

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ COORDENAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

AMANDA CANTO JORGE

RECUPERAÇÃO DE HEXANOS VIA HIDRÓLISE BÁSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

AMANDA CANTO JORGE

RECUPERAÇÃO DE HEXANOS VIA HIDRÓLISE BÁSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo / Bacharel em Engenharia Química do Departamento Acadêmico de Engenharia Química, do câmpus Ponta Grossa, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fernandes
Co-orientador: Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus de Ponta Grossa

Departamento de Engenharia Química
Bacharel em Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

RECUPERAÇÃO DE HEXANOS VIA HIDRÓLISE BÁSICA

por

AMANDA CANTO JORGE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 10 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química em Engenharia Química. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Luciano Moro Tozetto
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Rafael Machado Reis
(UTFPR)
Co-Orientador

Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo
(UTFPR)
Co-Orientador

Prof. Dr. Luciano Fernandes
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dra. Juliana de Paula Martins

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Com a finalização dessa etapa não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta caminhada tão importante da minha vida pessoal e profissional.

Agradeço primeiramente a meus pais, os quais sempre me incentivaram a busca pelos meus sonhos de forma honesta e com toda humildade para superar os desafios. Agradeço-os por estarem sempre ao meu lado me dando apoio e força para sempre seguir em frente.

Agradeço ainda ao meu orientador Professor Doutor Luciano Fernandes pela oportunidade de sempre estar adquirindo conhecimento e por sempre ser uma pessoa acessível, humilde e que nunca mediu esforços para me ajudar. Não há palavras para expressar a gratidão por o ter como meu orientador. E também ao professor Doutor Matheus Postigo que apesar de ter um contato menor sempre esteve ao meu lado dando suporte.

Agradeço ainda ao Professor Doutor Everton Moraes Matos por todos os conselhos e orientações a mim prestados e o qual sempre incentivou a busca pelos meus objetivos.

E por fim, não menos importante aos meus amigos pela orientação, conselhos, ajuda em todos momentos, pois sem amigos nada seríamos.

RESUMO

JORGE, Amanda. **Recuperação de hexanos via hidrólise básica**. 2017. 51. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Recuperação de solventes químicos é um tópico de grande importância não somente na indústria, mas sim a todos que fazem o seu uso. A recuperação de hexanos de uma mistura envolvendo acetato de etila é um tema pouco abordado na literatura e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná faz grande uso desses dois compostos seja em reações de transesterificação ou em colunas cromatográficas. Verificando-se esse resíduo observa-se a necessidade de recuperar hexanos e diminuir os despejos do mesmo no meio ambiente. Para tanto fez-se caracterização via densidade e refratometria das misturas de acetato de etila com hexanos e trouxe uma proposta de separação do mesmo através da hidrólise usando hidróxido de sódio em diferentes concentrações. Os resultados foram satisfatórios e comprovam uma alternativa simples e barata de recuperação de hexanos.

Palavras-chave: Recuperação de solventes. Resíduos. Química Verde. Hexanos. Hidrólise básica.

ABSTRACT

JORGE, Amanda. **Recovery of hexanes via basic hydrolysis**. 2017. 51. Final Course Work (Bachelor of Chemical Engineering) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2017.

Recovery of chemical solvents is a topic of great importance not only in the industry but to everyone who makes their use. The recovery of hexanes from a mixture involving ethyl acetate is a subject little discussed in the literature and the Federal Technology University (Ponta Grossa) makes great use of these two compounds either in transesterification reactions or in chromatographic columns. Verifying this residue, it is necessary to recover hexanes and to reduce the discharge of the same. For this purpose, the ethyl acetate and hexanes mixtures were characterized by density and refractometry, and it was proposed to separate them by hydrolysis using sodium hydroxide in different concentrations. The results were satisfactory and prove a simple and inexpensive alternative for hexane recovery.

Keywords: Recovery of solvents. Waste. Green chemistry. Hexanes. Basis hydrolysis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Projeção dos recursos e crescimento populacional.....	17
Figura 02 - Projeção corrigida do Limits to Growth	18
Figura 03 - Representação da estrutura molecular de hexano em 3D.....	20
Figura 04 - Representação tridimensional das moléculas isoméricas do hexano Erro! Indicador não definido.	
Figura 05 - Representação da reação de FIscher..... Erro! Indicador não definido.	
Figura 06 - Representação da molécula de acetate de etila em 3D	23
Figura 07 - Equação da hidrólise do acetato de etila.....	24
Figura 08 - Mecanismo da hidrólise básica	25
Figura 09 - Picnômetro com termômetro.....	29
Figura 10 - Representação do desvio do feixe de luz ao mudar de meio	30
Figura 11 - Deslocalização da ligação π	34
Figura 12 - Refratômetro de Abbe.....	35
Figura 13 - Representação da visão do refratometro de Abbe e sua escala de medição.....	36
Figura 14 - Fluxograma experimental.....	37
Figura 15 - Peso do picnômetro.....	41
Figura 16 - Sistema para análise de densidade.....	42
Figura 17 - correlação concentração de hexano com graus Brix.....	43
Figura 18 - Densidade das amostras em estudo.....	44
Figura 19 - Refração versus densidade.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 01- Solubilidade de álcoois em água e hexano.....	26
Quadro 02- Índice de refração tabelado a 20°C.....	29
Quadro 03 - Refração Atômica de alguns elementos químicos	31
Quadro 04 - Conversação de %Brix em indice de refração	34
Quadro 05 - Efeito da temperatura sobre as propriedades	35
Quadro 06 - Representação da composição amostral para análise de refração	37
Quadro 07 - Composição amostras para análise de densidade	40
Quadro 08 - Resultado do refratômetro das amostras problema	41
Quadro 09 – Densidade da amostras	43
Quadro 10 – Dados da FISPQ dos materiais problema.....	44
Quadro 11 – Obtenção de hexanos via diferentes concentrações de NaOH	45

