas de solvente volátil (acetona, diclorometano, éter etílico).

4- Marcar, com o lápis, as duas extremidades da placa deixando cerca de 1,0-1,5 cm de suas bordas. Aplicar a amostra com o auxílio de um capilar.

ATENÇÃO! O ponto de aplicação deverá ser alto o suficiente para que a amostra não se dissolva no eluente (acetato de etila-etanol (3:1)).

5- Colocar em um bécher de 50 mL uma pequena quantidade de solvente, de modo que fique todo o fundo do recipiente coberto por este.

6- Cortar uma tira de papel de filtro e envolver as paredes internas laterais do becher, para favorecer a saturação de vapores do eluente e facilitar a corrida cromatográfica da amostra.

7- Colocar a placa dentro da cuba de modo que sua borda inferior fique apoiada no fundo do becher, em contato com o solvente, sem tocar a área de aplicação da amostra.

8- Tampar o bécher com um vidro de relógio. Observar os vapores do solvente subindo pela placa até atingir a linha marcada na extremidade superior.

9- Retirar a placa. Deixar o solvente evaporar.

10- Colocar a placa para revelar sob a luz UV. Observe as manchas brilhantes na placa! Marcar com um lápis a posição da mancha observada.

11- Colocar na câmara de iodo. Observar a coloração que varia do amarelo claro ao castanho, devido a formação de complexo pi do iodo com as moléculas orgânicas. Retire a placa do revelador e marque imediatamente porque as manchas logo desaparecem.

12- Calcular o R_f .

13- Fazer um fluxograma mostrando as ações feitas durante a aula experimental de cromatografia

OBSERVAÇÃO: Após o término da aula, jogar os resíduos de solventes nos **coletores de resíduos** específicos que estão **dentro da capela**.

Descartar os capilares nos potes rotulados por **resíduos de capilares** que estão sobre as bancadas do laboratório.

BIBLIOGRAFIA

1-COLLINS, Carol H.; BRAGA, Gilberto L.; BONATO, Pierina S. **Fundamentos de cromatografia**. Editora da Unicamp. Campinas:2006.

2-DEGANI, Ana Luiza G.; CASS, Quezia B.; VIEIRA, Paulo C. Cromatografia um breve ensaio. **Química Nova na Escola**, no. 7, p.21-25, maio, 1998.

3-DIAS, Ayres Guimarães; COSTA, Marco Antônio da; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso. **Guia Prático de Química Orgânica**. Volume 1. Interciência. Rio de Janeiro:2004.

4-PAVIA, Donald L.; LAMPMAN, Gary M.; KRIZ, George S.; ENGEL, Randall G. **Química Orgânica Experimental** – Técnicas de escala pequena. 2ª edição. Bookman. 2009.

