

*Campus* Duque de Caxias

Licenciatura em Química

Geovani Aristeu Lima Silva

**QUÍMICA VERDE EM  
MÉTODOS  
SINTÉTICOS: aplicação  
de novas metodologias  
experimentais na  
formação de  
professores de Química**

Duque de Caxias

2018

GEOVANI ARISTEU LIMA SILVA

QUÍMICA VERDE EM MÉTODOS SINTÉTICOS: aplicação de novas metodologias  
experimentais na formação de professores de Química

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal do Rio  
de Janeiro, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Licenciado em  
Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr. Queli Aparecida  
Rodrigues de Almeida

Duque de Caxias

2018

Catalogação na Publicação  
Serviço de Biblioteca e documentação  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ

S586q Silva, Geovani Aristeu Lima

Química Verde em métodos sintéticos: aplicação de novas metodologias experimentais na formação de professores de Química / Geovani Aristeu Lima Silva. – Duque de Caxias, RJ, 2018.

1 CD ROM.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Licenciatura em Química, 2018.

Orientação: Queli Aparecida Rodrigues de Almeida.

1. Meio ambiente – Química. 2. Química – Estudo e ensino. 3. Química – Desenvolvimento sustentável. 3. Professores de educação – Estudo e ensino.

CDU: 54

GEOVANI ARISTEU LIMA SILVA

QUÍMICA VERDE EM MÉTODOS SINTÉTICOS: aplicação de novas metodologias  
experimentais na formação de professores de Química

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal do Rio  
de Janeiro, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Licenciado em  
Química.

Aprovado em 05, 07, 18.

Banca Examinadora

Queli Aparecida R. Almeida

Prof.<sup>a</sup> Doutora Queli Aparecida Rodrigues de Almeida - (Orientadora)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Thiago Muza Aversa

Prof. Doutor Thiago Muza Aversa - (Membro Interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Luciana Resende Marcelo

Prof.<sup>a</sup> Mestre Luciana Resende Marcelo - (Membro Interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Livia Tenório C.C. Vilela

Prof.<sup>a</sup> Doutora Livia Tenório Cerqueira Crespo Vilela - (Membro Suplente Interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Ao meu herói, meu pai.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a vida, pois mesmo com os desafios cotidianos ela foi bem generosa comigo ao me permitir chegar até aqui.

Agradeço ao meu pai, o grande responsável por esse feito. Se escrevi esse agradecimento, neste tipo de trabalho, foi por esforço diário da sua parte em me dar todo o suporte necessário. Sem ensino fundamental completo, concedeu a mim a honra de um ensino superior federal e jamais poderei retribuir tal feito. Talvez sendo professor e dando o máximo de mim para que meus futuros alunos vislumbrem a educação como meio de ascensão na vida eu consiga ser o que meu pai foi para mim.

Agradeço a minha mãe e a minha vó Zelina por toda a cumplicidade e ensinamentos de vida que puderam me dar e consolidar quem eu sou hoje.

Agradeço a minha primeira orientadora da graduação, Gabriela Salomão, por ter feito muito mais que ajudar a me formar, mas fez com que eu me conhecesse melhor, com que eu me respeitasse, com que eu me auto afirmasse e também por ser essa mulher de fibra que me inspirará para sempre por onde eu for.

Agradeço a segunda orientadora que tive na graduação, Queli Almeida, por ser tudo que faltava para que eu me considerasse completo hoje. Acredito que um profissional da educação sempre estará em constante formação, mas suas bases são únicas e precisam estar bem consolidadas. Obrigado pelos choques de realidade, turismos, almoços, caronas e o mais importante, agradeço pela amizade que se construiu dessa parceria e sem prazo de validade.

Agradeço a minha família por toda compreensão e boas energias para meu futuro.

Agradeço a Monique Azevedo, amiga de longa data, por toda a amizade, por ouvir meus longos áudios e a segunda família que me deu.

Agradeço a Sarah Garbacchio por todo incentivo dado nas crises existenciais ao longo de meu percurso até aqui, pela amizade de uma década e pelas injeções de ânimo planejando viagens para quando estivesse formado.

Agradeço a Alexandra Oparacz, amiga e estudante de psicologia que acabou sendo uma grande psicóloga nos meus maiores momentos de descoberta.

Agradeço ao Pedro Paulo, amigo que fiz na graduação, pela amizade e também por coisas muito além da amizade. Boa parte do que sou hoje devo as nossas longas conversas, reflexões e fraternidade que a rotina não encobrirá.

Agradeço a Rafaelle Chaim e Pammella Domingos, amigas de graduação, por serem anjos na minha vida, trazendo paz e serenidade, além da amizade.

Agradeço a Camila Oliveira por toda a amizade, energia positiva/radiante, e por ser uma boa companheira de passeios culturais.

Agradeço a Bianca Bassetti, Gabriel Freire, Suelen Stutz, Thainá Gomes, Thayssa Gomes por serem amigos da graduação que levarei para o resto da vida. Espero que nossos filhos também sejam amigos de graduação para se divertirem como nós.

Agradeço também a Gustavo Luis, Thiago Jorge, Mariana Gama e Filipe Félix que também passaram pela graduação e mesmo distantes, sempre considerarei parte integrante da minha vivência no IF.

Agradeço a Jandira e a todas as meninas que trabalharam com ela na cantina, com destaque especial a Fernanda, Maria Eduarda e Daniele. Muito obrigado pelo apoio e pelas relações amigas que permitiram muitas risadas, deixarão saudades.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro dado à pesquisa e pela oportunidade de atuar na iniciação científica, pois a partir dessa vivência este TCC foi desenvolvido.

E por fim, agradeço ao motorista do Uber que me buscou no marco das três fronteiras quando não tinha mais um ser humano ou meio de transporte que levasse daquele lugar tão remoto.

Viver é afinar o instrumento

De dentro pra fora

De fora pra dentro

A toda hora, todo momento.

(...)

Tudo é uma questão de manter

A mente quieta

A espinha ereta

E o coração tranquilo.

(WALTER FRANCO, 1991)



## RESUMO

Os primeiros relatos de degradação do meio ambiente começaram descrevendo problemas locais, pontuais. Hoje, o ser humano pode notar que os problemas pontuais já são problemas em comum, com dimensões globais. É preciso reconhecer que o meio ambiente e a sociedade enfrentam problemas inéditos, mas a noção de que o ser humano é causador de muitos deles é antiga. Isso faz com que as temáticas que giram em torno do meio ambiente estejam em evidência e sejam uma necessidade real a ser discutida para se construir um amanhã sustentável. Um exemplo é o surgimento da Química Verde, que partiu da necessidade de um menor impacto do cotidiano das indústrias químicas, surgiu como filosofia norteadora em prol de uma atividade menos prejudicial. Mas o eixo tecnológico da Química não é o único capaz de deixar pegadas na degradação ambiental, as atividades científicas da academia também são passivas de reflexão. Diariamente nas instituições que ensinam Química e áreas correlatas, há atividades experimentais com caráter didático para o ensino de fenômenos e conceitos químicos que geram resíduos, utilizam compostos de toxicidade elevada, gastam energia com reações químicas, fazem uso de quantidades estequiométricas além do necessário, entre outras práticas. A demanda por um olhar crítico a respeito das atividades do cotidiano químico é crescente e urgente. A formação de professores de Química deve ser repensada como uma forma de se buscar a reflexão sobre os ideais verdes. Este trabalho propõe a construção e utilização de métodos sintéticos com caráter verde na formação de professores de Química, de modo a buscar a reflexão sobre essas metodologias, sua implementação e a importância de se discutir Química Verde na academia.

Palavras-chave: Química Verde. Formação de professores. Métodos sintéticos.

## ABSTRACT

Early reports of environmental degradation began by describing local, timely problems. Today, the human being may notice that specific problems are already problems in common, with global dimensions. We must recognize that the environment and society face unprecedented problems, but the notion that the human being causes many of them is old. This makes the themes that revolve around the environment are in evidence and are a real need to be discussed to build a sustainable tomorrow. An example is the emergence of Green Chemistry, which starts from the need for a lesser impact of the daily life of the chemical industry, has emerged as a guiding philosophy in favor of a less harmful activity. However, the technological axis of Chemistry is not the only one able to leave footprints in the environmental degradation, the scientific activities of the academy are also passive of reflection. Daily in the institutions that teach Chemistry and related areas, there are experimental activities with didactic character to teach phenomena and chemical concepts that generate residues, use compounds of high toxicity, waste energy with chemical reactions, make use of stoichiometric quantities beyond what is necessary, between other practices. The demand for a critical look at the activities of everyday chemistry is growing and urgent. The training of chemistry teachers should be rethought as a way to seek reflection on green ideals. This work proposes the construction and use of synthetic methods with a green character in the training of Chemistry teachers, in order to seek the reflection on these methodologies, their implementation and the importance of discussing Green Chemistry in the academy.

Keywords: Green chemistry. Teacher training. Synthetic methods.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cristais de <i>trans</i> -[Co(en) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ]Cl.....	34
Figura 2 - Isômeros <i>trans</i> e <i>cis</i> do [Co(en) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ]Cl.....	35
Figura 3 - Produtos de oxidação de álcoois.....	37
Figura 4 - Estrutura da MTK10.....	38
Figura 5 - Esquema geral de oxidação do álcool benzílico com <i>claycop</i> em MO.....	40
Figura 6 - Esquema geral de oxidação do álcool benzílico com <i>clayfen</i> em MO.....	40
Figura 7 - Esquema geral de oxidação de álcool primário por TBCA.....	40
Figura 8 - Teste da oxidação com <i>claycop</i> .....	41
Figura 9 - Teste da oxidação com <i>clayfen</i> .....	41
Figura 10 - Vinagre branco sobre a moeda.....	44
Figura 11 - Cristais de Cu <sub>2</sub> (OAc) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O.....	44
Figura 12 - <i>Zoom</i> nos cristais de acetato de cobre (II) sobre outra moeda.....	44
Figura 13 - Estrutura molecular cristalográfica de monocristal do Cu <sub>2</sub> (OAc) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O.....	45
Figura 14 – Espectro FTIR do Acetato de Cobre (II).....	46
Figura 15 - Espectro FTIR do Acetato de Cobre (II) da literatura.....	46
Figura 16 - Estrutura do Mn(acac) <sub>2</sub> .....	47
Figura 17 - Formação do íon acetilacetonato.....	48
Figura 18 - Formação do produto Mn(acac) <sub>2</sub> .....	48
Figura 19 - Produto após filtração e secagem.....	48
Figura 20 – Espectro FTIR do Acetilacetonato de Manganês.....	49
Figura 21 - Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 1.....	50
Figura 22 - Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 2.....	51
Figura 23 - Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 3.....	53

Figura 24 - Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 4.....	54
--	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre métodos de complexação de cobalto.....	36
Quadro 2 - Sistemas de oxidação do álcool benzílico em MO.....	39
Quadro 3 – Relação entre métodos de oxidação.....	42
Quadro 4 – Relação entre métodos de complexação de cobalto.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QV	Química Verde
IFRJ	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
CDuC	<i>campus</i> Duque de Caxias
MO	Microondas
MTK10	Montmorillonita K-10

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
2.1	OBJETIVO GERAL .....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	20
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
4.1	O ENSINO DE QUÍMICA E SUA TRAJETÓRIA.....	21
4.2	QUÍMICA VERDE.....	22
4.3	QUÍMICA VERDE NO ENSINO.....	25
4.4	EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA E QUÍMICA VERDE: UMA RELAÇÃO POSSÍVEL?.....	26
4.5	A FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA.....	27
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	30
5.1	PRIMEIRA ETAPA – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	30
5.2	SEGUNDA ETAPA – ESTUDO DAS EMENTAS E ESCOLHA DE EXPERIMENTOS.....	30
5.3	TERCEIRA ETAPA – AVALIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	30
5.4	QUARTA ETAPA – REPRODUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	31
5.5	QUINTA ETAPA – CONSTRUÇÃO DE ROTEIROS EXPERIMENTAIS.....	31
5.6	SEXTA ETAPA – AVALIAÇÃO DE ROTEIROS E COLETA DE DADOS.....	31
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
6.1	SÍNTESE DO TRANS-DICLOROBIS(ETILENODIAMINA)-COBALTO(III) E SUA ISOMERIZAÇÃO NO MICRO-ONDAS.....	33
6.2	OXIDAÇÃO DO ÁLCOOL BENZÍLICO EM SUPORTE SÓLIDO (MONTMORILLONITA K-10).....	37
6.3	SÍNTESE DO ACETATO DE COBRE (II) EM MICROESCALA.....	42
6.4	SÍNTESE DO ACETILACETONATO DE MANGANÊS (II) EM MICROESCALA.....	46
6.5	ANÁLISE DOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS.....	49
6.5.1	<b>Análise do roteiro para síntese do <i>trans</i>-diclorobis(etilenodiamina)-</b>	

	<b>cobalto(III) e sua isomerização no micro-ondas (Análise 1).....</b>	<b>49</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Análise do roteiro para oxidação do álcool benzílico em suporte sólido (Montmorillonita K-10) (Análise 2).....</b>	<b>51</b>
<b>6.5.3</b>	<b>Análise do roteiro síntese do acetato de cobre (II) em microescala (Análise 3).....</b>	<b>52</b>
<b>6.5.4</b>	<b>Análise do roteiro acetilacetato de manganês (II) em microescala (Análise 4).....</b>	<b>54</b>
<b>6.5.5</b>	<b>Por que a Química Verde deve ser discutida na formação de professores? : discussão de falas comuns à análise dos roteiros.....</b>	<b>55</b>
<b>6.6</b>	<b>CONSTRUÇÃO DOS ROTEIROS.....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>65</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A história humana é repleta de acontecimentos que aos poucos construíram nossos hábitos e dão sentido à toda estrutura da sociedade. Na maioria desses momentos não houve preocupação da sociedade com a natureza, em relação ao impacto de suas atividades (REZENDE e OLIVEIRA, 2010). A cada dia, o ser humano protagoniza uma história de modificação do planeta: sempre retirou dela o que ele precisava e, jogou de volta aquilo que não. Com todos esses séculos de extrativismo e poluição dos recursos naturais, alguns ecossistemas do planeta começaram a dar sinais de adoecimento (MARTINE e ALVES, 2015).

Problemas foram descobertos no ar, nas águas e no solo, como: altos níveis de material particulado e óxidos na atmosfera (BRAGA *et al.*, 2015), água doce contaminada por rejeitos industriais e esgoto doméstico sem tratamento (FREITAS, 1997) e bioacumulação de agrotóxicos em terras agrícolas (LEMOS e MUSAFIR, 2014). A Química Industrial e a Química como ciência na academia caminharam paralelamente durante muitos anos, cada um com suas demandas, e isso negligenciou o surgimento de problemas (MACHADO, 2011). Demandas de remediação e mitigação surgiram à medida que os agentes poluentes foram sendo identificados. Numa dessas demandas, em 1991, a agência ambiental norte-americana *Environmental Protection Agency* criou um programa de rotas sintéticas alternativas para prevenção de poluição (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Ainda na década de 90 o programa se expandiu para incluir outros pontos da sínteses de compostos e a Química Verde (QV), a química do milênio, surgiu. Nesse momento, a indústria e a academia uniram esforços para responder os crescentes problemas da indústria química no que tange à geração de resíduos e poluição. Química Verde comumente se define como “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente” (ANASTAS e WARNER, 1998, p.11).

A Química Verde é pautada em doze princípios, propostos por Anastas e Warner (1998), que abordam as práticas cotidianas dos processos químicos que possuem maior impacto na geração de resíduos. Algo em comum a vários deles é a necessidade de sempre pensar metodologias sintéticas que possam mitigar a produção de subprodutos e quando produzidos, que sejam inócuos ao meio

ambiente e à saúde humana. Porém, a indústria não é a única entidade que possui atividades químicas cotidianas: os ideais verdes também são passivos de inserção nas instituições que ensinam Química e áreas correlatas. Serrão e Silva (2010) descrevem que as instituições de ensino necessitam ser pioneiras na divulgação da Química Verde, pois a formação de profissionais cada vez mais conscientes dos problemas ambientais e das possíveis soluções, estimulará procedimentos mais limpos. Repensar os projetos político-pedagógicos dos cursos de graduação em Química é uma necessidade para adequar a formação de profissionais a essa demanda.

Entretanto, a formação de professores precisa ser discutida enquanto formadora de opinião. Os cursos de licenciatura em Química têm a missão de formar cidadãos, algo além do eixo ensinar-aprender. Um licenciado bem formado é capaz de integrar saberes e usar das mais diversas metodologias de ensino para tentar tornar o conhecimento mais efetivo. Dentre as metodologias usadas para se ensinar Química, podemos destacar a experimentação.

A Química Verde em si surgiu a partir da experimentação, só que na esfera industrial. A ponte entre os saberes tecnológicos e científicos deve ser construída por profissionais capacitados no ensino, por isso a QV figura como um assunto cada vez mais urgente na formação de profissionais, sobretudo do ensino.

A experimentação no ensino deve ser uma relação constante entre o fazer e pensar (SILVA, MACHADO e TUNES, 2010). Um olhar integrador sobre as atividades experimentais proporciona uma visão mais ampla sobre os fenômenos, revelando a complexidade da vida moderna. Pinto e colaboradores (2009) afirmam que a QV precisa deixar de ser apenas um conceito para ser uma atitude responsável.