LISTA DE ABREVIATURAS

H	Hidrogênio
O	Oxigênio
C	Carbono
NaOH	Hidróxido de Sódio
OH	Hidroxila
H ₂ O	Água
R	Radical orgânico
M	Massa
MM	Massa Molar
ρ	Densidade
°C	Graus Celsius
n	Índice de Refração
c	Concentração
v	Velocidade
r	Refração Especifica
L	Litro
Kg	Quilograma
v	volume

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CNUMAD	Conferencia das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
EPA	Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ANVISA	Agência de Vigilância Sanitária
IUPAC	União Internacional de Substâncias Puras e Química Aplicada
PIEA	Programa Nacional de Educação Ambiental
ONU	Organização das Nações Unidas
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 PANOMARA MUNDIAL	17
3.2 QUIMICA SUSTENTÁVEL.....	20
3.3 COMPOSTOS ORGANICOS.....	20
3.3.1 Hidrocarbonetos	21
3.3.1.1 Alcanos	21
3.3.2 Esteres	23
3.4 HIDRÓLISE	24
3.4.1Hidrólise de Éster.....	24
3.5 PROPRIEDADES ORGANICAS	25
3.5.1 Solubilidade	25
3.5.2 Densidade	27
3.5.3 Índice de Refração	29
3.5.4 Graus Brix	34
3.5.5 Correlações entre propriedades	34
4 METODOLOGIA	37
4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	38
4.1.1 Amostras para refratômetro	38
4.1.2 Amostras para picnômetro	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 REFRACTOMETRIA.....	42
5.2 DENSIDADE.....	42
5.3 RELAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	46
5.4 RECUPERAÇÃO DE HEXANOS.....	48
6 CONCLUSÃO	48

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento da humanidade o progresso vem trazendo consigo uma transformação do meio em que vivem, especialmente da natureza. Pode-se afirmar que a preservação da natureza era vista como uma forma antagônica ao desenvolvimento. Os primeiros impactos ambientais têm origem juntamente com a evolução e desenvolvimento da agricultura, quando surgiram os primeiros desmatamentos a fim de obter uma área para o plantio e também para a utilização da madeira. O século XVIII foi marcado pelo desenvolvimento das máquinas à vapor com a introdução do carvão nas indústrias.

Foi somente no início do século XX que percebeu as consequências do desenvolvimento acelerado ao capital natural. O primeiro grande movimento para preservação ambiental surgiu em 1972 com a publicação do relatório Limites de Crescimento (I CNUMAD). Nesse mesmo século passou-se a considerar que os compostos químicos são um dos grandes vilões dos impactos ambientais seja através de emissões de efluentes tóxicos, chuva ácida, destruição da camada de ozônio, poluição da água de rios e oceanos, poluição do ar (*smog*), aquecimento global e entre outros fenômenos, mas apenas em 1991 a agência ambiental norte americana (EPA) deu origem ao programa “Rotas Sintéticas Alternativas para a Preservação da Poluição”, o qual deu origem então a “Química Verde”.

Dentro da problemática atual um dos principais problemas é justamente no descarte de efluentes tóxicos produzidos durante reações e processos. Essas emissões podem ser diluídas através do uso de reagentes químicos não nocivos, aumento da seletividade e separação de materiais e também no reuso de compostos sejam eles oriundos de efluentes industriais ou de laboratórios.

O gerenciamento de resíduos em laboratórios tornou se presente apenas a partir de 1990 e ainda não há um órgão fiscalizador o que faz com que muitas universidades ainda não tenham um sistema bem implementado. Os laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa atualmente utilizam diversos reagentes químicos sendo o hexano e o acetato de etila uns dos compostos que são muito utilizados sejam em colunas cromatográficas como eluentes ou experimentos de transesterificação por exemplo. Essas práticas e experimentos

acabam gerando um produto de concentração desconhecida e que atualmente não é reutilizado.

Visando esse contexto de resíduos químicos tem se a problemática de como recuperar hexanos a partir do resíduo da mistura de hexanos com acetato de etila sendo que esses dois compostos compõem uma mistura azeótropa, e homogênea? Ou seja, compõem uma mistura que se comportam como substâncias puras, porém seu ponto de ebulição é muito próximo o que inviabiliza a separação via destilação.

Este trabalho justifica-se, pois apresenta uma alternativa para contornar essa problemática, a qual seria a reutilização de compostos orgânicos evitando que sejam assim despejados ao meio ambiente. Trazem também uma maneira de redução de custos visto que não haveria a necessidade de compra de novos reagentes a todo o momento, ainda traz uma mudança de atitude pois necessita a reeducação de todos que fazem uso dos mesmos e por fim propõe um método de separação visto que na literatura há pouquíssimas referências.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Recuperar hexanos através da hidrólise básica da mistura de hexanos com acetato de etila e caracterizar as propriedades orgânicas da mistura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar diferentes concentrações de hexanos e acetato de etila para obtenção da curva de refração;
- Criar uma curva de acordo com a densidade da mistura;
- Otimizar a separação através de diferentes concentrações de hidróxido de sódio;
- Recuperar hexanos de misturas de concentrações desconhecidas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

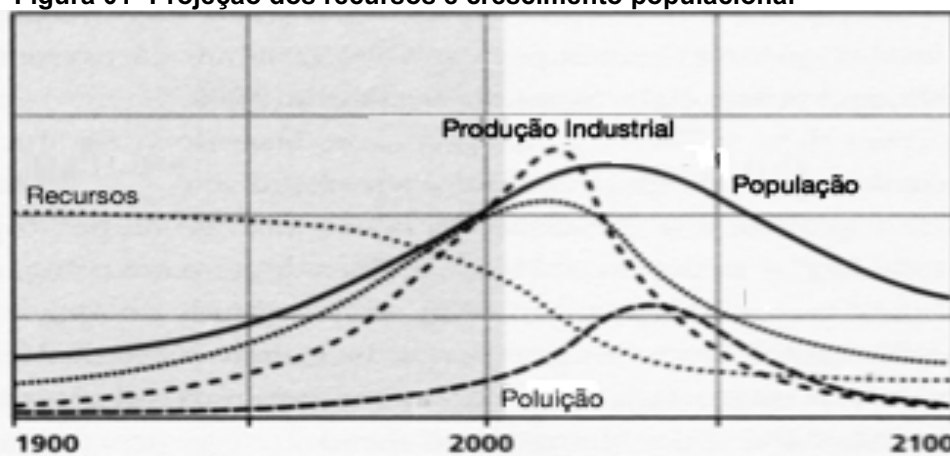
3.1 PANOMARA MUNDIAL

O panorama mundial vem mudando rapidamente, por motivos ligados a algumas das grandes preocupações da humanidade como meio ambiente, energia e economia (VICH; MANSOR, 2009).