Experimentar métodos de síntese com ideais verdes se faz necessário: a microescala junto à sua menor geração de resíduos; o uso do micro-ondas para otimização energética das reações e a adsorção de reagentes em suporte sólido para economizar etapas. Repensar a experimentação, somando-a à QV, pode ser um caminho em comum às demandas sustentáveis do planeta. Segundo Sanseverino (2010), classificações como síntese limpa têm se tornado frequentes na literatura e demonstram uma nova conduta química para o aprimoramento de processos. Reed e Hutchison (2000) defendem que a QV deve ser inserida em todas as áreas da Química, principalmente nas disciplinas experimentais, no

desenvolvimento de práticas de laboratório de ensino adaptadas a este novo conceito da química.

A filosofia verde no Brasil é um assunto em ascensão, entretanto ainda é uma área desconhecida por muitos e carece de reflexões na academia (SERRÃO e SILVA, 2010). O foco deste trabalho vai de encontro a essa carência, que é integrar a QV e a experimentação na formação de professores de Química.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Propor novos métodos sintéticos em consonância com os doze tópicos da Química Verde, para as disciplinas de Química Orgânica Experimental e Química Inorgânica Experimental do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Rio de Janeiro *campus* Duque de Caxias (IFRJ – CDuC) e refletir sua eficácia junto aos discentes.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Propor sínteses em microescala;
- Propor síntese em suporte sólido;
- Empregar o micro-ondas como alternativa para eficiência energética;
- Integrar a Química Verde aos métodos e procedimentos experimentais;
- Disseminar os ideais da filosofia verde pelas disciplinas experimentais.

### 3 JUSTIFICATIVA

Um direcionamento voltado para as preocupações ambientais, nas atividades experimentais cotidianas, se faz importante para o futuro do planeta. O IFRJ *campus* Duque de Caxias conta com a presença de roteiros verdes para algumas sínteses já desenvolvidas em trabalhos anteriores para as disciplinas de Química Orgânica, com o uso de tópicos da QV, incluindo sínteses que utilizam ultrassom como alternativa energética (ALMEIDA *et al.*, 2016). Para contemplar outros tópicos da QV como por exemplo, o uso do micro-ondas e atividades experimentais pensadas em adsorção de reagentes em suporte sólido, uso de experimentos em microescala e uma abordagem também em Química Inorgânica, este trabalho foi desenvolvido.

As atividades experimentais propostas neste trabalho surgem a partir dessa necessidade de expandir as metodologias verdes na Licenciatura em Química do *campus* e também na busca por atingir novas áreas da graduação, como a Química Inorgânica. Todas essas atividades utilizam reagentes de fácil acesso e com reagentes de grau de toxicidade inferior aos que são comumente utilizados segundo as apostilas experimentais adotadas. Este novo olhar para a experimentação no curso busca desconstruir a ideia de que a Química está sempre relacionada à geração de resíduos/poluição além de visar uma inserção maior da Química Verde no curso, objetivando uma difusão mais efetiva da QV.

Lenardão e colaboradores (2003), descrevem que apesar da propalada urgência da incorporação dos princípios da Química Verde na formação inicial e continuada de profissionais da Química pelas mais diversas instituições (setores acadêmicos e industriais, sociedades científicas, agências de regulamentação, organizações governamentais e não governamentais), a sua inserção ocorre basicamente por meio de eventos no Brasil, em cursos de curta duração. A reflexão da Química Verde enquanto parte integrante de um curso de graduação é um novo direcionamento para essa área da Química. A proposição de roteiros experimentais verdes para a formação de professores de Química é uma metodologia alternativa a esses momentos de breve discussão da QV no Brasil, visando uma formação de longo prazo.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 O ENSINO DE QUÍMICA E SUA TRAJETÓRIA

O Ensino das Ciências Naturais (Química, Física e Biologia) nem sempre foi prioridade no espaço escolar. Contudo, por consequência das constantes transformações do homem na ocupação do planeta, as Ciências Naturais ganharam espaço no conteúdo escolar tentando se articular com a vida cotidiana. Seu início é datado nos anos 50 e, de acordo com Rosa (2005), o espaço foi conquistado devido ao status que a ciência adquiriu baseado nos importantes avanços tecnológicos da humanidade, proporcionados pelo conhecimento da natureza. Isso implicou em mudanças intelectuais e sociais.

Com o passar dos anos, os objetivos deste ensino foram se adaptando conforme o contexto histórico (KRASILCHIK, 2000). No Brasil a educação como um todo já foi vista de diversas formas, como por exemplo na ditadura militar onde era vista como instrumentalização para o trabalho e de controle ideológico. Nos anos 70, uma enorme deficiência em conteúdos científicos começou a ser analisada e várias disciplinas se interligaram para discutir maneiras de mitigar o problema. A partir daí, as limitações do ensino foram reconhecidas e a ciência e tecnologia (C&T) surgiram como proposta de melhorar o aprendizado.

Somente nos anos 90, mais especificamente no ano de 1997, surge o desafio de tornar o Ensino de Química articulado com saberes prévios, pensado a cada realidade, e o cotidiano dos alunos de modo a otimizar a troca de conhecimento e torná-los seres críticos. Nesse sentido, quando discutem a importância do Ensino de Química na formação de um ser crítico:

“É necessário que os cidadãos conheçam como utilizar as substâncias no seu dia a dia, bem como se posicionarem criticamente com relação aos efeitos ambientais da utilização da química e quanto às decisões referentes aos investimentos nessa área, a fim de buscar soluções para os problemas sociais que podem ser resolvidos com a ajuda do seu desenvolvimento”. (SANTOS e SCHNETZLER, 1997, p. 47).

Com os avanços da implementação da Química no currículo escolar, diversas questões epistemológicas, abordagens contextualizadoras, práticas experimentais,

desconstrução de paradigmas, e diversas outras metodologias começaram a ser utilizadas para tornar o Ensino de Química mais efetivo até os dias de hoje:

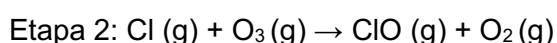
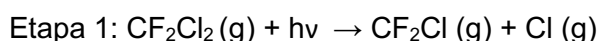
“É necessário que não tenhamos a resistência de transformar a química da sala de aula em um instrumento de conscientização, com o qual trabalharemos não só os conceitos químicos fundamentais para a nossa existência, mas também os aspectos éticos, morais, sociais, econômicos e ambientais a eles relacionados” (SANTOS e SCHNETZLER, 1997, p.131).

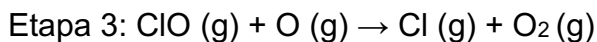
## 4.2 QUÍMICA VERDE

A partir do século XVIII e as aplicações da máquina a vapor de James Watt, a humanidade passou a consumir produtos e usufruir de serviços, como nunca antes em sua história (BARBOSA, 2004). O motor a vapor baseado na queima de carvão impulsionou o mercado automobilístico, fazendo o ser humano chegar onde nunca antes. Décadas depois, a segunda Revolução Industrial se mostrou como uma divisora de águas na produção em massa e além disso, nessa época, a humanidade descobriu o Petróleo e passou a ser extremamente dependente de seus derivados (PEREIRA, 2008). A cada dia após essa descoberta, o homem protagoniza uma história de modificação do planeta, de inserção no meio ambiente.

Já na década de 1980, com avanço da ciência, cientistas descobriram um enorme buraco na camada de ozônio como resultado do lançamento de produtos químicos novíços à atmosfera. Governos de todo o mundo firmaram o Protocolo de Montreal, proibindo a produção de gases artificiais que consomem o ozônio, como os clorofluorcarbonos, CFCs (WMO, 1999).

Os clorofluorcarbonos são compostos halogenados que apresentam em sua estrutura átomos de cloro e flúor. De acordo com Dessler (2000), os CFCs são gases que atingem altitudes superiores a 20km após lançados na natureza e são facilmente decompostos pela radiação ultravioleta. Segundo Rocha-Filho (1995), nesta decomposição átomos de cloro altamente reativos podem participar em ciclos de reações catalíticas com o ozônio presente nestas altitudes. Absorvem a radiação ultravioleta proveniente do sol, gerando espécies de cloro atômico que reagem com o ozônio na seguinte sequência:





A partir desse momento surgiu a necessidade de se repensar os hábitos, visto que as pesquisas revelam que o homem poderia ser capaz de alterar o clima em escala global.

A produção de CFCs (e outros gases nocivos) é desdobramento do elevado ritmo de consumo. A humanidade no século XX já era sedenta por bens e matérias primas e também alterava sem precedentes o espaço que habita, expandindo cidades. Isso tudo rapidamente criou um quadro de poluição ambiental jamais visto antes. Do início do século XIX até os dias de hoje, o homem degradou e poluiu mais o meio ambiente que em 10.000 anos de história (FARIAS e FÁVARO, 2011). Tal fato se deu devido ao grande incentivo ao desenvolvimento econômico, aliado à falta de consciência com relação à necessidade de investimentos no controle da poluição. Uma legislação ambiental ineficiente com relação ao descarte de resíduos tóxicos no meio ambiente, oriundos da atividade da indústria química, atenuou a situação.

Com o passar das décadas, diversos acordos e encontros entre as nações do planeta foram promovidos em prol do clima e da natureza. Destes, algumas atitudes foram acordadas e ações foram tomadas para identificação de agentes poluidores. Políticas públicas buscando limitar e/ou mitigar a formação de compostos poluentes surgiram e um ramo da Química se desenvolveu: a Química Verde. A QV surge como uma proposta de tecnologia química que aponta a prevenção da contaminação (PANIZZOLO *et al.*, 2012).

De acordo com seus principais fundadores (ANASTAS e WARNER, 1998), a Química Verde pode ser definida como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente. Ao longo dos anos, criou-se um consenso sobre os principais pontos ou princípios básicos da Química Verde. Os doze tópicos que precisam ser considerados quando se pretende implementar a Química Verde em uma indústria ou instituição de ensino e/ou pesquisa na área de Química, foram propostos por Anastas e Warner em 1998 e estão listados a seguir:

#### 1 - Prevenção

É mais barato evitar a formação de resíduos tóxicos do que tratá-los depois que eles são produzidos;



## 2 - Eficiência Atômica

As metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final;

## 3 - Síntese Segura

Deve-se desenvolver metodologias sintéticas que utilizem e gerem substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente;

## 4 - Desenvolvimento de Produtos Seguros

Deve-se buscar o desenvolvimento de produtos que após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente;

## 5 - Uso de Solventes e Auxiliares Seguros

A utilização de substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes precisam ser evitados ao máximo; quando inevitável a sua utilização, estas substâncias devem ser inócuas ou facilmente reutilizadas;

## 6 - Busca pela Eficiência de Energia

Os impactos ambientais e econômicos precisam ser considerados. É necessário o desenvolvimento de processos que ocorram à temperatura e pressão ambientes. Uma opção é a substituição do aquecimento convencional por fontes de energia alternativas, como micro-ondas e ultrassom;

## 7 - Uso de Fontes de Matéria-Prima Renováveis

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

Processos que envolvem intermediários com grupos bloqueadores, proteção/desproteção, ou qualquer modificação temporária da molécula por processos físicos e/ou químicos devem ser evitados, pois estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos;

## 9 - Catálise

O uso de catalisadores (tão seletivos quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos. Geralmente sínteses catalíticas, devido sua alta seletividade, são mais eficientes, limpas e econômicas. Permitem a

reutilização do catalisador, o uso de matérias primas renováveis e a redução da quantidade de reagentes;

#### 10 - Produtos Degradáveis

Os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após sua utilização não deve permanecer no ambiente, degradando-se em produtos inócuos;

#### 11- Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição

O monitoramento e controle em tempo real, dentro do processo, deverá ser viabilizado. A possibilidade de formação de substâncias tóxicas deverá ser detectada antes de sua geração;

#### 12 - Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes

A escolha das substâncias, bem como sua utilização em um processo químico, devem procurar a minimização do risco de acidentes, como vazamentos, incêndios e explosões.

### 4.3 QUÍMICA VERDE NO ENSINO

A crescente necessidade de uma prática química que, mediante postura ética, aja de modo a antecipar problemas de poluição no meio ambiente (ANTONIN, MORASHASHI e MALPASS, 2011) justifica o porquê de se inserir QV nos currículos e projetos políticos das graduações voltadas para Química. As instituições de ensino são importantes para o desenvolvimento de ideais. Estes espaços são uma ferramenta para se discutir e formar uma base sólida em QV levando em conta as potencialidades de cada região.

Serrão e Silva descrevem a importância do ensino de QV através dos componentes curriculares das universidades como:

“As Instituições de Ensino necessitam ser pioneiras na divulgação da Química Verde, pois a formação de profissionais cada vez mais conscientes dos problemas ambientais e das possíveis soluções, estimulará procedimentos mais limpos, uma menor geração de efluentes, um ganho energético e econômico, a criação de novas metodologias analíticas, a redução da utilização de solventes orgânicos, ou seja, será adquirida uma postura de prevenção à poluição o que por sua vez gera procedimentos químicos seguros, limpos e em consonância com a preservação ambiental” (SERRÃO e SILVA, 2010, p. 11).

O processo de difusão da QV na grade curricular é feito lentamente nas universidades brasileiras. As instituições precisam de mudanças estruturais que permitam o questionamento, a revisão e o desenvolvimento de questões epistemológicas, metodológicas, éticas e políticas mais adequadas aos desafios na problemática ambiental (ANTONIN, MORASHASHI e MALPASS, 2011). Pinto e colaboradores defendem:

“Os princípios da Química verde, a sustentabilidade e a atuação responsável deverão ser transversais aos novos currículos e às novas estruturas. A Química Verde deve deixar de ser apenas um conceito, para ser uma atitude responsável, em que a atividade química não agrida o meio ambiente, eliminando-se ou minimizando-se, ao máximo, a produção de rejeitos e de solventes agressivos ao ambiente. Para tanto, precisamos “inocular” nos estudantes e profissionais o comportamento verde” (PINTO *et al.*, 2009, p. 568).

Aos poucos, a educação vem sendo percebida como *locus* da formação de pensamentos em Química Verde. No ensino de Química há muitos tópicos onde facilmente se difunde questões que podem ser trabalhadas e respondidas com ações de QV.

Na literatura podemos encontrar alguns trabalhos de inserção de QV, como por exemplo a utilização de uma revista eletrônica para discussão da Química Verde no Ensino Médio. Proporcionando uma problematização, a elaboração deste material fez com que os estudantes compreendessem seu papel como agentes transformadores do meio em que habitam (LIMA, MOREIRA e SÁ, 2016). Em um outro estudo onde a Química Verde foi inserida na formação de professores, esta filosofia se mostrou como viés nos processos de ação e educação para a sustentabilidade (SANDRI e FILHO, 2016). Com o crescente número de publicações de QV no ensino aos poucos se incita a difusão dessa área, propagando os conceitos. Este é um desafio atual e futuro.

#### 4.4 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA E QUÍMICA VERDE: UMA RELAÇÃO POSSÍVEL?

A experimentação no ensino de Química é uma ferramenta que engloba muitos fatores atrativos, pois além de afirmar o conhecimento teórico, pode ser relacionada ao cotidiano que muitas vezes passa despercebido. Além de tornar a Química menos abstrata, atividades experimentais possuem caráter construtivista,

que podem correlacionar outros saberes tornando o aprendizado mais efetivo. Giordan traduz a experimentação como algo imprescindível no ensino de ciências:

“A elaboração do conhecimento científico apresenta-se dependente de uma abordagem experimental, não tanto pelos temas de seu objeto de estudo, os fenômenos naturais, mas fundamentalmente porque a organização desse conhecimento ocorre preferencialmente nos entremeios da investigação. Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas” (GIORDAN, 1999, p. 44).

Tomando a experimentação no ensino de Química como uma das ferramentas para a construção de saberes, a Química Verde ano após ano vem se inserindo no ensino superior através dessa metodologia. A Química Verde em si surgiu em meio à prática das indústrias, a partir da reflexão de suas atividades diárias (LENARDÃO *et al.*, 2003). Não muito diferente, a QV vem sendo difundida nas universidades na forma de experimentos. Por meio de propostas didáticas investigativas, têm-se a intenção de sensibilizar estudantes de Química e áreas correlatas, a relação entre os saberes científico-tecnológicos e as questões ambientais, considerando o movimento da Química Verde e a formação inicial de professores no contexto brasileiro (FERREIRA, HARTWIG e OLIVEIRA, 2010).

A Química como ciência intrinsecamente experimental cumpre seu papel com uso da experimentação, mas com a Química Verde agregada pode-se ir além. Com o agravamento das questões socioambientais, surge diariamente a necessidade de readequar a conduta do cotidiano químico. Nessa problemática, a QV surge como corrente de pensamento que pode atender a essa demanda (SANDRI, KLUCONSKI e SCHNEIDER, 2016).

As publicações recentes de Química Verde em situações de ensino no país são pautadas em roteiros de aulas práticas e exploram aspectos sintéticos e mecanísticos de reações químicas (ZANDONAI *et al.*, 2013). Podemos citar como exemplo, Almeida e colaboradores (2016), que otimizaram as atividades experimentais no contexto em que estavam inseridos, sem perdas ou desvios nos conceitos teóricos envolvidos. Propuseram novas rotas sintéticas de melhor eficiência energética e biodegradabilidade.

#### 4.5 A FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA

A formação de professores de Química é um ponto importante a ser discutido, ao passo que tudo que foi descrito anteriormente se dá de maneira eficaz se houver um profissional bem qualificado em sua função: ensinar. A Química infelizmente sofre com preconceitos por parte dos alunos, sendo vista como uma matéria de difícil compreensão, o que põe em xeque a real importância de seu aprendizado. Isso se dá por problemas no processo de ensino-aprendizado, que geralmente é o modelo tradicional, despreocupado com contextualizações e investigações do mundo fora dos muros da escola. Existem alguns problemas na prática docente: geralmente os professores têm sido malformados, por isso, não são/estão preparados para darem “boas aulas” em quaisquer dos níveis de escolaridade (SCHNETZLER, 2000).