Nesse contexto, a partir de meados do século XX, a dependência do ser humano com relação ao uso dos recursos naturais passou a ser discutida quando a Terra começou a dar os seus primeiros sinais de escassez. Diante deste fato, muitas conferências e encontros mundiais passaram a ser realizados, com discussões de medidas para a contenção das alterações no meio ambiente e na vida social da população mundial, causadas pela produção industrial e pela pressão econômica (PENNATI, 2009).

A publicação do “The Limits to Growth”, um livro que foi publicado em 1972, trouxe uma projeção global do comportamento do crescimento populacional juntamente com a poluição e os recursos naturais disponíveis conforme a figura 01 abaixo.

Figura 01- Projeção dos recursos e crescimento populacional

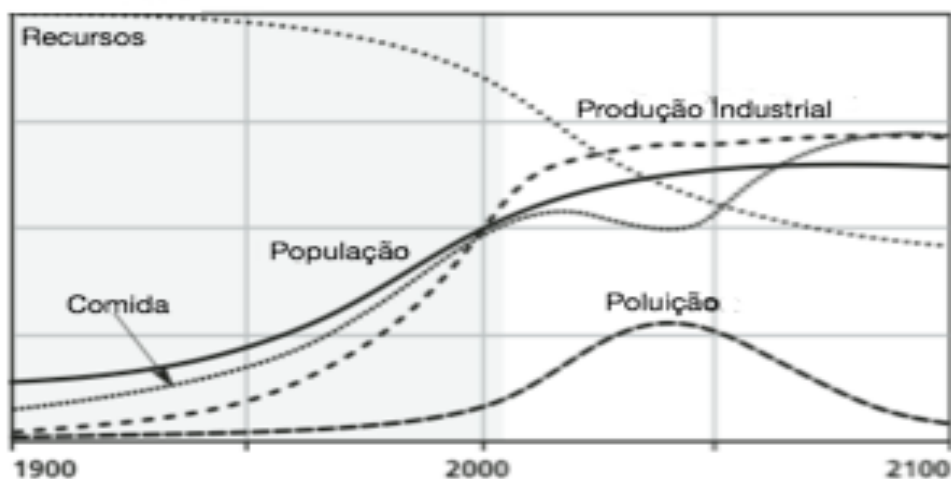


Fonte: The Limits to Growth (1972)

Essa projeção mostra que conforme há um aumento da população e uma diminuição na taxa de mortalidade consequentemente tem se aumento da produção de alimentos e serviços e ainda há um declínio dos recursos juntamente com um aumento da poluição até aproximadamente no ano de 2030. Mas essa projeção feita não levava em consideração nenhum cuidado com os recursos e nem os avanços tecnológicos que surgiram aos longos dos anos.

A figura 02 abaixo representa a mesma ideia da projeção anterior, porém refeita em 2004, cerca de 30 anos após o lançamento do “Limits to the Groth“. Essa versão focou numa vertente voltada a preservação do meio em que vivemos (TAVARES, 2015).

Figura 02 - Projeção corrigida do Limits to Growth



Fonte: MEADOWS, et al (2004)

Analisando essa atualização da projeção percebe-se que o cenário em relação aos recursos disponíveis não muda de situação, porém conforme esses recursos disponíveis começam a ter uma queda acentuada observa-se que a produção industrial continua aumentando diferente da figura 01 onde tínhamos um declínio a partir de 2030. Isso mostra que uma evolução vem acontecendo de modo que novas tecnologias foram e vem sendo desenvolvidas, um novo pensamento cultural na humanidade vem sendo implementado ao mesmo tempo que o crescimento populacional já não cresce mais de forma tão ascendente (MEADOWS et al, 2004).

É justamente com essa publicação que começou a dar-se importância aos impactos que nosso ambiente está recebendo bem como a disponibilidade dos

recursos naturais. Nesse mesmo ano de 1972 na Suécia, 113 países se reuniram na Conferência das Nações Unidas cujo tema principal foi o crescimento econômico e o meio ambiente. Esse encontro levou ao surgimento de um documento referenciado como “Declaração sobre o Ambiente Humano“, cujo material contempla 26 princípios e 109 recomendações (AGENDA 21, 2004).

Deve-se por fim à descarga de substâncias tóxicas ou de outras matérias a liberação de calor, em quantidade ou concentrações tais que não possam ser neutralizadas pelo meio ambiente, de modo a evitarem-se danos graves e irreparáveis ao ecossistema. (Princípio 6 – CONFERENCIA DAS NACOES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE HUMANO; 1972, p.4).

Em Belgrado, 1975, novas diretrizes foram tomadas e as propostas foram elaboradas na Carta de Belgrado: “Uma estrutura global para Educação Ambiental” e juntamente houve a criação do PIEA (Programa Internacional de Educação Ambiental). Ambas abordando a questão da gestão ambiental correlacionada com o comportamento humano.

Diante de tantas reuniões e congressos surgindo, a velocidade com que o tema ambiente era tratado não estava sendo veloz o suficiente. Com isso na década de 80 a ONU criou uma nova comissão para propor medidas a curto prazo e acessíveis para que pudesse reverter a situação da época criando então o documento “Nosso Futuro Comum” o qual trouxe pela primeira vez o conceito de crescimento sustentável (ROLOFF, 2016).