Por essas e outras razões não é mais possível enxergar o exercício do magistério como algo essencialmente simples, para o qual basta saber alguns conteúdos e ‘passá-los’ aos alunos para que estes os ‘devolvam’ da mesma forma nas provas (MALDANER, 2000).

Para mitigar o ensino tradicional, se faz necessária uma formação de professores com bom ensino a respeito das práticas docentes e seus respectivos impactos. É necessário que os cursos universitários promovam novas práticas e novos instrumentos de formação, como estudos de caso e práticas, estágios de longa duração, memória profissional, análise reflexiva, problematizações, etc (ALMEIDA e BIAJONE, 2007). Uma outra necessidade formativa de professores de Química gira em torno dos saberes relacionados à construção da história da ciência, de modo a expressar melhor o presente e o futuro. Chassot expressa que:

“Buscar ver como se enraíza e é enraizada a construção do conhecimento é cada vez mais uma necessidade para que possamos melhorar nossa prática docente. Esta passa a ser uma exigência importante para que melhor possamos entender os conhecimentos que transmitimos” (CHASSOT, 2003, p. 272).

A formação de professores de Química deve ser pensada em prol da construção de sua identidade, de sua importância a longo prazo. Esse tipo de profissional forma pessoas, é vetor de conhecimento e saberes e precisa dessa constante autoafirmação para refletir sua prática. É preciso pensar a formação docente (inicial e continuada) como momentos de um processo contínuo de

construção de uma prática docente qualificada e de afirmação da identidade, da profissionalidade e da profissionalização do professor (BRASIL, 2005, p. 28).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 PRIMEIRA ETAPA – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Na primeira etapa, foi feito um levantamento bibliográfico que desse suporte à ideia de QV em atividades experimentais. Procurou-se publicações em plataformas como SciELO, Science Direct e Google Acadêmico. Foram analisadas produções como artigos, teses, dissertações e trabalhos publicados em anais de eventos que tivessem estudos com viés em Química Verde. Foram encontrados estudos com viés em QV nas grandes áreas da Química (Química Geral, Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-Química e Química Analítica) e escolhidas as que apresentaram algum método sintético alternativo, mais verde em relação ao comumente utilizado.

### 5.2 SEGUNDA ETAPA – ESTUDO DAS EMENTAS E ESCOLHA DE EXPERIMENTOS

Na segunda etapa, foram selecionadas as publicações que poderiam servir para otimizar o que está proposto nas apostilas experimentais do curso de Licenciatura em Química, do IFRJ - CDuC. Cada publicação selecionada foi comparada às ementas das seguintes disciplinas do curso: Química Geral I, II e Química Geral Experimental; Química Orgânica I, II, III e Química Orgânica Experimental I e II; Química Inorgânica I, II e Química Inorgânica Experimental; Físico-Química I, II e III e Físico-Química Experimental; Química Analítica I, II e Química Analítica Quantitativa Experimental. Este levantamento foi realizado a fim de se identificar perdas ou ganhos conceituais referentes ao conteúdo proposto nas sínteses. O trabalho nas disciplinas experimentais se deu de modo a identificar a existência de sínteses compatíveis nas apostilas experimentais adotadas. Este levantamento mostrou que a Química Inorgânica foi a área que mais revelou metodologias interessantes a serem adaptadas ao curso.

### 5.3 TERCEIRA ETAPA – AVALIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO

Na terceira etapa os experimentos das ementas do curso de Licenciatura em Química, selecionados para otimização, foram estudados para identificação da toxicidade dos reagentes e do produto, quantidade de etapas na síntese, lavagens de sólidos, filtrações, subprodutos, uso de solventes e aquecimentos. Esse levantamento é confrontado com as publicações escolhidas através da pesquisa na

primeira etapa, para justificar a viabilidade de implementação de uma metodologia alternativa.

#### 5.4 QUARTA ETAPA – REPRODUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Na quarta etapa, os experimentos descritos nas publicações selecionadas foram reproduzidos no laboratório de Orgânica e Físico-Química e no laboratório de Iniciação Científica do IFRJ - CDuC, e adaptados às demandas das disciplinas propostas nas ementas. Nesta parte, foram avaliados diversos pontos para justificar a viabilidade de implementação, como: tempo de execução, conceitos abordados, segurança na utilização da prática, adequação estequiométrica de reagentes e toxicidade.

Foram reproduzidos os experimentos com maior potencial de implementação para evitar gasto de reagentes e posterior geração de resíduos, foram eles: Síntese do trans-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) (MOURA *et al.*, 2006) e sua isomerização no micro-ondas (MARÍN, GONZÁLEZ e NÚÑEZ, 2006); Oxidação do álcool benzílico em suporte sólido (Montmorillonita K-10) (BRAIBANTE e BRAIBANTE, 2004); Síntese do acetato de cobre (II) em microescala (ARROYO-CARMONA *et al.*, 2012); Síntese do acetilacetato de manganês (II) em microescala (RIBEIRO e MACHADO, 2011).

#### 5.5 QUINTA ETAPA – CONSTRUÇÃO DE ROTEIROS EXPERIMENTAIS

Na quinta etapa houve a construção de roteiros para cada experimento reproduzido, integrando o porquê de se estudar tal conceito químico e também a Química Verde. Os protocolos experimentais foram adaptados ao uso didático, visando seu impacto na formação de professores.

#### 5.6 SEXTA ETAPA – AVALIAÇÃO DE ROTEIROS E COLETA DE DADOS

A análise dos roteiros se faz necessária para a completar a discussão, tanto conceitual quanto crítica, a respeito de uma intervenção da Química Verde na formação de professores de Química. Esta etapa do trabalho é pautada na percepção dos alunos do curso de Licenciatura em Química do IFRJ - CDuC, inscritos na disciplina de Química em Sala de Aula IV e na disciplina eletiva Química Verde, quanto à importância da inserção de QV na formação de professores de



Química. Ao total dezoito discentes participaram da pesquisa, com faixa etária entre 20 e 33 anos, no ano de 2018, durante segundo semestre letivo.

A avaliação das sínteses propostas se constituiu da seguinte estrutura: cada um dos discentes recebeu dois roteiros experimentais para a síntese de um mesmo composto, onde um roteiro contém métodos verdes de síntese (síntese verde) e o outro, não contém métodos verdes (síntese marrom). Cada licenciando comparou dois métodos diferentes para chegar a um mesmo composto de interesse. Nenhum composto sintetizado nas atividades experimentais verdes possui síntese correspondente nas disciplinas experimentais, outros compostos são sintetizados. Mesmo que outros compostos de interesse sejam estudados, os conceitos químicos da síntese em si são análogos. Comparar rotas sintéticas de compostos distintos poderia comprometer a percepção de método sintético, visto que cada composto tem suas especificidades para ser sintetizado. Por isso, roteiros marrons com síntese do mesmo com do roteiro verde, foram retirados da literatura em geral para essa avaliação.

Para a coleta de dados a partir da análise dos roteiros, cada licenciando preencheu um questionário estruturado para buscar reflexões sobre a eficácia dessa metodologia na difusão da QV no curso em questão. A análise dos dados se deu de modo qualitativo. Nesta etapa buscou-se avaliar as respostas dos alunos quanto à sua percepção da Química Verde presente nos experimentos propostos, a compreensão da metodologia verde dentro dos doze princípios da QV, o papel da inserção de roteiros verdes na graduação e por fim, a reflexão da Química Verde em sua formação, enquanto aluno de um curso de licenciatura.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 SÍNTESE DO *TRANS*-DICLOROBIS(ETILENODIAMINA)-COBALTO(III) E SUA ISOMERIZAÇÃO NO MICRO-ONDAS

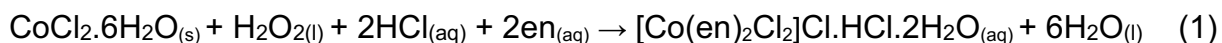
O elemento químico cobalto, um metal de transição, pertence ao grupo 9 da tabela periódica e está relacionado ao desenvolvimento da área da química que estuda complexos, a Química de coordenação, que se desenvolveu sobre pesquisas de Alfred Werner e os complexos de cobalto que estudou. Em 1893 publicou um trabalho que além de lhe render o prêmio Nobel de Química em 1913, serviu como base conceitual para a Química de coordenação que se conhece hoje (SANTOS *et al.*, 2014).

A Química de coordenação está presente na ementa de Química Inorgânica II e de Química Inorgânica Experimental do curso de Licenciatura em Química, do IFRJ *campus* Duque de Caxias (IFRJ, 2015). Na disciplina experimental há estudos sobre compostos de coordenação de cobalto (SILVA *et al.*, 2014, p. 28-34), que são importantes para consolidar o conhecimento passado na disciplina teórica. Para um desses estudos sobre compostos de coordenação do cobalto está proposta a síntese e isomerização do Pentaaminonitritocobalto (III) ( $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{Cl}_2$ ). Contudo, esta prática possui uma série de etapas, utiliza reagentes com grau de toxicidade considerável à saúde e o produto final leva uma semana para ficar pronto.

No apêndice A foi proposta uma nova atividade experimental para essa temática, baseada no método descrito por Moura *et al.* (2006) com um novo complexo de cobalto, o *trans*- $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$  somado à conceitos de Química Verde de modo qualitativo. Inserir Química Verde de modo qualitativo é avaliar parâmetros de uma síntese com base nos doze tópicos da QV, já o modo quantitativo, se além a métricas que mensuram com números se um processo é vantajoso ou não economicamente, quimicamente e até o fator ambiental do mesmo.

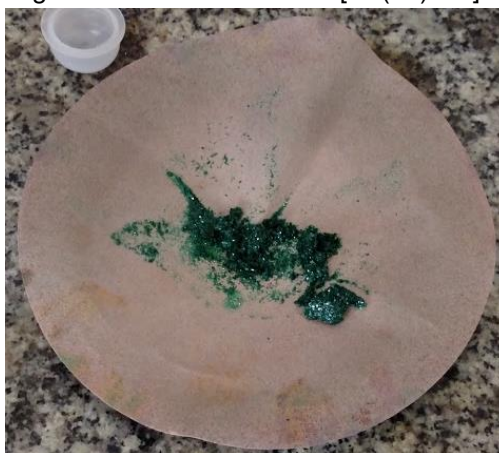
A atividade proposta no apêndice A contém uma nova rota sintética e o emprego de micro-ondas para otimizar o tempo de isomerização, ambas construídas sobre os doze princípios da Química Verde. Primeiramente, o complexo é sintetizado, e para que o *trans*- $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$  seja formado, o cobalto é oxidado a cobalto (III) pela  $\text{H}_2\text{O}_2$  na presença de etilenodiamina. Logo após esse passo,

cobalto no complexo octaédrico (MOURA, 2006). O complexo é sintetizado de acordo com a equação 1:



O *trans*-diclorobis(etilenodiamina) cobalto(III) possui coloração verde (Figura 1) e possui isômero geométrico.

Figura 1 – Cristais de *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl



Fonte: Elaborada pelo autor

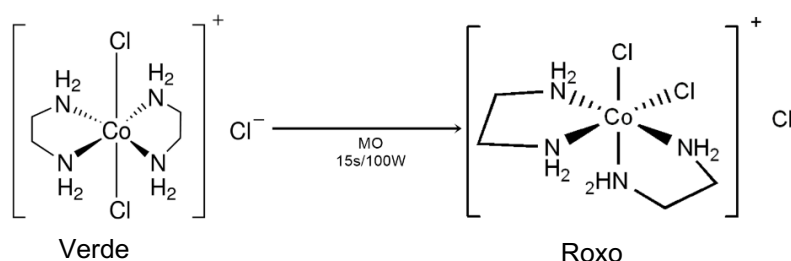
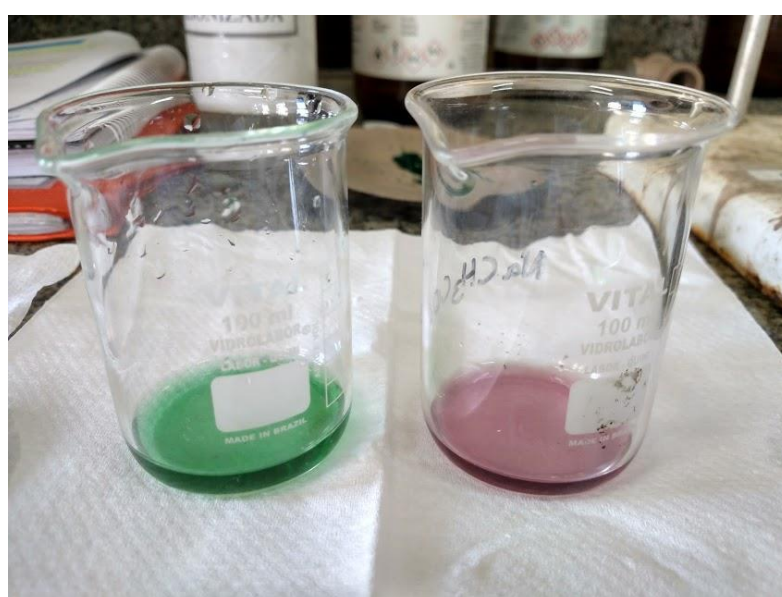
A síntese proposta para o *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl, em relação à realizada para o [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>ONO]Cl<sub>2</sub>, é mais verde quando se fala dos doze tópicos. Nela há influências do terceiro tópico da Química Verde, síntese segura. Não há uso de nitrito de sódio nem de hidróxido de amônio utilizado anteriormente, ambos considerados tóxicos à saúde humana. Na síntese do [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>ONO]Cl<sub>2</sub> há etapas de lavagem e filtração, que podem levar às águas e ao solo compostos que porventura não reagiram e assim contaminando-os.

A segunda parte da atividade proposta é a isomerização do composto *trans* para seu isômero *cis*. Esta etapa é realizada no forno micro-ondas de uso doméstico, um equipamento que emite radiações (energia eletromagnética) com frequência na faixa de 10<sup>3</sup> a 10<sup>4</sup> MHz (ROSINI, 2004). O uso dessa fonte alternativa de energia está pautada no sexto tópico dos doze princípios de Química Verde, que busca a eficiência energética em sínteses e transformações químicas. O emprego de micro-ondas vai de encontro aos métodos tradicionais de aquecimento e se mostra vantajoso em diversos aspectos, como: aquecimento rápido e uniforme,

menores temperaturas para síntese e redução de custos em termo de energia e tempo (COSTA *et al.*, 2009). Tais vantagens proporcionam maiores rendimentos de reação e diminuem o tempo gasto com a mesma.

A isomerização, também descrita no Apêndice A com base no método descrito por Marín e colaboradores (2006), foi realizada em forno micro-ondas da marca Philco, 110V, 18L, à potência de 100W. Após 15s sob radiação, o *cis*-diclorobis(etilenodiamina) cobalto(III) foi formado e possui coloração roxa (Figura 2).

Figura 2 – Isômeros *trans* e *cis* do  $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$



Fonte: Elaborada pelo autor

O processo de isomerização de um complexo similar executado na disciplina de Química inorgânica experimental requer duas aulas, uma para síntese e outra para a observação da mudança de coloração, que em temperatura ambiente, pode chegar até 48h. O acompanhamento do tempo de isomerização se deu por observação da cor da solução, assim que a coloração da solução inicial mudou, a irradiação de micro-ondas foi interrompida e o tempo foi marcado. Segundo a literatura (MARÍN, GONZÁLEZ e NÚÑES, 2016), cada isômero absorve um

determinado comprimento de onda e ambos possuem regiões de absorção bem distintas: o complexo *trans* possui  $\lambda = 619\text{nm}$  e o complexo *cis* possui  $\lambda = 511\text{nm}$ .

Os complexos são compostos coloridos devido às variações de níveis de energia dos orbitais d, de um metal de transição que constitua o composto. Quando um complexo recebe a radiação eletromagnética da luz, ela é absorvida provocando a transferência de um elétron de um nível de energia mais baixo para um nível de energia mais alto. Devido a essa diferença de energia que existe entre os níveis, há diferentes capacidades de absorção da luz, o que faz com que cada composto tenha uma cor dentro do espectro. (SHRIVER *et al.*, 2008) A variação dos ligantes e suas posições também alteram a coloração de complexos que tenham o mesmo metal de transição, pois cada um altera o nível de energia de um orbital. Devido à alteração da posição de um Cl e um  $-\text{NH}_2$ , o composto *trans* que tinha a coloração verde, passa a ter coloração roxa na conformação *cis*.

O quadro 1 resume a comparação entre a síntese de complexo de cobalto realizada no campus e a complexação proposta com base nos princípios de QV. Há menor utilização de reagentes, que por consequência reduz o número de etapas de uma síntese. Além disso, a complexação feita no IFRJ – CDuC possui duas filtrações, o que sugere separação de compostos, gerando mais resíduos que a complexação verde, onde sua única filtração é para lavar o composto já sintetizado. O ganho cinético em relação à isomerização também é notório, visto que um processo de dias consegue ser concluído em 15s.