3.2 QUÍMICA SUSTENTÁVEL

Um dos desafios para os químicos de hoje é suprir as necessidades da sociedade por novos produtos, porém sem esquecer os aspectos ambientais. Considerando a necessidade de um contínuo desenvolvimento econômico, social e ambiental sustentável, com vistas a manutenção e melhoria da qualidade de vida atual vindoura em todo o globo torna-se imperiosa uma nova conduta química com a geração cada vez menor de resíduos e efluentes tóxicos.

Esta filosofia é conhecida como Química Sustentável ou Química Verde.

(CORRÊA; ZUIN, 2009, p. 7)

O surgimento da filosofia da Química Verde surge devido às consideradas orientações apresentadas e recomendadas pelo Relatório Brundtland. Passa-se a olhar a produção de produtos químicos de outra maneira, buscando minimizar os danos ao ambiente. A indústria química é um dos setores mais versáteis e importantes da atualidade. Estima-se que dentro da indústria química há cerca de 50 solventes utilizados em grande escala (KAKABASE, 1984). Porém os usos de solventes químicos trouxeram consigo a deterioração do meio, gerando subprodutos indesejados e/ou tóxicos, degradação da atmosfera, chuva ácida e entre outros impactos (LENARDÃO et al, 2003).

3.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS

Cada composto orgânico possui propriedades e características diferentes que normalmente se dão devido ao número de átomos de carbono na estrutura, presença ou não de ligações duplas e triplas, estrutura da molécula, grupos funcionais e entre outros (ENVIRONMENTAL HEALTH UNIT, 2002).

3.3.1 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são compostos orgânicos, ou seja, compostos que possuem carbono em sua composição. São conhecidos também como carbonetos de hidrogênio e são insolúveis em água. Altamente usado na indústria química especialmente na produção de derivados do petróleo como combustíveis e parafinas.

São compostos que podem ser subdivididos em alcanos, alcenos, alcinos, alcadienos, cíclicos e aromáticos.

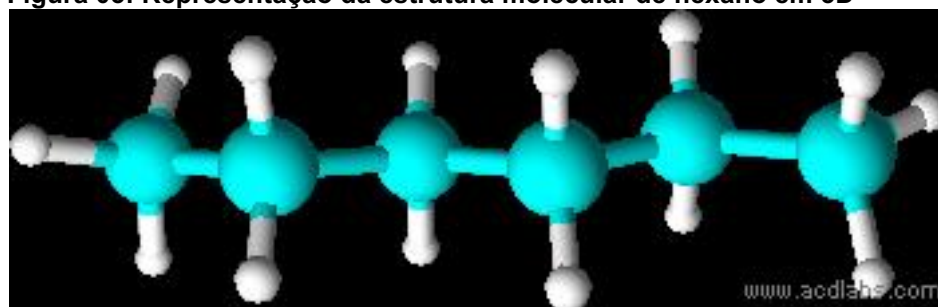
3.3.1.1 Alcanos

Conhecidos também como parafinas, são hidrocarbonetos de cadeia aberta saturada, ou seja, possui apenas ligações simples. Sua fórmula geral é C_nH_{2n+2} sendo n qualquer número inteiro. Além de serem usados em combustíveis sua aplicação se dá também em plásticos, tintas, borrachas e entre outros produtos.

3.3.1.2 Hexano

Esse hidrocarboneto alcano possui fórmula química $CH_3(CH_2)_4CH_3$, conforme estrutura mostrada a seguir na figura 03. É caracterizado pela sua baixa reatividade, o que explica seu alto uso como solvente inerte em reações orgânicas. Em temperatura ambiente se encontra na forma líquida (ponto de ebulição de $68^\circ C$), inflamável e em exposições prolongadas podem trazer efeitos colaterais aos seres humanos. Possui característica de ser incolor e ser solúvel em outros solventes orgânicos no geral e é insolúvel em água (CRUZ, 2013).