Quadro 1 – Relação entre métodos de complexação de cobalto

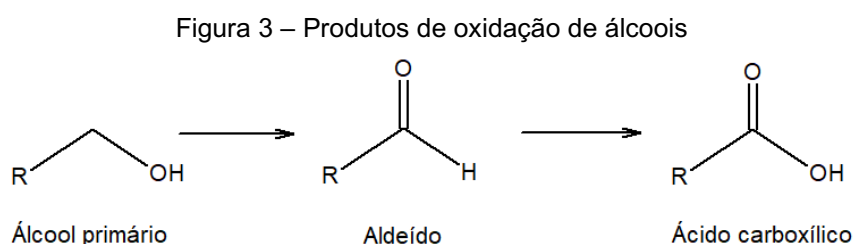
<b>Complexação de cobalto feita no campus</b>	<b>Complexação de cobalto pelo método proposto</b>
Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloreto de cobalto;</li> <li>• Água;</li> <li>• Cloreto de amônio;</li> <li>• Hidróxido de amônio;</li> <li>• Peróxido de hidrogênio;</li> <li>• Ácido clorídrico;</li> <li>• Nitrito de sódio;</li> <li>• Gelo.</li> </ul>	Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloreto de cobalto;</li> <li>• Água;</li> <li>• Etilenodiamina;</li> <li>• Peróxido de hidrogênio;</li> <li>• Álcool etílico.</li> </ul>
Possui duas etapas de filtração	• Possui uma única filtração
Isomerização em uma semana	Isomerização em 15s em micro-ondas a 100W

## 6.2 OXIDAÇÃO DO ÁLCOOL BENZÍLICO EM SUPORTE SÓLIDO (MONTMORILLONITA K-10)

As reações de oxidação são de grande importância para a compreensão de diversos processos biológicos, como o início do metabolismo do álcool no nosso organismo que se passa pela oxidação do álcool pela enzima álcool desidrogenase (CERQUEIRA, 2016). Essa reação também serve para a síntese de diversos compostos de interesse humano. O estudo das reações de oxidação está presente na ementa de Química Orgânica II e Química Orgânica Experimental II (IFRJ, 2015), tendo em vista a importância de sua compreensão para a leitura de mundo.

Uma reação de oxidação consiste na adição de oxigênio, na remoção de hidrogênio ou na remoção de elétrons de um substrato orgânico (DONOHOE, 2000). Os álcoois podem ser um grupo de compostos facilmente oxidados a compostos carbonilados, pois possuem átomos de oxigênio em sua composição que lhes conferem características reativas.

Alcoóis primários são oxidados à aldeídos ou à ácidos carboxílicos (Figura 3). Agentes oxidantes muito fortes são capazes de oxidar alcoóis primários à ácidos carboxílicos, passando por um aldeído intermediário, o qual não é isolado, mas oxidado rapidamente ao ácido correspondente. Alcoóis secundários são oxidados à cetonas, porém condições mais severas podem levar à clivagem oxidativa. Já os alcoóis terciários, por não possuírem hidrogênio ligado ao carbono hidroxilado, não reagem com a maioria dos agentes oxidantes (McMURRY, 2006).



Fonte: Elaborada pelo autor – ChemSketch 11.0

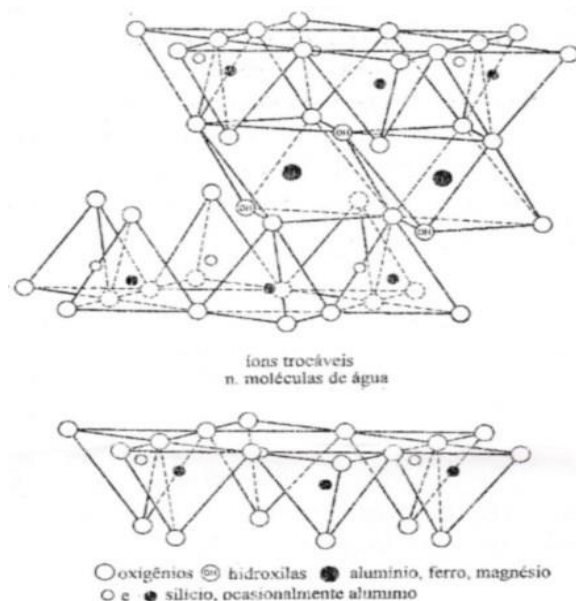
A escolha dos agentes oxidantes para reações de oxidação varia de acordo com a necessidade sintética, pois há condições diferentes para reatividade levando em conta cada tipo de álcool. Há diversos agentes oxidantes, como complexos de metais de transição (DILLIUS, 2002), compostos orgânicos como o *N*-oxil-2,2,6,6-tetrametilpiperidina (chamado de TEMPO) (SOUZA, 2004) e oxidantes inorgânicos

(ZORZANELLI, 2014). Contudo, há a crescente demanda por agentes como líquidos iônicos e micro-ondas (ZORZANELLI, 2014). Líquidos iônicos são compostos que apresentam estrutura iônica-covalente e que possuem estado líquido (DUPONT, CONSORTI e SPENCER, 2000). Também existe uma estratégia oxidativa que consiste no emprego de suportes sólidos, nos quais os reagentes são adsorvidos.

A imobilização de um reagente em suporte insolúvel provém das várias vantagens práticas, tais como simplificar os processos de isolamento e purificação dos produtos (ZANOTTO, 1998). Uma das possibilidades para oxidação em suporte sólido passa na utilização de argilo minerais, como a Montmorillonita K-10 (MTK10). Bastante usado para adsorção de reagentes.

A montmorillonita é um argilo mineral que pertence à classe dos K-catalisadores, derivados de um mineral e hidrossilicato de alumínio. Sua estrutura possui arranjos de cátions (alumínio, ferro, magnésio ou silício) coordenados octaetricamente e tetraetricamente a oxigênios e/ou hidroxilas (BRAIBANTE e BRAIBANTE 2014). Sua estrutura é lamelar, onde as camadas são estruturas constituídas por duas folhas tetraédricas de sílica e uma folha central octaédrica de alumina, unidas entre si por átomos de oxigênio comum a ambas as folhas (Figura 4). Possui fórmula química  $(Mg, Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot Si_5O_{10} \cdot nH_2O$ .

Figura 4 – Estrutura da MTK10



Fonte: BRAIBANTE e BRAIBANTE, 2014

Uma das características estruturais da MTK10 é a possibilidade de penetração da água e outras moléculas polares em suas camadas, causando sua expansão. A MTK10 também possui uma grande área superficial (500-760m<sup>2</sup>/g), que é decorrente das suas partículas muito finas, na ordem de 2µ. Sua superfície é ácida devido aos grupos hidroxila e a interação entre os oxigênios, que lhes conferem caráter ácido de Brønsted. Além disso, também pode agir como sítio ácido de Lewis devido à presença de cátions metálicos (Al<sup>3+</sup> e Mg<sup>2+</sup>). Devido sua estrutura lamelar, há um aumento na frequência de choques entre reagentes à medida que os mesmos se difundem na superfície da argila (BRAIBANTE e BRAIBANTE, 2014). Todos esses aspectos fazem da MTK10 uma boa escolha para catálise em reações orgânicas.

Para uma oxidação dentro dos princípios de QV, uma nova atividade experimental foi proposta e está descrita no Apêndice B e engloba conceitos de Química Verde de modo qualitativo. Essa metodologia é baseada nos trabalhos de Braibante e colaboradores (2007). O álcool benzílico foi escolhido para o estudo da oxidação. Trata-se de um álcool com massa molar e ponto de ebulição consideráveis (questões que se deve levar em conta em sínteses no micro-ondas). A rota presente no apêndice B utiliza sistemas de Montmorillonita K-10 e irradiação em forno micro-ondas caseiro, cujas condições experimentais são apresentadas no quadro 2. Os sistemas com MTK10 são frutos de adsorção prévia. Dois compostos são adsorvidos em MTK10: Nitrato de cobre e Nitrato de Ferro. O primeiro sistema, K-10/Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> é denominado *Claycop*, e o segundo sistema, K-10/Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> é denominado *Clayfen* (BRAIBANTE *et al.*, 2007).

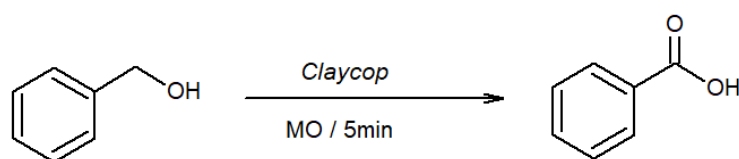
Quadro 2 - Sistemas de oxidação do álcool benzílico em MO

<b>Método de oxidação</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Potência (W)</b>
<i>Claycop</i>	5	100
<i>Clayfen</i>	5	100

A oxidação do álcool benzílico na metodologia proposta gera um ácido carboxílico correspondente, o ácido benzoico (Figuras 5 e 6).

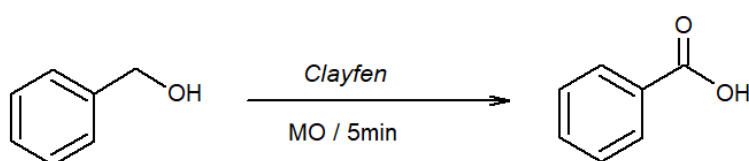


Figura 5 – Esquema geral de oxidação do álcool benzílico com *claycop* em MO



Fonte: Elaborada pelo autor – ChemSketch 11.0

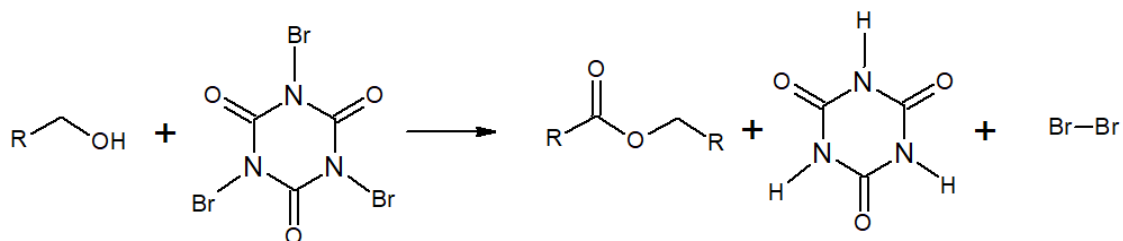
Figura 6 – Esquema geral de oxidação do álcool benzílico com *clayfen* em MO



Fonte: Elaborada pelo autor – ChemSketch 11.0

Para verificar a conversão do reagente em produtos, realizou-se o teste para caracterização de álcool primário, secundário e terciário com ácido tribromoisocianúrico (TBCA) proposto por Crespo e colaboradores (2013). Aproximadamente 20mg de TBCA são adicionados a um tubo de ensaio com a amostra do produto da reação e o mesmo fica em banho-maria por dois minutos. O TBCA na presença de um o álcool primário é oxidado a um éster enquanto o Br<sub>2</sub> é formado como um coproduto, transformando a mistura de reação em laranja (Figura 7).

Figura 7 – Esquema geral de oxidação de álcool primário por TBCA

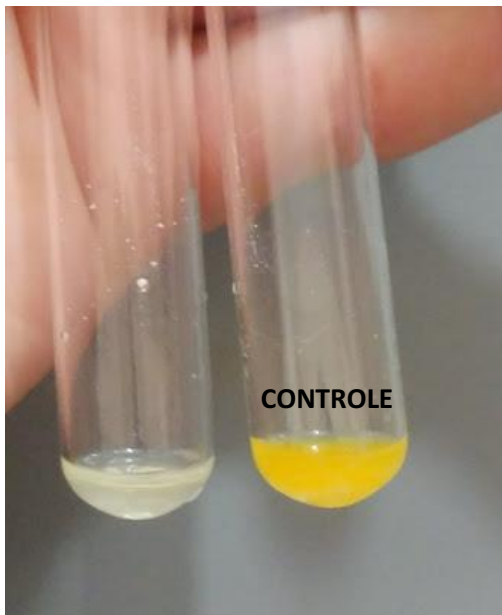


Fonte: Elaborada pelo autor - ChemSketch 11.0

O teste foi feito tanto para a oxidação com *claycop*, quanto para a oxidação com *clayfen*. Além disso, controles com etanol (álcool primário) foram feitos para

comparação. Os resultados sugerem que o álcool benzílico reagiu totalmente à ácido benzoico, apresentando aspecto incolor em ambas oxidações. O álcool primário presente nos controles foi oxidado à seu respectivo éster, com concomitante formação de  $\text{Br}_2$ , por isso apresentaram coloração laranja (Figuras 8 e 9).

Figura 8 - Teste da oxidação com *claycop*



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9 - Teste da oxidação com *clayfen*



Fonte: Elaborada pelo autor

Foi feito também o ensaio iodeto-iodato, muito comum para indicativo do grupamento ácido (NETO, 2004). A amostra, dissolvida em etanol ( $\pm 1:1$ ), é tratada com o reagente Iodeto; o sistema é aquecido por 5 minutos em banho-maria, resfriado e tratado com suspensão de amido. A mesma mistura é tratada com o reagente Iodato e aquecida em banho-maria por outros 5 minutos. Adiciona-se mais algumas gotas da suspensão de amido, tendo o aparecimento de uma cor azul, indicativo da presença do grupamento ácido.

Comumente, as práticas cotidianas de oxidação das universidades utilizam agentes oxidantes que possuem alto grau de toxicidade, como permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) (carcinogênico) e dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) (muito tóxico para ecossistemas marinhos). O quadro 3 ilustra a comparação entre a oxidação comumente realizada e a oxidação verde proposta. Algumas oxidações também fazem uso de solventes corrosivos como  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e aquecimentos em bico de Bunsen.

Pesquisando roteiros de aulas práticas na literatura, há instituições que utilizam até cloreto de níquel hexaidratado e diclorometano em suas aulas de sínteses oxidativas (SILVEIRA e MENDES, s.d.).

Quadro 3 – Relação entre métodos de oxidação

Oxidação de álcool feita no <i>campus</i>	Oxidação de álcool pelo método proposto
Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Álcool;</li> <li>• Dicromato de potássio;</li> <li>• Permanganato de potássio;</li> </ul>	Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Álcool;</li> <li>• Nitrato de cobre;</li> <li>• Nitrato de ferro;</li> <li>• Acetona;</li> <li>• MTK-10</li> </ul>
	Oxidação em 5min sob irradiação em micro-ondas a 100W

A oxidação descrita no apêndice B possui vantagens evolutivas no que tange à princípios verdes. Além de diminuir drasticamente a toxicidade dos compostos utilizados (terceiro princípio, síntese segura), a oxidação de álcool benzílico com *clayfen* e *claycop* em micro-ondas não possui uso de solventes que tornam o meio ácido a fim de favorecer a reação, pois a superfície da MTK10 já possui características ácidas. Eliminar o uso de solventes está proposto no quinto princípio da QV, onde deve-se evitar a utilização e quando necessário, usar solventes que possam ser reutilizados. Outro ponto importante da nova atividade experimental é a própria aplicação da MTK10 como estratégia catalítica, pois traduz o nono princípio da QV: esse suporte sólido substitui os reagentes estequiométricos comumente utilizados. Junto ao uso do micro-ondas, a síntese se torna mais efetiva energeticamente e também mais limpa (BRAIBANTE e BRAIBANTE, 2014).

### 6.3 SÍNTESE DO ACETATO DE COBRE (II) EM MICROESCALA

O início da utilização do cobre pela humanidade é tão antiga que datar tal evento se torna difícil. Nossos ancestrais distantes começaram a utilizar este metal em suas necessidades cotidianas lá pela idade do bronze. A metalurgia do cobre se

tornou mais forte no Egito, por volta de 3500 a.C. (RODRIGUES, SILVA e GUERRA, 2012).

O cobre é um metal pertencente ao grupo 11 da tabela periódica. Seus estados de oxidação são (+1), (+2) e (+3) (SHRIVER *et al.*, 2008). Não é suscetível à oxidação por íons hidrogênio sob condições padrão, e esse caráter nobre justifica sua utilização em ornamentos (RODRIGUES, SILVA e GUERRA, 2012). Além dos ornamentos, está presente em complexos biomiméticos de enzimas (PERALTA, 2005), ligas metálicas (BLANCO, 2003) e nos alimentos e saúde humana (SARGENTELLI, MAURO e MASSABNI, 1996). Por essa e outras aplicações na sociedade, o estudo do cobre e seus derivados está proposto na ementa de Química Inorgânica I, II e Química Inorgânica Experimental (IFRJ, 2015) do IFRJ *campus* Duque de Caxias.

Na disciplina de Química Inorgânica está proposta uma atividade experimental para estudo de complexos de cobre. Numa das etapas é necessária adição de amônia e há um alerta para que esse processo seja feito na capela, visto que a amônia em altas concentrações interfere no transporte de oxigênio pela hemoglobina. Durante toda a síntese, são utilizados cinco reagentes: água, sulfato de cobre, amônia concentrada, cloreto de sódio e ureia. Contudo, no apêndice C há uma proposta experimental, baseada no trabalho de Arroyo-Carmona e colaboradores (2012), para a síntese de acetato de cobre (II) em microescala. Nesta atividade se faz uso de apenas dois reagentes e com grau de toxicidade bem inferior. O número de reagentes utilizados diz bastante sobre a quantidade de etapas que uma síntese requer e quanto maior a quantidade de etapas, mais resíduos são formados e descartados. O quadro 4 faz uma breve comparação entre os métodos.