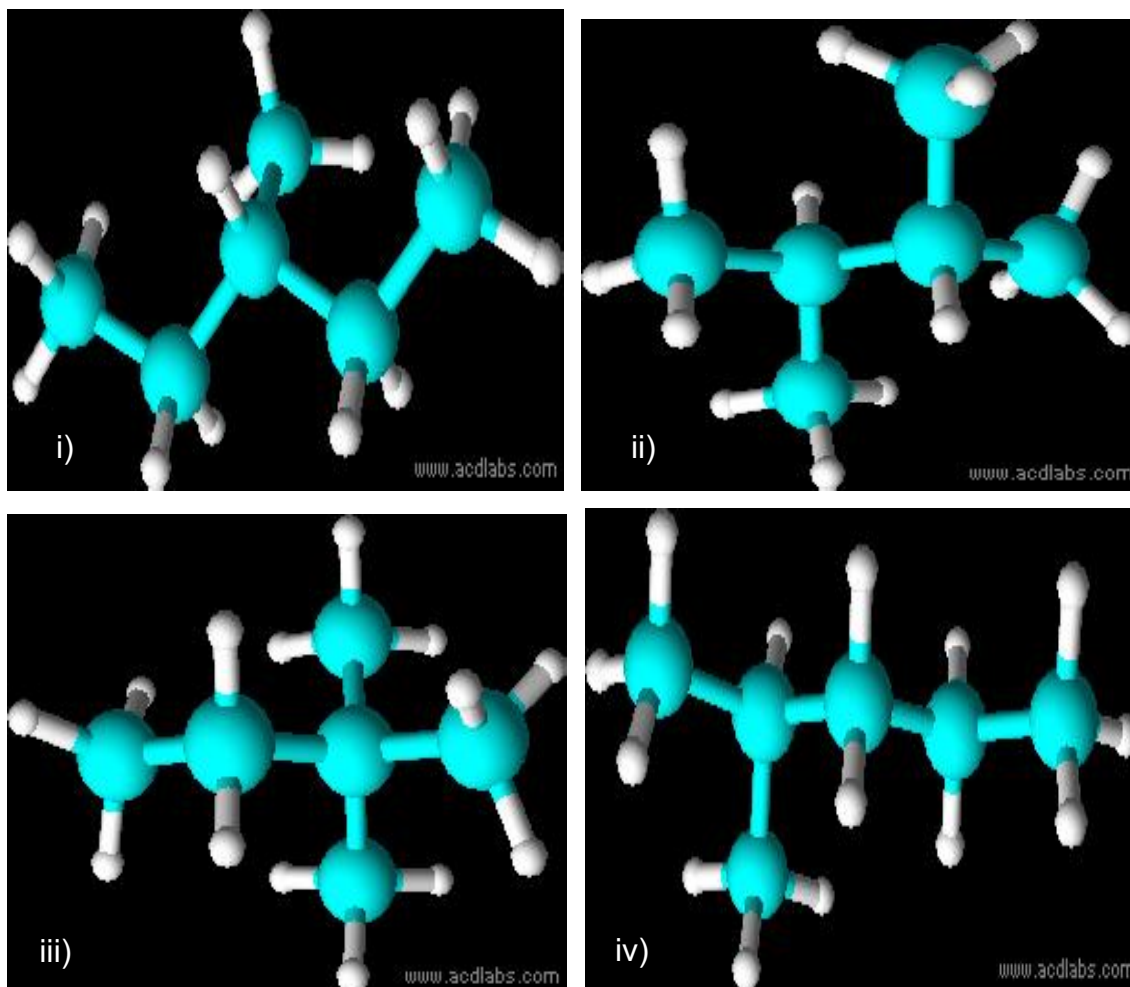
Figura 03: Representação da estrutura molecular de hexano em 3D



Fonte: ChemSketch (2017)

Quando possui uma mistura com os diferentes isômeros do n-hexano, de fórmula C_6H_{14} juntamente com o mesmo chamamos a mistura de hexanos. Segue os seus isômeros:

Figura 04 - Representação tridimensional das moléculas isoméricas do hexano



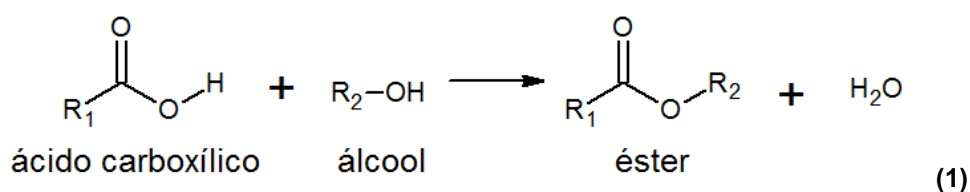
- i) 3-metil-pentano
- ii) 2,3-dimetil-butano
- iii) 2,2 dimetil-butano
- iv) 2-metil-pentano

Fonte: ChemSketch (2017)

O uso de hexanos se dá devido ao alto custo do n-hexano, um litro do mesmo custa em torno de 120 reais enquanto que o do hexanos em média 18 reais. Assim devido ao custo do material, acaba-se se usando hexanos.

3.3.2 Ésteres

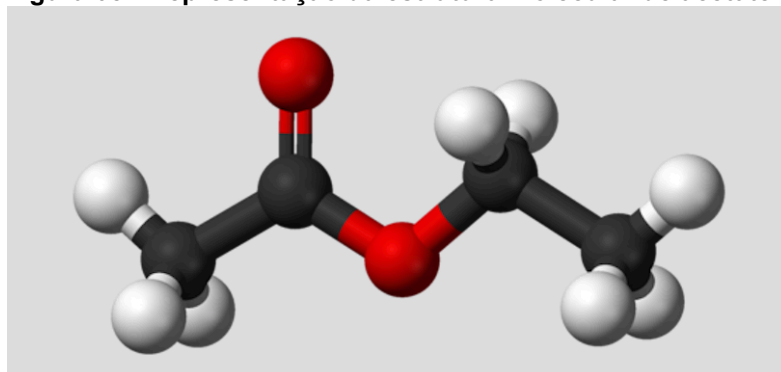
Éster é uma classe dos compostos orgânicos, característico por ser insolúvel em água e deriva dos ácidos carboxílicos através das reações de esterificação. Essa reação foi proposta em 1895 por Fischer e Speier quando constataram que aquecendo o ácido carboxílico e um álcool na presença de um catalisador poderiam obter um éster (FERREIRA et al, 2009). Essa reação ficou conhecida como reação de Fischer e pode ser observada abaixo:



3.2.1 Acetato de Etila

É um éster de fórmula química $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$, representado a seguir na figura 05, também é conhecido como etanoato de etila. Caracterizado por um odor de fruta e tem massa molecular de $88,11 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Seu ponto de ebulição é mais baixo do que ácidos carboxílicos sendo seu ponto de ebulição de 77°C (CRUZ, 2003)

Figura 05 - Representação da estrutura molecular de acetate de etila em 3D



Fonte: ChemSketch (2017)

Essa substância é altamente utilizada em colunas cromatográficas, muito aplicado na indústria principalmente como solventes em thinners, tintas, em resinas e

aplicações em embalagens e ainda na perfumaria através do uso de seus aromas (CHEMISOL). Suas vantagens em utilização são devido ao seu baixo custo, baixa toxicidade e também odor agradável (SBQ).