Quadro 4 – Relação entre métodos de complexação de cobalto

<b>Complexação de cobre feita no <i>campus</i></b>	<b>Complexação de cobre pelo método proposto</b>
Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfato de cobre;</li> <li>• Água;</li> <li>• Amônia concentrada;</li> <li>• Cloreto de sódio;</li> <li>• Ureia;</li> </ul>	Utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vinagre branco;</li> <li>• Moeda de cobre</li> </ul>

A atividade proposta no apêndice C utiliza uma moeda de cinco centavos de real, que possui 1,65mm de espessura e é constituída de aço revestido por cobre (BRASIL, 2018). Com a ajuda de uma pipeta de pasteur, vinagre branco caseiro 4% m/m (solução de água + ácido acético) foi gotejado sobre sua superfície até que fosse totalmente coberta (algo em torno de dezesseis gotas). Devido à tensão superficial do  $\text{CH}_3\text{COOH}$  e da água, o volume gotejado não saiu das bordas da moeda (Figura 10). Depois de dois dias, se observou a formação de cristais verdes (Figuras 11 e 12) de  $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Figura 13).

Figura 10 – Vinagre branco sobre a moeda



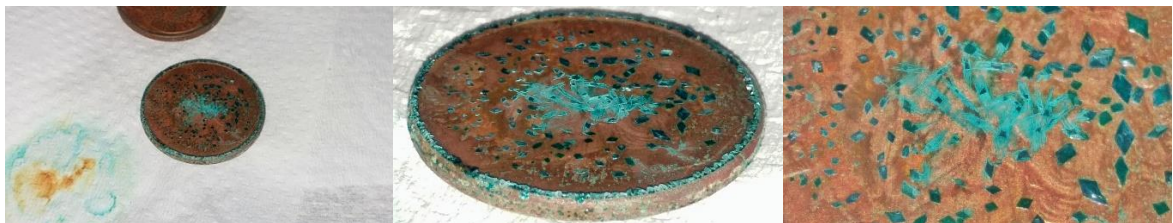
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 11 – Cristais de  $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

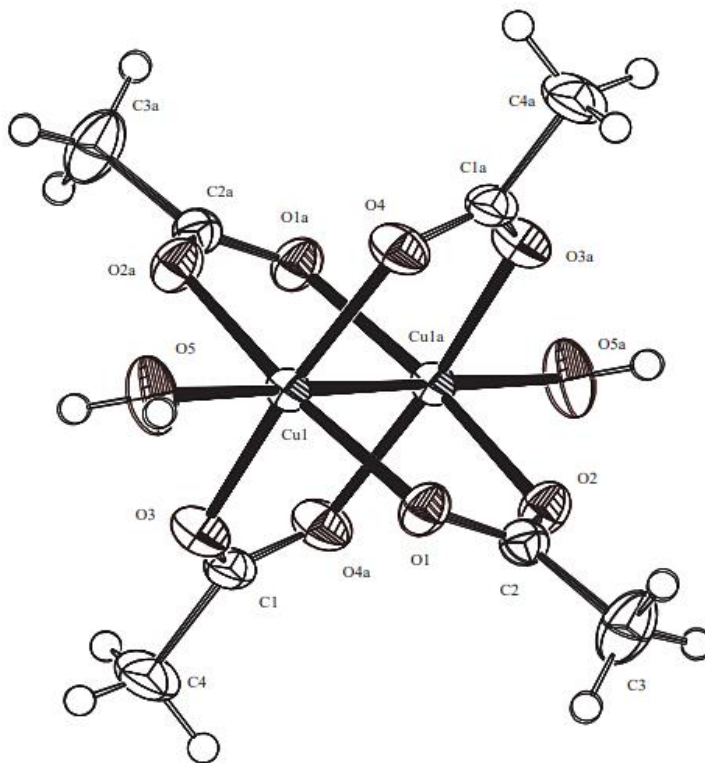


Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 12 – Zoom nos cristais de acetato de cobre (II) sobre outra moeda



Fonte: Elaborada pelo autor

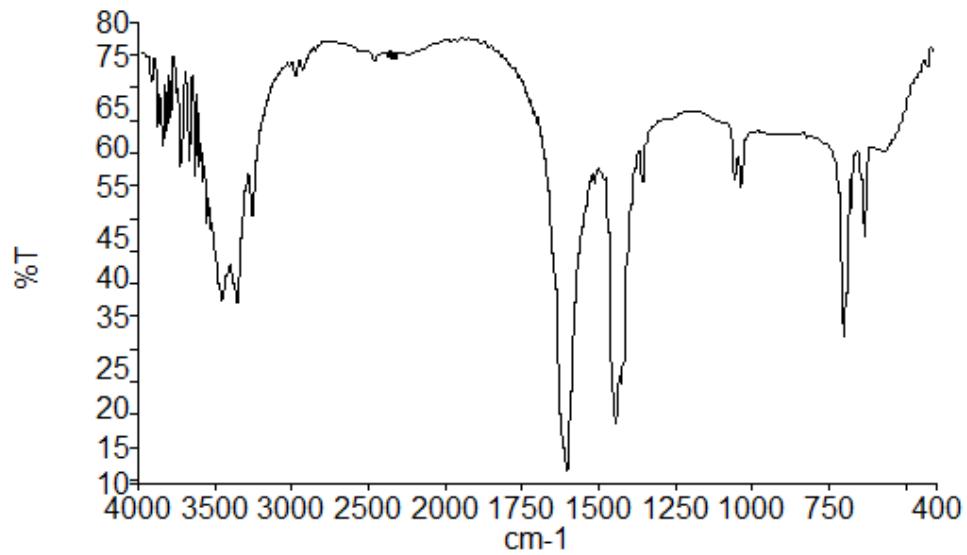
Figura 13 – Estrutura molecular cristalográfica de monocristal do  $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 

Fonte: ELMALI, 2000

A experimentação em microescala, de modo qualitativo em QV, abrange diversos conceitos, pois nela há a diminuição da quantidade de reagentes gastos em uma síntese que por conseguinte, reduz a geração de resíduos; é uma rota de síntese segura por produzir menores quantidades de produtos mesmo que porventura sejam perigosos; e há a diminuição do uso de solventes (SINGH, SZAFRAN e PIKE, 1999). Uma aula experimental, quase sempre não tem a necessidade de realizar experimentos em macroescala, pois assim que o procedimento acaba tudo é descartado. A microescala pode ser implementada sem danos ao ensino ou rigor analítico (BATISTA, 2010).

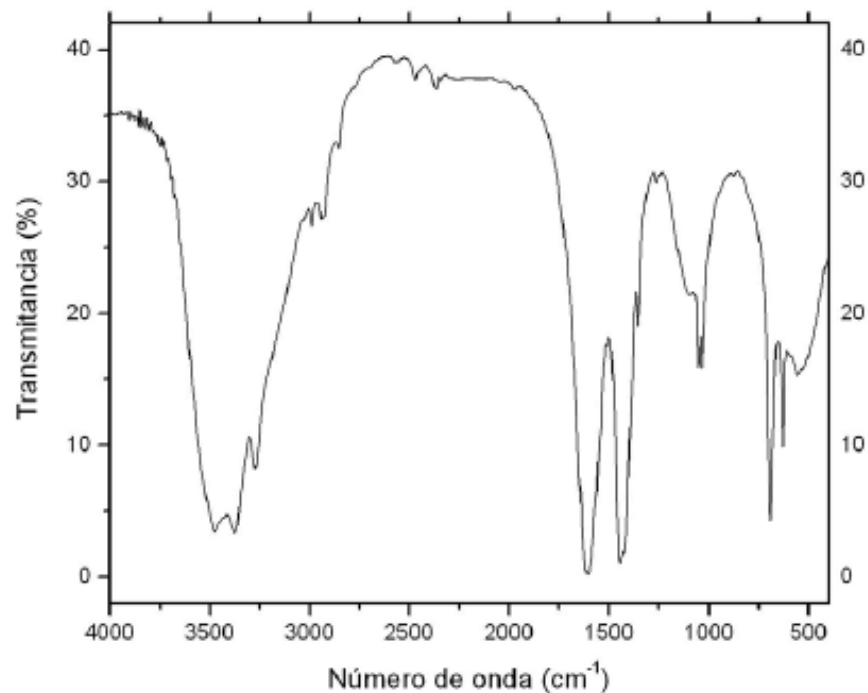
Esse complexo foi ainda analisado por espectroscopia no infravermelho e o espectro resultante (Figura 14) foi comparado com os espectros na literatura (Figura 15). No espectro resultante da análise pode-se observar a banda característica de carbonila C=O em torno de  $1700 \text{ cm}^{-1}$ .

Figura 14 – Espectro de FTIR do Acetato de Cobre (II)



Fonte: Espectrofotômetro Frontier FT-IR/FIR

Figura 15 – Espectro de FTIR do Acetato de Cobre (II) da literatura



Fonte: Arroyo-Carmona *et al.*, 2012

#### 6.4 SÍNTESE DO ACETILACETONATO DE MANGANÊS (II) EM MICROESCALA

O Manganês é um metal de transição cinza escuro, que pertence ao grupo 7 da tabela periódica e que passou pela história da humanidade em diversos períodos.

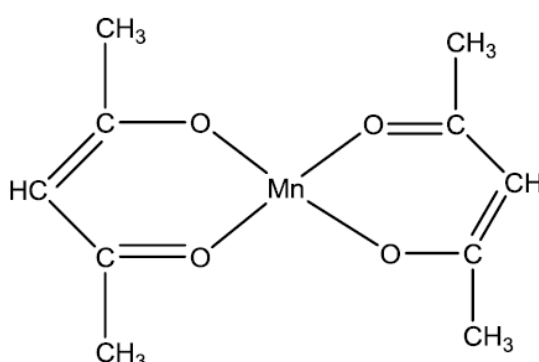


Atualmente, é considerado um metal essencial para a vida. O manganês participa de enzimas vegetais e do processo de fotossíntese, onde faz a foto-oxidação da água liberando  $O_2$  pelos cloroplastos. Na saúde humana, é o terceiro metal mais importante da nossa dieta, atrás do ferro e do zinco. Atua como cofator de diversas enzimas e é essencial para a formação do colesterol e dopamina (ROCHA e AFONSO, 2012).

O estudo desse metal é importante, pois ele atua em diversos processos biológicos e o Brasil tem a segunda maior reserva dos minerais de manganês do mundo. Além de sistemas biológicos, está presente em ligas metálicas (VERGANI *et al.*, 1994). Na disciplina de Química Inorgânica Experimental da Licenciatura em Química do IFRJ *campus* Duque de Caxias há estudos de estados de oxidação do manganês, mas não há estudos de compostos de coordenação com este metal.

No apêndice D há uma proposta experimental para síntese em microescala do acetilacetonato de manganês (II) (Figura 16) segundo protocolo experimental realizado por Ribeiro e Machado (2011). Como citado no item anterior, síntese em microescala abrange diversos tópicos da Química verde por reduzir/evitar produtos, reagentes e solventes (SINGH, SZAFRAN e PIKE, 1999). Além disso, essa metodologia sintética pode ser usada sem que haja diminuição do rigor analítico requerido ou deixe lacunas no ensino (BATISTA, 2010).

Figura 16 – Estrutura do  $Mn(acac)_2$



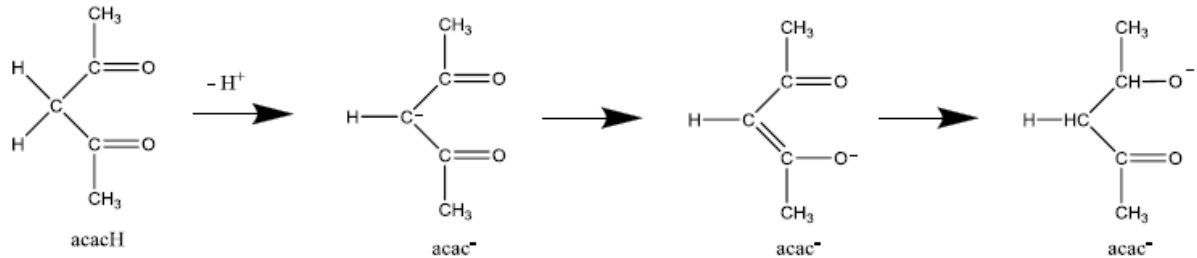
Fonte: RIBEIRO e MACHADO, 2011

Geralmente as cetonas têm um pKa elevado e precisam de bases fortes para serem desprotonadas. Segundo o apêndice D, KOH é usado para a desprotonar acetilacetona, que perde um próton e forma o íon  $acac^-$ , de carga (-1). (Figura 17).



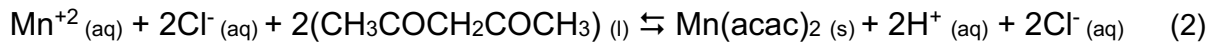
Quando dois grupos  $\text{acac}^-$  se ligam a um metal como o manganês, formam um composto de coordenação de carga (+2),  $\text{Mn}(\text{acac})_2$  (RIBEIRO e MACHADO, 2011).

Figura 17 – Formação do íon acetilacetionato



Fonte: RIBEIRO e MACHADO, 2011

Compostos de coordenação com acetilacetionato são utilizados como catalisadores em reações químicas como oligomerização, polimerização, isomerização, hidrogenação e acoplamento (SHALABY e ABDALLAH, 2013). A equação química (2) abaixo traduz todo o procedimento:



O produto final é um sólido amarelado (Figuras 18 e 19) obtido em grande quantidade, aproximadamente 85% de rendimento.

Figura 18 – Formação do produto  $\text{Mn}(\text{acac})_2$



Fonte: RIBEIRO e MACHADO, 2011

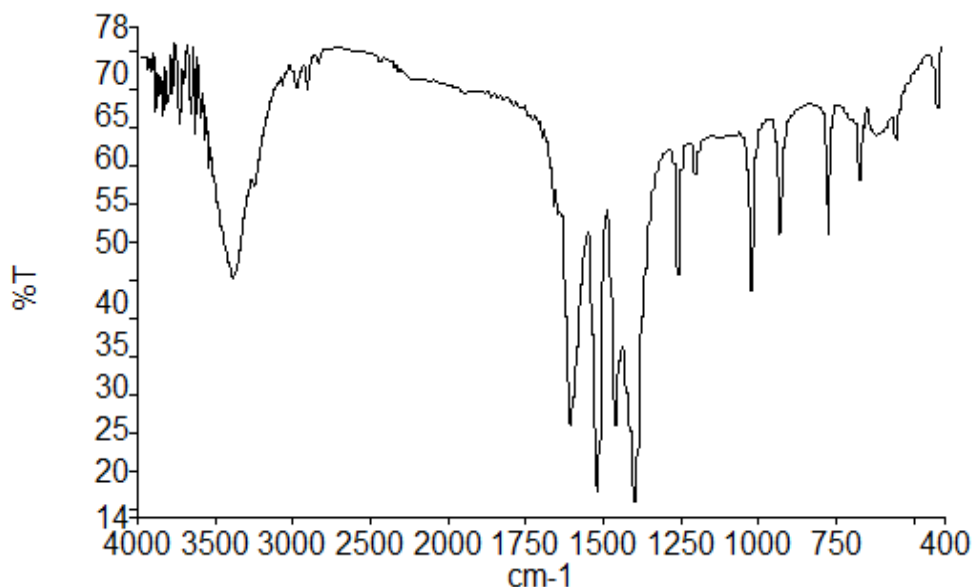
Figura 19 – Produto após filtração e secagem



Fonte: RIBEIRO e MACHADO, 2011

Esse complexo foi ainda analisado por espectroscopia no infravermelho (Figura 20) e pode-se observar a banda característica de carbonila C=O em torno de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , além da banda característica de estiramento do C-C em torno de  $1500\text{ cm}^{-1}$ .

Figura 20 – Espectro de FTIR do Acetilacetionato de Manganês (II)



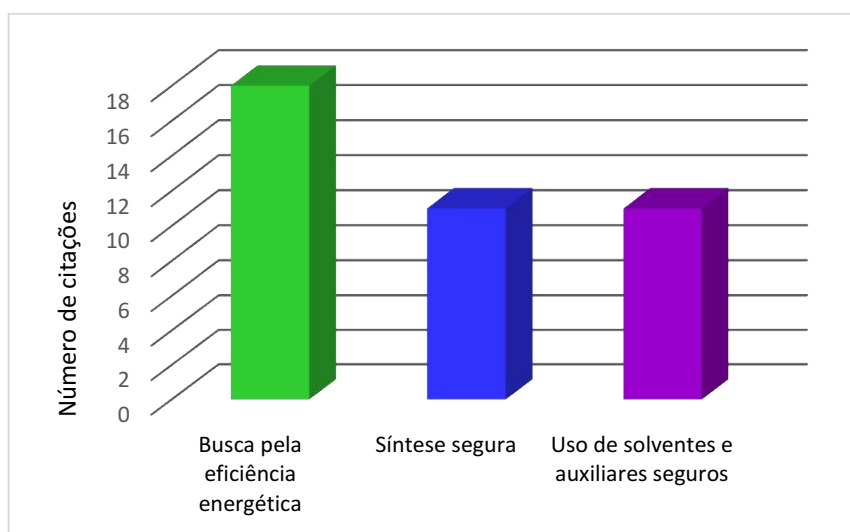
Fonte: Espectrofotômetro Frontier FT-IR/FIR

## 6.5 ANÁLISE DOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS

### 6.5.1 Análise do roteiro para síntese do trans-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) e sua isomerização no micro-ondas (Análise 1)

Os dois roteiros confrontados estão no apêndice E e F. Na primeira questão, onde foram questionados sobre qual roteiro possuía a rota sintética mais verde, todos os dezoito discentes envolvidos responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, quando provocados a justificar a escolha, os tópicos da Química Verde que tiveram maior incidência nas respostas foram síntese segura (terceiro tópico), uso de solventes e auxiliares seguros (quinto tópico) e a busca por eficiência energética (sexto tópico) (Figura 21).