3.4 HIDRÓLISE

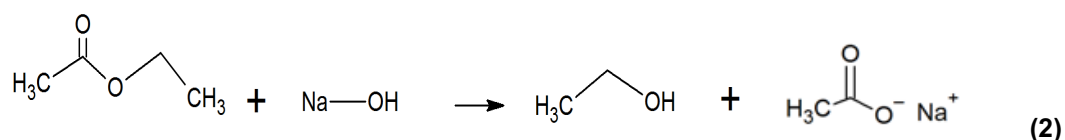
A hidrólise é uma reação em que o solvente é a água e essa reação tem esse nome devido aos solventes reagirem através da decomposição pela água. Nesse tipo de reação a água sofre dupla decomposição, ou seja, um hidrogênio constituinte da água é transferido para um dos produtos, e o grupo OH é transferido para outra molécula (ROZEMBERG, 2002).

Segundo Politi, 1982, a hidrólise pode ser ácida em que em solução aquosa fornece o íon hidroxônio. Sendo ácido clorídrico e sulfúrico os mais utilizados para esse tipo de reação. Já a hidrólise alcalina tem um álcali sendo utilizado no lugar da água fornecendo um sal alcalino e um ácido.

3.4.1 Hidrólise Alcalina

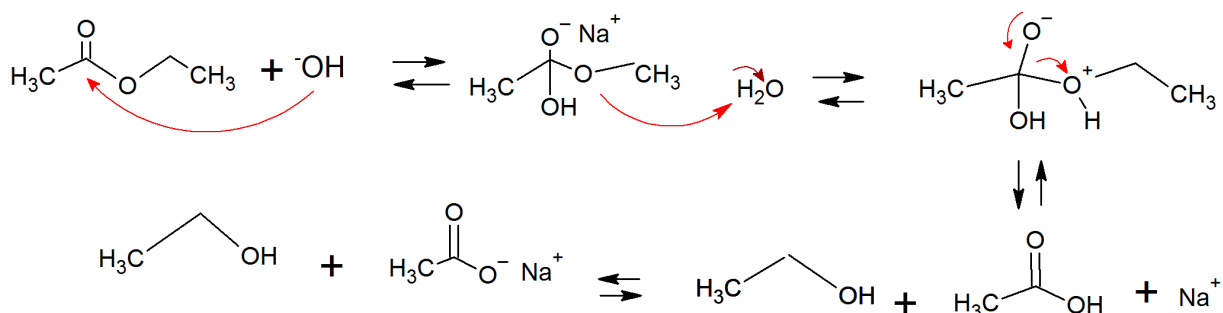
Em meio alcalino essa reação também é conhecida como saponificação, sendo uma reação irreversível e isso se deve ao fato do ácido carboxílico se encontrar na forma de íon carboxilato os quais são mais estáveis (CAREY, A.F, 2009).

A reação do etanoato de etila em meio alcalino usando hidróxido de sódio aquoso pode ser observada na equação dois abaixo:



Essa reação ocorre pelo mecanismo conforme figura 07 abaixo:

Figura 06: Mecanismo da hidrólise básica



Fonte: ChemSketch (2017)

Conforme a imagem 06 acima mostra a primeira etapa da reação de hidrólise via básica é a adição nucleófila do íon hidróxido ao carbono da carbonila. Então ocorre a transferência de um próton para o intermediário formado a partir da etapa 1 seguido de uma dissociação eletrônica, reagindo com uma molécula de água. Após essa etapa obtém-se um novo intermediário tetraédrico. Nessa etapa faz com que haja uma ruptura levando a formação de um ácido carboxílico e álcool. Vale ressaltar que o ácido carboxílico leva a formação de um sal na presença do átomo de sódio.

3.5 PROPRIEDADES ORGÂNICAS

3.5.1 Solubilidade

Solubilidade é a propriedade que indica a capacidade de uma substância se dissolver em um solvente, muitos métodos de separação, extração e recristalização de substância usam como base essa propriedade (PERRY, 1997). Essa propriedade física depende das interações moleculares existentes entre as moléculas do soluto e das interações do soluto com o solvente. Esse princípio também é regido por uma regra de que substâncias polares dissolve substâncias polares e apolar dissolve apolar (MORRISON, BOYD, 1996).

Vale ressaltar que a polaridade das moléculas é definida pela eletronegatividade, ou seja, a capacidade do átomo em atrair elétrons. Quando há diferença de

eletronegatividade diz-se que a a molécula tem caráter polar caso contrário apolar. A possibilidade de ocorrer uma dissolução aumenta quando as forças entre soluto e solvente foi maior que a intensidade das forças de atração da própria molécula (HUHEEY et al, 1993).

Nos compostos orgânicos, mais especificamente hidrocarbonetos como o hexano que possui apenas ligações carbono com hidrogênio tem no quesito eletronegatividade uma diferença muito pequena o que torna a molécula apolar. Já compostos que possuem outros tipos de átomos ligado ao carbono (ésteres, álcoois) como oxigênio, nitrogênio e enxofre são mais eletronegativos que o próprio carbono trazendo uma característica polar a substância. Porém quanto maior a cadeia carbônica mais apolar é a substância. (MARTINS et al, 2013).

O quadro 1 abaixo mostra a solubilidade de alguns álcoois comparados com água e hexano.

Quadro 01 – Solubilidade de álcoois em água e hexano

Substância		Solubilidade (g/100g solvente)	
Nome	Fórmula condensada	Água	Hexano
Metanol	CH ₃ OH	Infinito	3,8
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	Infinito	Infinito
Propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	Infinito	Infinito
n-Butanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	7,9	Infinito
s-Butanol	CH ₃ CH(OH)CH ₂ CH ₃	12,5	Infinito
t-Butanol	(CH ₃) ₃ COH	Infinito	Infinito
n-Pentanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	2,3	Infinito
n-Hexanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	0,6	Infinito
n-Heptanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	0,2	Infinito

Fonte: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n8/v36n8a26.pdf>

O etanol é uma substância que tem um caráter bipolar, ou seja, consegue solubilizar compostos polares e apolares, conseguindo dissolver tanto a água como o hexano que possuem polaridades diferentes conforme nos mostra o quadro 01 acima.