Figura 21 – Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 1



**Fonte:** Elaborada pelo autor

Conforme se nota na imagem acima, todos os licenciandos souberam reconhecer o papel do micro-ondas para otimizar os processos de um cotidiano químico, bem como o uso e segurança de determinados reagentes no roteiro 2 frente ao roteiro 1 para sintetizar e isomerizar o composto de coordenação proposto. No roteiro 2 se faz uso de HCl concentrado e metanol à frio para lavagem dos cristais. Na terceira pergunta, quando questionados sobre qual roteiro utiliza os reagentes mais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, todos os dezoito discentes marcaram o roteiro 2 como alternativa.

Na quarta questão propõe-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obteve-se respostas como:

*Aluno 1: “Sim, para que práticas mais verdes possam fazer parte da formação dos licenciandos, com o intuito de estimular os mesmos a dar prioridade a práticas que geram o mínimo possível de resíduos.”*

*Aluno 2: “Sim, utiliza menos reagentes e energia por comparação.”*

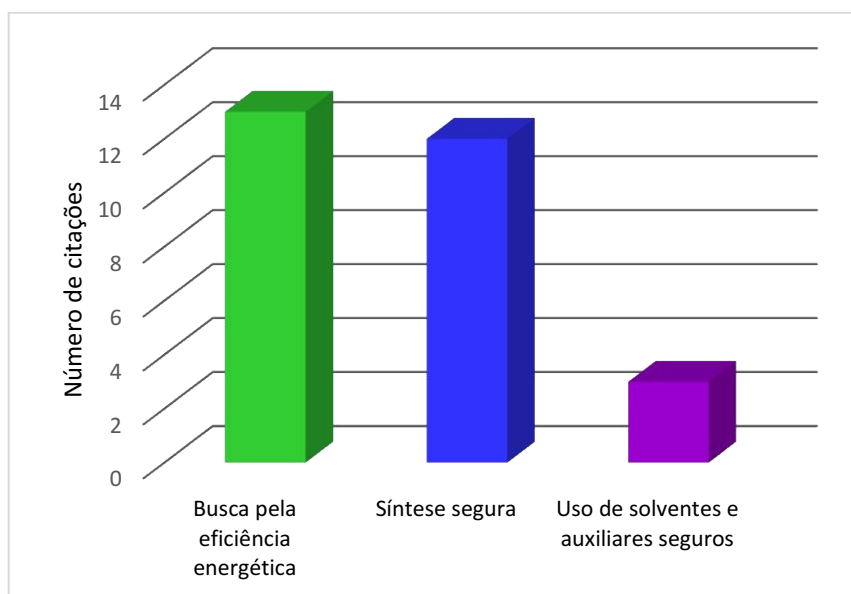
A fala do aluno 1 corrobora com a ideia de Wardencki e colaboradores (2005), onde afirmam que a Química Verde pode contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio da aplicação do doze princípios. Já o aluno 2 foi mais direto na avaliação da atividade experimental proposta pois ele discute diretamente os

principais ganhos do procedimento verde sobre o procedimento marrom. Sua concepção de que o roteiro verde é vantajoso por utilizar menos energia vai de encontro com a ideia de que “a utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada” (LENARDÃO *et al.*, 2003, p. 124).

### 6.5.2 Análise do roteiro para oxidação do álcool benzílico em suporte sólido (Montmorillonita K-10) (Análise 2)

Os dois roteiros confrontados estão no apêndice G e H. Na primeira questão, onde foram questionados sobre qual roteiro possuía a rota sintética mais verde, todos os dezoito discentes envolvidos responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, quando provocados a justificar a escolha, os tópicos da Química Verde que tiveram maior incidência nas respostas foram síntese segura (terceiro tópico), uso de solventes e auxiliares seguros (quinto tópico) e a busca por eficiência energética (sexto tópico) e catálise (nono tópico) (Figura 22).

Figura 22 – Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 2



Fonte: Elaborada pelo autor

Nesta análise houve um aumento significativo em relação à percepção de síntese segura, se comparada à análise do roteiro do tópico anterior. Nos dois roteiros deste tópico há o preparo de um sistema de reagente em suporte sólido. No roteiro 2, usando óxido de cromo (VI), um agente oxidante comumente empregado

nas oxidações e é um composto com grau de toxicidade alto, além de usar aquecimento por horas sob baixa pressão e a vácuo. As condições de preparo do sistema oxidativo também são um contraponto em relação ao roteiro 1, onde há somente agitação. Por fim, o tempo de oxidação em si que de 2-5h passa a ser feita em 5min trazendo eficiência energética à reação.

Na terceira pergunta, quando questionados sobre qual roteiro utiliza os reagentes mais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, todos os dezoito discentes marcaram o roteiro 2 como alternativa. Na quarta questão propõe-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obteve-se respostas como:

*Aluno 3: “Sim, pois faz a utilização de novas metodologias mostrando que a química está em constante desenvolvimento.”*

*Aluno 4: “Sim, pois os agentes oxidantes são menos prejudiciais. No roteiro 2, há compostos oxidantes com metais que devem ser evitados.”*

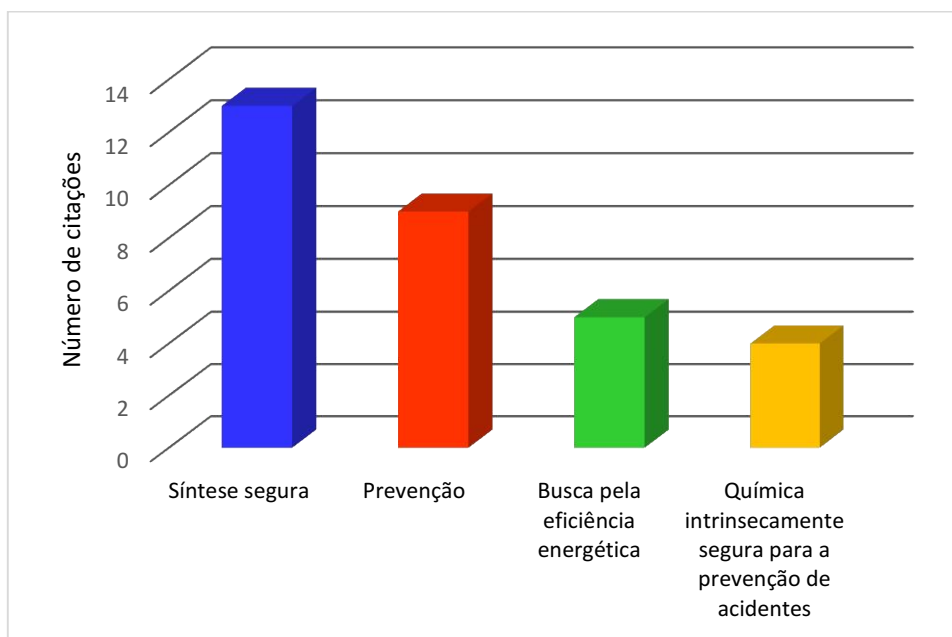
O aluno 3 discute o papel da evolução da química no emprego de novos métodos de síntese. A evolução da síntese orgânica com o emprego de suportes sólidos começou na utilização de polímeros insolúveis (MARQUARDT e EIFLER-LIMA, 2001) e hoje conta com a montmorillonita K-10 como alternativa, entre outros suportes sólidos. O aluno 4 discute a toxicidade de compostos utilizados nos roteiros analisados, trabalhando o terceiro tópico da QV, que diz: “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.” (LENARDÃO *et al.*, 2003, p. 124).

### **6.5.3 Análise do roteiro síntese do acetato de cobre (II) em microescala (Análise 3)**

Os dois roteiros confrontados estão no apêndice I e J. Na primeira questão, onde foram questionados sobre qual roteiro possuía a rota sintética mais verde, todos os dezoito discentes envolvidos responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, quando provocados a justificar a escolha, os tópicos da Química Verde que tiveram maior incidência nas respostas foram prevenção

(primeiro tópico) síntese segura (terceiro tópico), busca por eficiência energética (sexto tópico) e química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes (décimo segundo tópico) (Figura 23).

Figura 23 – Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 3



Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme se nota no gráfico apresentado na figura 23, o tópico que pauta a síntese segura traduz um dos benefícios de se utilizar experimentação em microescala e a maioria dos discentes conseguiu visualizar isso de maneira eficaz. Os demais tópicos em evidência resumem o processo verde frente ao processo marrom. Na terceira pergunta, quando questionados sobre qual roteiro utiliza os reagentes mais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, todos os dezoito discentes marcaram o roteiro 2 como alternativa.

Na quarta questão propõe-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obteve-se respostas como:

Aluno 5: “*Sim, rápida de ser feita, apenas o tempo para evaporar é grande, é barata e o resíduo é mínimo.*”

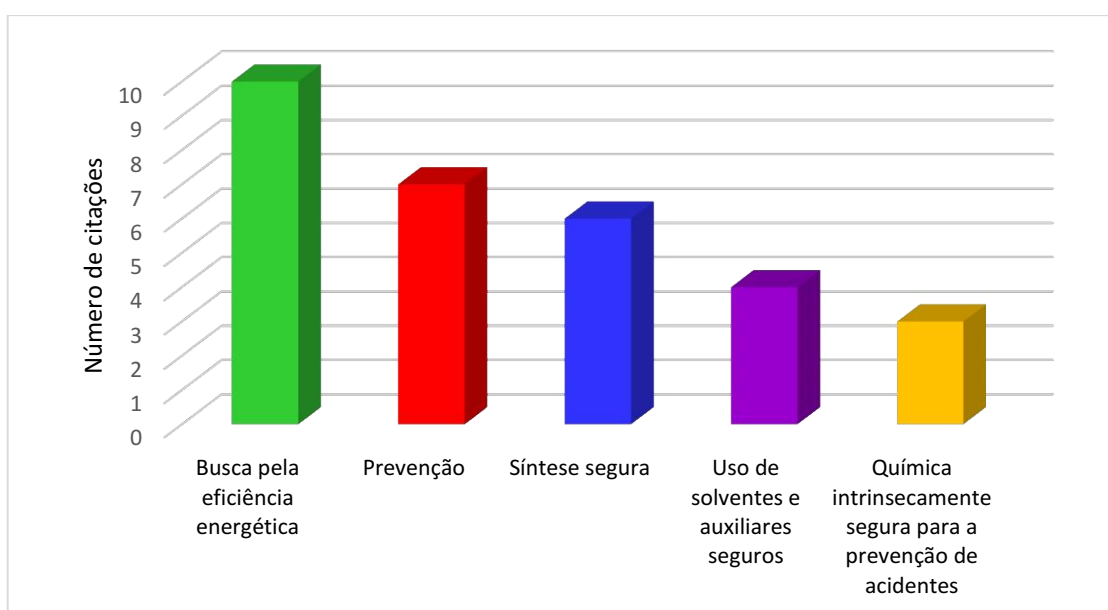
Aluno 6: “*Sim, porque a prática tem um menor impacto ambiental e que isso pode ser trabalhado tanto em laboratório quanto em sala de aula.*”

Através das respostas dos alunos 5 e 6 obtém-se a concepção de ambos discutem a menor geração de resíduos, o principal foco do método sintético de microescala. Evitar a geração de resíduos é melhor do que tratá-lo (ANASTAS e WARNER, 1998) e a formação de professores de Química é fundamental na propagação dessa concepção. Segundo Moradillo e Oki (2004) a educação em Química é fundamental para educar ambientalmente, visando mudanças na formação de novos alunos, com maior atenção às questões ambientais.

#### 6.5.4 Análise do roteiro acetilacetato de manganês (II) em microescala (Análise 4)

Os dois roteiros confrontados estão no apêndice K e L. Na primeira questão, onde foram questionados sobre qual roteiro possuía a rota sintética mais verde, todos os dezoito discentes envolvidos responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, ao justificar a escolha, os tópicos da Química Verde que tiveram maior incidência nas respostas foram prevenção (primeiro tópico) síntese segura (terceiro tópico), uso de solventes e auxiliares seguros (quinto tópico), busca por eficiência energética (sexto tópico) e química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes (décimo segundo tópico) (Figura 24).

Figura 24 – Números da incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas da análise 4



Fonte: Elaborada pelo autor

A síntese analisada também faz uso de microescala. O tópico de eficiência energética apareceu na resposta de dez licenciandos porque o método sintético do roteiro 2 faz uso de aquecimento em dois momentos, ao passo que, no roteiro 1, em nenhum momento. O processo todo ocorre em temperatura ambiente. Além do mais, o roteiro 1 possui menos etapas, o que previne a formação de resíduos; utiliza reagentes de menor toxicidade; utiliza menos solventes e por não utilizar aquecimento pode-se considerar uma síntese segura. Na terceira pergunta, quando questionados sobre qual roteiro utiliza os reagentes mais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, todos os dezoito discentes marcaram o roteiro 2 como alternativa.

Na quarta questão propõe-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obteve-se respostas como:

*Aluno 7: “Sim. Além de ser menos prejudicial, esta síntese verde ocorre mais rapidamente.”*

*Aluno 8: “Sim, seria bastante interessante para os alunos verem práticas alternativas.”*

O aluno 7 vislumbra dois pontos na comparação entre os roteiros da síntese do complexo de manganês: a toxicidade de reagentes e a quantidade de etapas da síntese. No que tange à toxicidade, Warner e colaboradores (2004) afirmam que incorporar materiais menos perigosos em sínteses pode ser considerado como o coração da QV. No roteiro verde (roteiro 1), há menos reagentes e os que são utilizados, possuem toxicidade mais baixa que os da síntese marrom. Quando o tempo de prática é pensado, a quantidade de etapas do roteiro marrom (roteiro 2) é maior, o que confere um maior tempo de execução. Além disso, fazem uso de aquecimento, enquanto a síntese do roteiro verde ocorre a temperatura ambiente. O aluno 8 descreve a possibilidade da QV, junto com a experimentação, otimizar as aulas práticas. Incorporar QV à experimentação é uma estratégia relevante para dialogar com o lado social da química.

#### **6.5.5 Por que a Química Verde deve ser discutida na formação de professores? : discussão de falas comuns à análise dos roteiros**



A quinta questão do questionário é uma reflexão comum a todos os roteiros. Por esse motivo respostas foram agrupadas em um tópico, visando a discussão de algumas falas pertinentes a esse questionamento. Obteve-se respostas como:

Aluno 1: *“Para que os discentes possam desenvolver senso crítico em relação às práticas que irão desenvolver, não somente na graduação, mas também em sua jornada como professor, podendo assim também alcançar seus alunos com essa perspectiva.”*

Aluno 2: *“Para que futuros professores possam ajudar a formar alunos que também tenham consciência de uma química mais limpa.”*

Aluno 3: *“Pois está diretamente ligada a busca de formas mais eficientes e seguras de formação de compostos e processos.”*

Aluno 4: *“Porque é uma demanda muito presente na sociedade.”*

Aluno 5: *“Ao discutir a química verde em sala de aula geramos uma conscientização em relação ao desenvolvimento de metodologias que diminua o impacto ambiental.”*

Aluno 6: *“Porque é um tema novo e é de extrema importância pensar sobre os impactos que o meio ambiente sofre por conta de alguns processos químicos. E mais importante ainda é mostrar uma rota alternativa para que essas práticas sejam menos nocivas ao ambiente.”*

Aluno 7: *“Deve ser discutida para que os futuros professores utilizem alternativas menos prejudiciais e possam conscientizar os seus alunos dos problemas já existentes.”*

Aluno 8: *“Formar professores com conhecimentos sobre QV será interessante para que os mesmos apliquem esses conceitos e possam ter no futuro um impacto em nosso desenvolvimento.”*

A conscientização dos licenciandos, tanto em relação ao papel da QV na sociedade quanto do seu papel enquanto futuro professor, é essencial para uma boa reflexão desse questionamento. Segundo Freire (2008), a conscientização é uma

aproximação crítica da realidade. Isso faz com que os discentes assumam o papel de sujeitos que fazem e refazem o mundo. As respostas dadas a esse questionamento evidenciam que um professor é responsável por conscientizar um meio e que, as propostas experimentais podem ser eficazes nessa identificação profissional.

Lima e Marcondes (2005) dizem que as atividades experimentais precisam ser planejadas para facilitar o desenvolvimento conceitual e gerar interesse pela ciência. Os métodos sintéticos descritos e avaliados têm a função de construir uma postura profissional que seja preocupada e consciente da função social da Química e do impacto de cada atividade prática no futuro do planeta. Os licenciandos em questão mostram em suas respostas que a química pode auxiliar na construção de um futuro sustentável. Souza e colaboradores (2012) dizem que a Química é ao mesmo tempo, produto e produtor: os problemas são gerados e solucionados por ela mesma. Porém, a postura de evitar a geração de problemas é a base da QV e podemos ver nas respostas dadas pelos alunos, essa percepção. “O primeiro princípio da Química Verde resume de maneira precisa, embora simplista, o caminho a ser seguido: prevenir é melhor do que remediar” (LENARDÃO, 2003).

## 6.6 CONSTRUÇÃO DOS ROTEIROS

Após o término da experimentação e sua análise, para cada síntese descrita entre os itens 6.1 e 6.4 um roteiro foi elaborado. Ao longo de sua construção foram inseridas breves informações a respeito do porquê de se estudar tal conteúdo - em consonância com a respectiva disciplina teórica - além de um quadro em destaque, evidenciando em que a Química Verde beneficia a síntese proposta. Cada roteiro em sua versão final está nos apêndices A, B, C, e D.

## 7 CONCLUSÃO

A Química Verde é um tema que está figurando cada vez mais nas publicações voltadas para a educação, contudo, precisa deixar de ser conceitos e na verdade, virar prática cotidiana. Neste trabalho, o estudo qualitativo de métodos sintéticos verdes junto à formação de professores de Química se mostrou como um dos caminhos para a difusão da Química Verde no ensino superior. Agregar valores à experimentação com reflexões críticas sobre o amanhã é de responsabilidade da universidade, e formar profissionais capacitados para isso também.