Os ésteres são substâncias que não conseguem fazer ligações de hidrogênio quando estão no seu estado puro, porém ao entrarem em contato com um solvente

as pontes de hidrogênio começam a formar-se adquirindo uma solubilidade parecida com os álcoois (MARTINS et al, 2013).

3.5.2 Densidade

Densidade é uma propriedade intensiva de um material ou substância, ou seja, não depende da massa da amostra. É definida como a razão entre a massa e o volume ocupado por esse material. Ou seja, é uma propriedade que pode ser usada para distinguir o seu estado físico (sólido, líquido ou gasoso), pois sua propriedade é influenciada pela temperatura e pressão do sistema, devido a estas causarem alterações no volume e conseqüentemente mudanças na densidade (CONSTANTINO et al,2004).

A densidade tem o princípio de que um material menos denso flutua sobre um mais denso, fato que pode ser observado nas substâncias orgânicas. Compostos orgânicos tem a característica de serem poucos densos, densidade menor que água, por isso quando insolúveis estas permanecem numa fase acima da água (MATHEUS,2008).

Os hidrocarbonetos como o hexano por exemplo, são moléculas que se unem por forças de Van der Waals, sendo assim suas moléculas tendem a ficar mais distantes o que causa menor unidade por volume, implicando em uma baixa densidade (GARCIA et al, 2015). Os álcoois por sua vez são bastantes solúveis em moléculas polares ocasionando a formação de ligações de hidrogênio, porém conforme aumenta a cadeia carbônica esta começa a prevalecer e a solubilidade diminui fazendo com que sua densidade seja menor que a da água (CAREY,2009). E os éteres devido a sua baixa reatividade faz com que não ocorra pontes de hidrogênio entre si, porém fazem com a água o que justifica sua solubilidade nesse meio e também ao fato de sua solubilidade ser maior que a de alcanos e álcoois (CAREY,2009).

3.5.2.1 Picnômetro

O picnômetro é um material de laboratório pequeno de vidro calibrado precisamente para que sempre haja a mesma medida de volume de líquido no seu interior conforme a figura 08 a seguir. Essa vidraria é utilizada para medir a densidade

relativa, ou seja, a razão absoluta das densidades entre dois líquidos. O picnômetro possui uma abertura larga com uma tampa de vidro perfurada onde encontra-se um termômetro e também possui uma saída lateral a qual é usada para o transbordamento evitando que se acumulem bolhas na vidraria (EMBRAPOL).

Figura 09: Picnômetro com termômetro



Fonte: Prolab (2008)

Para o cálculo da densidade tem-se as equações abaixo:

$$M_a = M_2 - M_1 \quad (3)$$

$$M_b = M_3 - M_1 \quad (4)$$

$$\rho = \frac{M_a}{M_b} \quad (5)$$

Considerando que:

M1 – massa do picnômetro

M2 - massa do picnômetro com substância

M3 – massa do picnômetro com água

ρ - Densidade

3.5.3 Índice de Refração

O Refratômetro tem seu fundamento associado a uma propriedade física que é o índice de refração, ou seja, a luz ao deslocar-se com velocidade diferente nas diversas fases inclusive no ar possui diversos ângulos de refração e isso acontece pelo fato de ao penetrar em outro meio a luz muda de direção (CECCHI, 2003). Esse fenômeno pode ser observado na figura 10 logo a seguir.

A lei de Snell-Descartes é conhecida como a lei da refração e nos indica através de uma expressão o desvio angular sofrido por um feixe de luz ao mudar de meio.

$$n = \frac{c}{v}$$

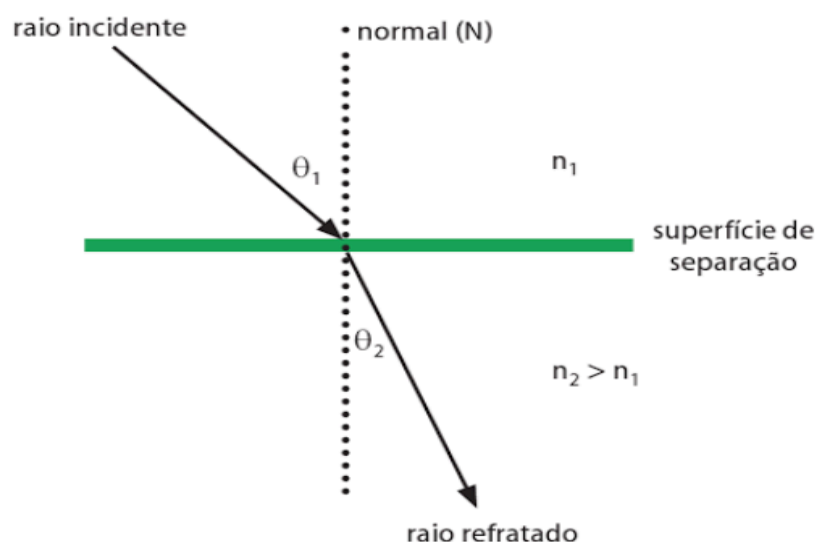
onde:

n – índice de refração

c – a velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s)

v – a velocidade da luz no meio determinado

Figura 10 – Representação do desvio do feixe de luz ao mudar de meio



Fonte: K-PATENTS (2010)

A medida de refração é uma análise simples e muito útil visto que permite que se faça uma análise do comportamento de uma determinada substância, pois uma mudança no seu índice indica por exemplo alterações na formulação do composto

(ROSA et al,2015). A concentração de uma solução pode ser determinada através de um gráfico usando o índice de refração em função da concentração de várias soluções.

De acordo com K-PATENTS tem-se o valor referencia para o índice de refração de algumas substâncias a 20°C, conforme observa-se abaixo no quadro 2:

Quadro 02 - Índice de refração tabelado a 20°C

Substância	Índice de Refração
Acetato de Etila	13.722
Hexanos	13.749
Água	13.330
Etanol	13.600

Fonte: K-PATENTS (2010)

3.5.3.1 Refração molar

Essa característica está diretamente relacionada ao índice de refração e é a polarizabilidade da mesma, ou seja, a capacidade de uma molécula ter sua nuvem eletrônica distorcida.