Neste trabalho procurou-se investigar a percepção de licenciandos quanto à Química Verde e a possibilidade de inserção em suas identidades, quanto professores de Química. De acordo com as análises feitas, o emprego de metodologias como micro-ondas, microescala e adsorção de reagentes em suporte sólido são importantes para o conhecimento da QV num curso de graduação e a longo prazo, também importantes para a reflexão de uma conduta química sustentável.

Potencialidades e limitações em torno dos métodos sintéticos propostos foram discutidas e a formação de professores de Química do IFRJ-CDuC se mostrou carente de conceitos verdes. Ela precisa ser visada como *locus* de um futuro sustentável. Os discentes que participaram da análise dos roteiros relataram reflexões que ano após ano vêm figurando em publicações científicas, corroborando com o ideal de um tema comum a todos. Alunos de licenciatura serão futuramente profissionais com papel protagonista na formação de outros cidadãos e essa atuação precisa ser visada em prol da disseminação dos ideais verdes. Aspectos socioambientais

Por fim, aquilo que se começou a falar na década de 1970 como problemas isolados, hoje se mostra como uma demanda comum a todos. Os sintomas de uma relação desproporcional entre sociedade e meio ambiente nos traz a urgência de discussões pertinentes a um futuro sustentável. Os roteiros propostos neste trabalho têm relevância para uma difusão mais efetiva da QV na realidade estudada. Sabe-se que a Química Verde não será a única solução de todos os males, afinal, a sociedade atual é um organismo complexo. Mas essa filosofia é um caminho em comum a todas as demandas para uma sociedade mais consciente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. C. A.; BIAJONE, J. Saberes docentes e formação inicial de professores: implicações e desafios para as propostas de formação. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.33, n.2, p.292-293, Maio/Ago. 2007.

ALMEIDA, Q. A. R. *et al.* Utilização de conceitos da Química Verde nas aulas práticas de laboratório. In: Encontro Nacional do Ensino de Química, 18, 2016, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: SBQ, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0965-1.pdf>> Acesso em: 28 de mar. 2018

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford University Press: New York, p. 11-52, 1998.

ANTONIN, V. S.; MORASHASHI, A. C.; MALPASS, G. R. P. Compreensão de alunos de graduação sobre conceitos de Química verde. In: 3º International Workshop Advances in Clear Production. 2011. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ACPN, 2011. Disponível em: <[http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/2/Antonin\\_VS%20-%20Paper%20-%206A2.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/2/Antonin_VS%20-%20Paper%20-%206A2.pdf)>. Acesso em: 27 de mar. 2018

ARROYO-CARMONA, R. E. *et al.* Síntesis microquímica y microelectroquímica de acetato de cobre (II) a partir de vinagre: Un ejemplo de química verde. **Educación química**, v. 23, p. 127-135, 2012.

BARBOSA, L. **Sociedade de consumo**. Zahar, 2004.

BATISTA, M. F. P. **Química Verde: Atividades laboratoriais no ensino da Química**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física e Química). Universidade da Beira Interior, Covilhã.

BLANCO, M. Desenvolvimento de um dispositivo para obtenção de monocristais de ligas à base de cobre. **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 757-762, 2003.

BRAIBANTE H.T.S. *et al.* Oxidação de  $\alpha$ -hidroxicetonas utilizando reações em suporte sólido e Microondas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 30, 2007, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...** Águas de Lindóia: SBQ, 2007. Disponível em: <<https://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1301-1.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2018

BRAIBANTE, H. T. S; BRAIBANTE, M. E. F. A versatilidade do K-10, como suporte sólido, em reações orgânicas. **Ciência e Natura**, v. 36, n. II, 2014.

BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001.

BRASIL. MEC/SEB/DEP/COPFOR; Rede Nacional de Formação Continuada de professores de Educação Básica: Orientações Gerais, 2005. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livrodarede.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2017

BRASIL, B. C. Moedas do real (2ª família). Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/htms/mecir/mcomum/mecomum.asp>> Acesso em: 23 abr. 2018

CERQUEIRA, C. C. S. Genes que modulam a susceptibilidade à dependência ao álcool. **Saúde.com**, v. 4, n. 1, 2016.

DESSLER, Andrew. **The chemistry and Physics of stratospheric ozone**. Londres: Academic Press, 2000.

DONOHUE, T. J. **Oxidation and Reduction in Organic Synthesis**. Oxford University Press: New York, 2000.

DUPONT, J.; CONSORTI, C. S.; SPENCER, J. Room temperature molten salts: Neoteric" green" solvents for chemical reactions and processes. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 11, n. 4, p. 337-344, 2000.

ELMALI, A. The Magnetic Super-Exchange Coupling in Copper (II) Acetate Monohydrate and a Redetermination of the Crystal Structure. **Turkish Journal of Physics**, v. 24, p. 667-672, 2000.

IFRJ. SEPT/MEC. Projeto Político Pedagógico do curso de Licenciatura em Química do IFRJ *campus* Duque de Caxias, 2015. Disponível em: <[http://portal.ifrj.edu.br/ckfinder/userfiles/files/Cursos%20de%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/Quimica%20Caxias/PPC\\_LQ\\_campus%20Duque%20de%20Caxias\\_2015\\_1.pdf](http://portal.ifrj.edu.br/ckfinder/userfiles/files/Cursos%20de%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/Quimica%20Caxias/PPC_LQ_campus%20Duque%20de%20Caxias_2015_1.pdf)>. Acesso em: 21 de abril 2018.

CHASSOT, A. I. **Alfabetização Científica**. 3ª ed. Ijuí: Editora UNIJUÍ, 2003.

COSTA, A. C. F. M. *et al.* Síntese, por reação de combustão em forno de microondas, de nanoferritas de níquel dopadas com cromo (Synthesis of nickel nanoferrites doped with chromium by microwave assisted combustion reaction). **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 78-83, 2009.

CRESPO, L. T; MATTOS, M; ESTEVES, P. M. The use of tribromoisocyanuric acid to distinguish among primary, secondary and tertiary alcohols. **Química Nova**, v. 36, n. 2, p. 320-323, 2013.

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

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino experimental de Química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p.101-106, 2010.

FREIRE, P. **Conscientização**: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire. São Paulo: Centauro, 2008, 116p.

FREITAS, V. P. Poluição de águas. **Revista CEJ**, v. 1, n. 3, p. 12-20, 1997.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino de ciências. **São Paulo em perspectiva**, n. 14, v. 1, p. 85-93, 2000.

LEMONS, H. M.; MUSAFIR, R. E. Poluição do Solo. Disponível em: <[http://www.mecanica-ufrrj.educacao.ws/util/b2evolution/media/blogs/ricardo/Apost\\_Pol\\_Solos\\_HML\\_REM-2014.pdf](http://www.mecanica-ufrrj.educacao.ws/util/b2evolution/media/blogs/ricardo/Apost_Pol_Solos_HML_REM-2014.pdf)> Acesso em: 24 jul. 2017

LENARDÃO, E. J. *et al.* "Green Chemistry" – Os 12 Princípios da Química verde e a sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Revista Química Nova**, Vol. 26, n. 1, p.123-129, 2003.

LIMA, A. M. S.; MOREIRA, B. C. T.; SÁ, C. S. S. Revista Quiminteressante: Discutindo a Química Verde no Ensino Médio. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18, 2016, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ENEQ, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2357-1.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2018.

LIMA, V. A.; MARCONDES, M. E. R. Atividades Experimentais no Ensino de Química: Reflexões de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-4, 2005.

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

MALDANER, O. A. **A Formação Inicial e Continuada de professores de Química**. Ijuí: Unijuí, 2000.

MARÍN, G. P; GONZÁLEZ, X. V.; NÚÑEZ, J. M. H. Aplicación de la Química Verde en los laboratorios de Química Inorgánica de la universidad nacional, Costa Rica: un estudio de caso. In: Congreso Internacional sobre la Educación Superior, 4, 2016, Pensilvânia. **Anais Eletrônicos...** Pensilvânia: West Chester University, 2016. Disponível em: <<http://www.wcupa.edu/knowledgecrossingborders/documents/track5/aplicacionDePrincipios.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2017

MARQUARDT, M. M.; EIFLER-LIMA, V. L. A síntese orgânica em fase sólida e seus suportes poliméricos mais empregados. **Química nova**. São Paulo. v. 24, n. 6 (2001), p. 846-855, 2001.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 433-460, 2015.

MCMURRY, J. **Química Orgânica**. 6ª Ed, Thomson Learning: São Paulo, 2006.

- MORADILLO, E. F.; OKI, M. C. M. Educação Ambiental na Universidade: Construindo Possibilidades. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 332-336, 2004.
- MOURA, A. O. *et al.* Estudos cinéticos da aquação do trans-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 385, 2006.
- NETO, C. C. **Análise orgânica: métodos e procedimentos para caracterização de organoquímicos**. 1ª edição, Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, vol. 1, 2004.
- PANIZZOLO, L. *et al.* **Aportes de la Química al Mejoramiento de la Calidad de Vida**. 1ª edição, Montevideu: UNESCO, 2012. 306p.
- PERALTA, R. **Novos complexos binucleares de cobre (II) e de ferro (III) zinco (II): Biomiméticos sintéticos para Catecol Oxidase e para Fosfatases Ácidas Púrpuras**. 2005. Tese (Doutorado em Química). Centro de Ciências Físicas e Matemáticas - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- PEREIRA, E. M. O OURO NEGRO: Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2ª metade do século XX. **Outros Tempos—Pesquisa em Foco-História**, v. 5, n. 6, 2008.
- PINTO, A. C. *et al.* Recursos Humanos para Novos Cenários. **Química Nova**. v. 32, n.3, 2009.
- REED, S. M.; HUTCHISON, J. E. “Green chemistry in the organic teaching laboratory: an environmentally benign synthesis of adipic acid”. **Journal of Chemical Education**, 77, 12, p. 1627, 2000.
- REZENDE, V. A.; OLIVEIRA, D. E. R. Capitalismo, Relação Homem Natureza e Educação: Reflexões sobre a crise socioambiental. **Colóquio Internacional: educação e contemporaneidade, IV**, 2010.
- RIBEIRO, M. G. T. C. MACHADO, A. A. S. C. Síntese de acetilacetato de manganês (II). 2011. Disponível em: <[http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/qv/ficheiros/fichas/65/protocolo\\_acetilacetato\\_manganes.pdf](http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/qv/ficheiros/fichas/65/protocolo_acetilacetato_manganes.pdf)> Acesso em: 24 de jan. 2018
- ROCHA, R. A; AFONSO, J. C. Manganês. **Química nova na escola**, v. 34, n. 2, p. 103-105, 2012.
- ROCHA-FILHO, R. C. Camada de Ozônio dá Nobel. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n.2, p. 10-11, 1995.
- RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P; GUERRA, W. Cobre. **Química nova na escola**, v. 34, n. 3, p. 161-162, 2012.
- ROSA, M. I. P. (org) **Formar: encontros e trajetórias com professores de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 2005.

ROSINI, Fabiana; NASCENTES, Clésia C.; NÓBREGA, Joaquim A. Experimentos didáticos envolvendo radiação micro-ondas. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1012-1015, 2004.

SANDRI, M. C. M; FILHO, O. S. Implicação da inserção da Química Verde na formação inicial de professores de Química, **Revista Brasileira de Ensino de Química**, 11, 1, p. 111-123, 2016.

SANDRI, M. C. M; KLUCONSKI, S; SCHNEIDER, L. T. A experimentação no Ensino Superior sob a Abordagem Integradora e com vistas a atender os princípios da Química Verde. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18, 2016, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R1887-1.pdf>> Acesso em: 22 jan. 2018.

SANSEVERINO, A. M. Síntese Orgânica Limpa. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 102-107, 2000.

SANTOS, L. M. *et al.* Química de Coordenação: Um Sonho Audacioso de Alfred Werner. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1260-1281, 2014.

SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: compromisso com a cidadania.** Ijuí: Editora UNIJUÍ, 1997. p. 47-131

SARGENTELLI, V.; MAURO, A. E.; MASSABNI, A. C. Aspectos do metabolismo do cobre no homem. **Química Nova**, v. 19, n. 3, p. 290-293, 1996.

SCHNETZLER, R. P. **O professor de Ciências: problemas e tendências de sua formação.** In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. de. (Orgs.). Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens. Piracicaba: Capes/Proin/Unimep, 2000. p. 12-41.

SERRÃO, R. G. S; SILVA, M. D. B. S. A Química Verde presente nos artigos da Revista Química Nova: A divulgação científica dos últimos 10 anos. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 15, 2010, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília: SBQ, 2010. p. 11. Disponível em: < <http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0184-2.pdf>> Acesso em: 05 jun. 2017

SHALABY, M. S; ABDALLAH, H. Preparation of manganese (III) acetylacetonate nanoparticles via an environmentally benign route. **Frontiers of Chemical Science and Engineering**, v. 7, n. 3, p. 329-337, 2013.

SHRIVER, D. F. *et al.* **Química Inorgânica.** Tradução Roberto de Barros Faria. Bookman: Porto Alegre, 2008.

SILVA, E. T. *et al.* **Química Inorgânica Experimental – Licenciatura em Química.** IFRJ: Duque de Caxias, 2014. p. 28-34.



SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. **Experimentar sem medo de errar**. In: SANTOS, W. L. P. & MALDANER, O. A.(org) **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, p. 231-261, 2010.

SILVEIRA, C. C; MENDES, S. R. **Química Orgânica Experimental I**. UFSM: Santa Maria, s. d., p. 17-29.

SINGH, M. M; SZAFRAN, Z; PIKE, R.M; “Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies”. **Journal of Chemistry Education**, n. 76, p. 1684-6. 1999.

SOUZA, M. V. N. Utilização do TEMPO (N-oxil-2, 2, 6, 6-tetrametilpiperidina) na oxidação de alcoóis primários e secundários. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 287-292, 2004.

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**, v. 35, p. 1891, 2012.

VERGANI, C. E. *et al.* Análise qualitativa e quantitativa de lidas metálicas para próteses parciais removíveis. **Revista de Odontologia da UNESP**, v. 23, n. 2, p. 297-305, 1994.

WARDENCKI, W.; CURYŁO, J.; NAMIESŚNIK, J. Green Chemistry-Current and Future Issues. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 14, n. 4, 2005.

World Meteorological Organization (WMO). **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998**. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 44, Geneva, 1999

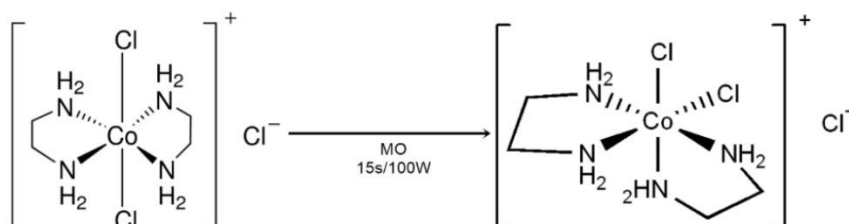
ZANDONAI, D. P. *et al.* Química Verde e formação de profissionais do campo da química: relato de uma experiência didática para além do laboratório de ensino. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 73-84, 2013.

ZANOTTO, S. P. **Utilização de sílica em reações de oxidação e esterificação**. 1998. Dissertação (Mestrado em Química). Centro de Ciências Físicas e Matemáticas – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ZORZANELLI, B. C; MURI, E. M. F. Oxidação de Alcoóis em Química Verde. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 2, p. 663-683, 2014.

## APÊNDICE A – Síntese e isomerização do *trans*-diclorobis(etilenodiamina) cobalto (III)

### SÍNTESE E ISOMERIZAÇÃO DO *TRANS*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl



O cobalto é um metal de transição que pertence ao grupo 9 da tabela periódica e está intimamente ligado ao desenvolvimento da química de coordenação. Pode apresentar estados de oxidação de +1 a +6, sendo que os mais importantes são +2 e +3. Em complexos formados com dois ligantes diferentes como acontece no complexo formado com etilenodiamina e íons Cl<sup>-</sup>, existem duas possibilidades para agrupar os ligantes em relação ao átomo central: é possível formar isômeros geométricos, *cis* e *trans*.

#### 1) Síntese

- Pese 2,5g de CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (cloreto de cobalto) em um bécher e adicione à 10,0mL de água;
- Adicione 10,0mL de solução aquosa de etilenodiamina 10%;
- Goteje 2,0mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pausadamente, gota a gota;
- 
- Ponha a solução em banho-maria, à 70°C, até restar 1/3 do volume original;
- Filtre a mistura;
- Lave os cristais com álcool etílico para obtenção do *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl.

#### 2) Isomerização

- Prepare uma solução 0,02M de *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl;
- Ponha no forno micro-ondas a 15s, na potência de 100W;
- Confira o resultado

### QUÍMICA VERDE

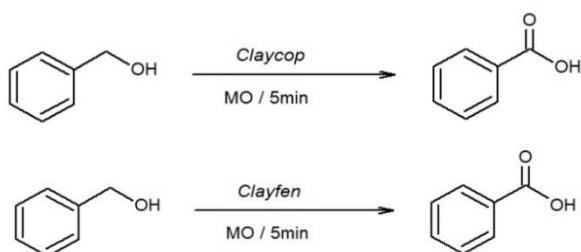
Esta prática foi proposta para melhor se adequar aos princípios verdes, onde podemos atribuir dois tópicos:

**3 – Síntese segura:** utiliza reagentes e forma produtos com baixíssima toxicidade à saúde humana e ao meio ambiente.

**4 – Eficiência energética:** fonte de energética eficiente que otimiza o tempo da isomerização.

## APÊNDICE B – Oxidação do álcool benzílico

### OXIDAÇÃO DO ÁLCOOL BENZÍLICO EM SUPORTE SÓLIDO



As reações de oxidação são de grande importância para a compreensão de diversos processos biológicos, e também para a síntese de moléculas que atuam nas indústrias farmacêuticas e de alimentos.

#### Preparo do *claycop*

- Agite 2,50g de  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  em 50mL de acetona até a dissolução;
- Adicione 3g de montmorilonita K-10;
- Agite a mistura por 30min;
- Filtre a mistura a vácuo.

#### Preparo do *clayfen*

- Agite 4,04g de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  em 50mL de acetona até a dissolução;
- Adicione 3g de montmorilonita K-10;
- Agite a mistura por 30min;
- Filtre a mistura a vácuo.

#### Oxidação em micro-ondas

##### 1) *Claycop* + MO

- Em um bécher, adicione 0,250g de *claycop*;
- Adicionar 0,150g de álcool benzílico;
- Deixar 5min sob irradiação no micro-ondas.

##### 2) *Clayfen* + MO

- Em um bécher, adicione 0,250g de *claycop*;
- Adicionar 0,150g de álcool benzílico;
- Deixar 5min sob irradiação no micro-ondas.

#### Análise de eficácia da oxidação

- Adicione 2mL de éter etílico;
- Retire uma alíquota de 1mL e coloque em um tubo de ensaio;
- Adicione 20mg de TBCA;
- Ponha o tubo de ensaio em banho-maria por 2min;
- Para o controle, repita o mesmo procedimento e no lugar da alíquota, ponha etanol. Deixe os dois tubos em banho-maria e compare o resultado;
- Repita o mesmo procedimento para analisar a oxidação com *clayfen*.

### QUÍMICA VERDE

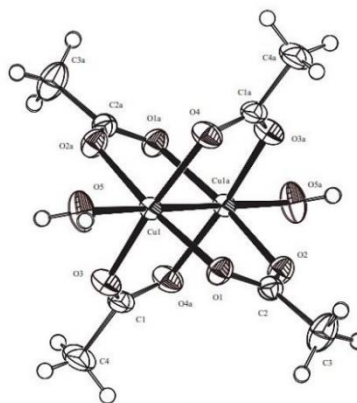
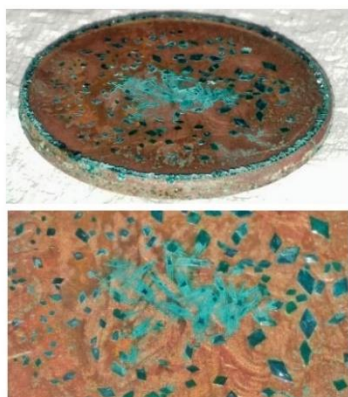
**3 – Síntese segura:** as reações de oxidação geralmente utiliza compostos tóxicos como  $\text{KMnO}_4$  e  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Esta atividade não faz uso de compostos tóxicos à saúde e meio ambiente.

**4 – Uso de solventes e auxiliares seguros:** geralmente, as oxidações utilizam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para acidificar o meio reacional.

**9 – Catálise:** montmorilonita K-10 no lugar de reagentes estequiométricos, trazendo eficiência.

## APÊNDICE C – Síntese do acetato de cobre (II) em microescala

### SÍNTESE DO $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ EM MICROESCALA



O cobre é um metal pertencente ao grupo 11 da tabela periódica. Seus estados de oxidação são +1, +2 e +3. Não é suscetível à oxidação por íons hidrogênio sob condições padrão, e esse caráter nobre justifica sua utilização em ornamentos. Sua metalurgia é conhecida desde o Egito antigo, 3500 a.C. Está presente também na nossa alimentação e no metabolismo.

- Goteje o máximo de vinagre branco que conseguir sobre uma moeda de cinco centavos (algo em torno de dezesseis gotas);
- Deixe o vinagre evaporar por dois dias;
- Confira os cristais formados.

### 🧪 QUÍMICA VERDE 🧪

Uma síntese em microescala traz diversos aspectos que podem ser vistos na Química Verde. Usando uma quantidade menor de reagentes, uma quantidade menor de produtos é gerado.

**3 – Síntese segura:** essa metodologia evita etapas que gerariam subprodutos nocivos à saúde, frente ao que era proposto anteriormente.

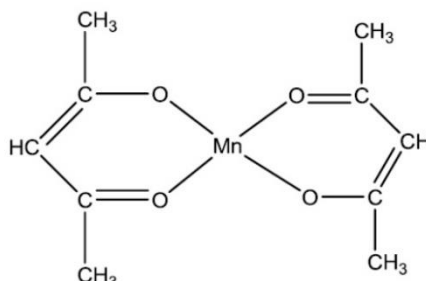
**5 – Uso de solventes:** microescala reduz drasticamente uso de solventes.

**8 – Evitar a formação de derivados:** essa metodologia de síntese reduz a quantidade de derivados e intermediários que possam ser gerados.



## APÊNDICE D - Síntese do acetilacetato de manganês (II) em microescala

### SÍNTESE DO $Mn(acac)_2$ EM MICROESCALA



O Manganês é um metal de transição cinza escuro, que pertence ao grupo 7 da tabela periódica. Possui estados de oxidação que variam de +1 a +7. Participa de enzimas vegetais e do processo de fotossíntese, onde faz a foto-oxidação da água liberando  $O_2$  pelos cloroplastos. É o terceiro metal mais importante da nossa dieta ( $Mn^{2+}$ ) atrás do ferro e do zinco. Atua como cofator de diversas enzimas e é essencial para a formação do colesterol e dopamina.

- Pese 290mg de cloreto de manganês (II) e dissolva em 2,5mL de água deionizada sob agitação magnética. Deixe sob agitação até que se dissolva completamente;
- Adicione 0,33mL de acetilacetona, mantendo a agitação magnética;
- Em seguida, lentamente, adicione 1mL de solução 20% de KOH;
- Deixe a solução sob agitação por mais 10min;
- Após a precipitação do complexo, filtre o composto a vácuo e lave com 2,5mL de água;
- Deixe o produto secando por uma semana e confira o resultado.

### 🧪 QUÍMICA VERDE 🧪

Uma síntese em microescala traz diversos aspectos que podem ser vistos na Química Verde. Usando uma quantidade menor de reagentes, uma quantidade menor de produtos é gerado.

**3 – Síntese segura:** essa metodologia evita etapas que gerariam subprodutos.

**5 – Uso de solventes:** microescala reduz drasticamente uso de solventes.

**8 – Evitar a formação de derivados:** essa metodologia de síntese reduz a quantidade de derivados e intermediários que possam ser gerados.

**APÊNDICE E – Síntese e isomerização do *trans*-diclorobis(etilenodiamina) cobalto (III): Roteiro 1**

## **SÍNTESE E ISOMERIZAÇÃO DO TRANS-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl**

### **ROTEIRO 1**

#### **1) Síntese**

- Pese 2,5g de CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (cloreto de cobalto) em um bécher e adicione à 10,0mL de água;
- Adicione 10,0mL de solução aquosa de etilenodiamina 10%;
- Goteje 2,0mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pausadamente, gota a gota;
- Ponha a solução em banho-maria, à 70°C, até restar 1/3 do volume original;
- Filtre a mistura;
- Lave os cristais com álcool etílico para obtenção do *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl.

#### **2) Isomerização**

- Prepare uma solução 0,02M de *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl;
- Ponha no forno micro-ondas a 15s, na potência de 100W;
- Confira o resultado.

Fontes:

- SÍNTESE

MOURA, Aline O; MARTINS, P. C; CUNHA, L. B. F. R; BOLZON, L. B; PERTUSATTI, J; PRADO, A. G. Estudos cinéticos da aquação do *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 385, 2006.

- ISOMERIZAÇÃO

MARÍN, G. P; GONZÁLEZ, X. V.; NÚÑEZ, J. M. H. Aplicación de la Química Verde en los laboratorios de Química Inorgánica de la universidad nacional, Costa Rica: un estudio de caso. In: Congreso Internacional sobre la Educación Superior, 4, 2016, Pensilvânia. **Anais Eletrônicos...** Pensilvânia: West Chester University, 2016. Disponível em: <<http://www.wcupa.edu/knowledgecrossingborders/documents/track5/aplicacionDePrincipios.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2017

APÊNDICE F - Síntese e isomerização do *trans*-diclorobis(etilenodiamina)  
cobalto (III): Roteiro 2

## SÍNTESE E ISOMERIZAÇÃO DO TRANS-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl

### ROTEIRO 2

#### 1) Síntese

- Pese 6,6g de CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (cloreto de cobalto) em um bécher e dissolva com 50,0mL de água;
- Adicione 25,0mL de solução aquosa de etilenodiamina 10%;
- Ponha o bécher em banho-maria à 100°C e borbulhe ar na solução por uma hora;
- Adicione 20mL de HCl concentrado;
- Se não ocorrer mudança de coloração, adicione mais 5mL de HCl, na solução em banho de gelo;
- Lave os cristais com metanol à frio e éter dietílico à frio para obtenção do *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl.
- Espere secar para obter o produto.

#### 2) Isomerização

- Pese 2,5 g de *trans*-[Co(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl e dissolva em uma quantidade mínima possível de água;
- Ponha a solução em banho-maria a 110°C por 1,5h;
- Filtre e lave os cristais com 1mL de água gelada;
- Confira o resultado.

## APÊNDICE G - Oxidação do álcool benzílico em suporte sólido (Montmorillonita K-10): Roteiro 1

### OXIDAÇÃO DO ÁLCOOL BENZÍLICO EM SUPORTE SÓLIDO

#### ROTEIRO 1

##### Preparo do *claycop*

- Agite 2,50g de  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  em 50mL de acetona até a dissolução;
- Adicione 3g de montmorillonita K-10;
- Agite a mistura por 30min;
- Filtre a mistura a vácuo.

##### Preparo do *clayfen*

- Agite 4,04g de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  em 50mL de acetona até a dissolução;
- Adicione 3g de montmorillonita K-10;
- Agite a mistura por 30min;
- Filtre a mistura a vácuo.

##### Oxidação em micro-ondas

###### 1) *Claycop* + MO

- Em um bécher, adicione 0,250g de *claycop*;
- Adicionar 0,150g de álcool benzílico;
- Deixar 5min sob irradiação no micro-ondas.

###### 2) *Clayfen* + MO

- Em um bécher, adicione 0,250g de *claycop*;
- Adicionar 0,150g de álcool benzílico;
- Deixar 5min sob irradiação no micro-ondas.

##### Análise de eficácia da oxidação

- Adicione 2mL de éter etílico;
- Retire uma alíquota de 1mL e coloque em um tubo de ensaio;
- Adicione 20mg de TBCA;
- Ponha o tubo de ensaio em banho-maria por 2min;
- Para o controle, repita o mesmo procedimento e no lugar da alíquota, ponha etanol. Deixe os dois tubos em banho-maria e compare o resultado;
- Repita o mesmo procedimento para analisar a oxidação com *clayfen*.

Fonte: BRAIBANTE H.T.S; BRAIBANTE, M.E.F; COSTA C.C; WOLENHAUPT, S; SPENAZZATTO, M. Oxidação de  $\alpha$ -hidroxicetonas utilizando reações em suporte sólido e Microondas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 30, 2007, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...** Águas de Lindóia: SBQ, 2007. Disponível em: <<https://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1301-1.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2018



## APÊNDICE H - Oxidação do álcool benzílico em suporte sólido (Montmorillonita K-10): Roteiro 2

### OXIDAÇÃO DO ÁLCOOL BENZÍLICO EM SUPORTE SÓLIDO

#### ROTEIRO 2

##### Preparo do catalisador

- Em um balão de fundo redondo, pese 2,0 g de  $\text{CrO}_3$ , óxido de cromo (VI), e dissolva em água;
- Adicione 1,74mL de Ácido acético glacial;
- Goteje 5 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Adicione 3,0g de sílica gel
- Ponha a mistura no evaporador rotatório para evaporação da água;
- Após a evaporação, ponha o catalisador em uma estufa a vácuo, à 100°C, 400mmHg (0,52atm), por 30min;
- Passados os 30min, desligue o aquecimento e mantenha a pressão de 400mmHg (0,52atm) por 12h;

##### Oxidação

- Pese 0,01mol de álcool benzílico;
- Adicione 30mL de clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ );
- Adicione 2,0g do catalisador preparado;
- Agite a solução, em temperatura ambiente até o desaparecimento do reagente (entre 2-5h).

##### Caracterização

- Realizar ponto de fusão e Infravermelho.

**APÊNDICE I - Análise do roteiro síntese do acetato de cobre (II) em  
microescala: Roteiro 1**

**SÍNTESE DO  $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  EM MICROESCALA**

**ROTEIRO 1**

- Goteje o máximo de vinagre branco que conseguir sobre uma moeda de cinco centavos (algo em torno de dezesseis gotas);
- Deixe o vinagre evaporar por dois dias;
- Confira os cristais formados.

Fonte: ARROYO-CARMONA, R. E; BERNÈS, S; GONZÁLEZ-VERGARA, E; MÉNDEZ-ROJAS, M. Á; & PÉREZ-BENÍTEZ, A. Síntesis microquímica y microelectroquímica de acetato de cobre (II) a partir de vinagre: Un ejemplo de química verde. **Educación química**, v. 23, p. 127-135, 2012.

## APÊNDICE J - Análise do roteiro síntese do acetato de cobre (II) em microescala: Roteiro 2

### SÍNTESE DO $\text{Cu}_2(\text{OAc})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

#### **ROTEIRO 2**

- Dissolva 2,5g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  em 50mL de água;
- Em banho-maria, aqueça à 40-50°C e agite magneticamente para ajudar na dissolução;
- Adicione água oxigenada à solução até que a cor azul pálida mude para azul profundo (Durante a adição, observe o aparecimento de um precipitado que em seguida, se dissolve);
- Adicione 0,8g de NaOH à solução obtida e agite-a por 20min, em banho-maria a 55-65°C;
- Deixe a mistura esfriar à temperatura ambiente;
- Filtre o sólido obtido e lave-o com 20mL de água quente;
- Transfira o sólido para um bécher de 100mL e dissolva-o em uma quantidade mínima de uma solução de ácido acético 10%;
- Aqueça a solução em torno de 50°C e observe a formação de cristais azuis-esverdeados;
- Filtre o sólido a vácuo e deixe secar.

**APÊNDICE K - Análise do roteiro síntese do acetilacetato de manganês (II)  
em microescala: Roteiro 1**

**SÍNTESE DO  $Mn(acac)_2$  EM MICROESCALA**

**ROTEIRO 1**

- Pese 290mg de cloreto de manganês (II) e dissolva em 2,5mL de água deionizada sob agitação magnética. Deixe sob agitação até que se dissolva completamente;
- Adicione 0,33mL de acetilacetona, mantendo a agitação magnética;
- Em seguida, lentamente, adicione 1mL de solução 20% de KOH;
- Deixe a solução sob agitação por mais 10min;
- Após a precipitação do complexo, filtre o composto a vácuo e lave com 2,5mL de água;
- Deixe o produto secando por uma semana e confira o resultado.

## APÊNDICE L - Análise do roteiro síntese do acetilacetato de manganês (II) em microescala: Roteiro 2

### SÍNTESE DO $Mn(acac)_3$

#### **ROTEIRO 2**

- Dissolva 0,3g de cloreto de manganês (II) em 20mL de água;
- Adicione 1,4g de acetato de sódio anidro;
- Aqueça a solução a 90°C sob agitação magnética;
- Após a dissolução completa, mantendo as condições, adicione 2,00mL de acetilacetona;
- Separadamente, dissolva 0,1g de  $KMnO_4$  em 6,0mL de água;
- Adicione, gota a gota, os 6,0mL da solução recém-preparada, à solução sob agitação, ao longo de 15min;
- Após isso, desligue o aquecimento e a agitação. Espere 10min;
- Dissolva 1,4g de acetato de sódio anidro em 5,0mL de água;
- Passados os 10min, adicione os 5mL da solução de acetato de sódio anidro à solução em repouso;
- Observe o surgimento de um composto preto;
- Aqueça a mistura a 65°C por 15min;
- Resfrie a mistura e em seguida, filtre-a a vácuo.

## APÊNDICE M – Questionário proposto para análise dos roteiros

### **QUÍMICA VERDE EM MÉTODOS SINTÉTICOS: aplicação de novas metodologias experimentais na formação de professores de Química**

- 1) Dois roteiros foram analisados para a síntese de um mesmo composto\*. Tomando como base os doze tópicos da Química Verde, propostos por Anastas e Warner, qual roteiro contém a rota sintética mais verde? *\*exceto na comparação entre acetilacetato de manganês (II) e (III)*

Roteiro 1

Roteiro 2

- 2) Justifique vossa escolha na questão anterior, descrevendo quais tópicos da Química Verde embasaram sua decisão pelo método presente no roteiro verde frente ao roteiro não-verde.

- 3) Qual dos roteiros utiliza reagentes mais tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente? (Pesquise a toxicidade de cada composto utilizado antes de responder).

Roteiro 1

Roteiro 2

- 4) Vocês acham que o roteiro verde escolhido deve ser inserido na Licenciatura em uma disciplina experimental correspondente a ele? Justifique.

- 5) Por que a Química Verde deve ser discutida na formação de professores?