Refração é explicada no nível atômico pois os átomos são compostos de elétrons e prótons e ambos são partículas carregadas seja negativa ou positiva e podem ser movidas por ondas eletromagnéticas como a luz. Porém prótons são componentes mais pesados então o campo eletromagnético acaba afetando apenas os elétrons que são mais leves (DENIS, 2015). Quando os átomos encontram se no seu estado básico possuem uma distribuição de cargas simétrica, ou seja, não possui um momento dipolo. Porém quando um campo elétrico é aplicado causa uma redistribuição das cargas no interior do átomo induzindo então aos dipolos elétricos (ROSA, 2013). Ou seja, índice de refração acaba tendo sua origem na resposta das cargas do átomo em relação ao campo elétrico.

Quando um feixe de luz atravessa um meio diminuindo a velocidade da luz tem se um aumento das interações do campo elétrico com as moléculas da substância fazendo com que ocorra a distorção da nuvem eletrônica. O índice de refração, por apresentar uma diminuição da velocidade da luz aumenta o grau de interação do

campo elétrico com as moléculas da substancia, fazendo com que suas nuvens eletrônicas distorçam (ATKINS, 1998).

Assim pela equação de Lorentz-Lorenz temos:

$$r = \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

onde:

n = índice de refração

ρ = densidade da substância

r = refração específica

Através da equação 7 temos a refração molar:

$$R = r \cdot MM \quad (7)$$

R = refração molar

MM = peso molecular

Mas essa propriedade é afetada pela natureza dos átomos e a quantidade dos mesmos bem como as ligações existentes. A refração molar, por sua vez, é igual à soma das refrações atômicas dos elementos. Yamamoto (2013) através da refração atômica indicou a influência de alguns tipos de grupos químicos como observa-se a seguir no quadro 03:

Quadro 03 - Refração Atômica de alguns elementos químicos

Grupo	Refração Atômica
--------------	-------------------------

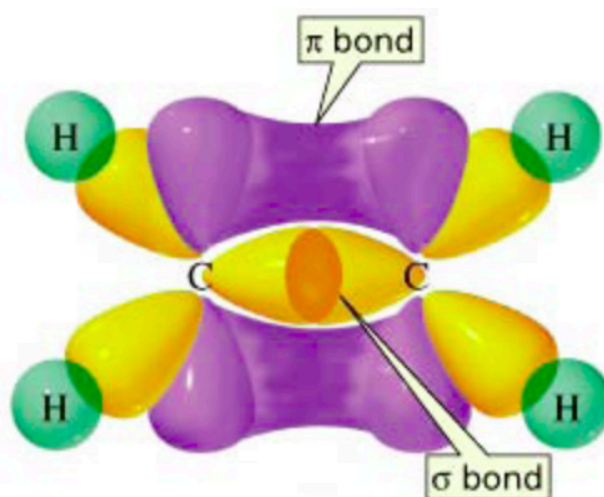
H	1.1
C	2.418
Dupla ligação (C=C)	1.733
Tripla ligação	2.398
C=O	2.211
O—H	1.525
C—O—	1.643
O	1.525

Fonte: <https://www.pirika.com/ENG/TCPE/RefractiveIndex2.html>

Conforme observa-se no quadro 3 a inserção de uma dupla ou tripla ligação diminui o índice de refração atômica e isso acontece pelo fato de que elétrons da ligação π tem maior mobilidade, ou seja, esses elétrons estão deslocalizados. Essa condição significa que os π -elétrons estão localizados em torno e não entre dois átomos o que permite maior mobilidade (SCHUYER, 1953) (PALANNA, 2009).

Na imagem a baixo há a representação desse fenômeno:

Figura 11 - Deslocalização da ligação π



Fonte: PALANNA (2009)

3.5.3.2 Refratômetro de Abbe

É um dos refratômetros mais conhecidos e utilizados, seus principais componentes são o prisma de medição, focalização e o círculo graduado de leitura além de um termômetro (PILLING, 2003).

Figura 12 - Refratômetro de Ab

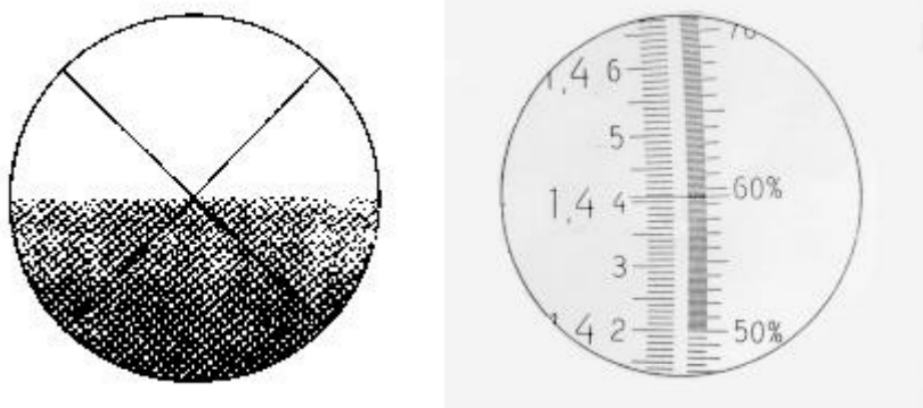


Fonte: Laboratório de Ensino de Óptica – Unicamp (2005)

O índice de refração é medido com apenas algumas gotas de líquido e numa escala gradual de 1,300 até 1,700. A luz incide no meio através de um ângulo de 90° , essa luz então se dirige a um conjunto de prismas especiais (Amici) que separam essa luz e a direcionam até um retículo. (PASELK, 1998).

A parte ocular do refratômetro de Abbe permite observar um círculo demarcado com um X no seu interior conforme mostra a figura 13. A medida se dará quando nesse ocular houver uma fronteira bem definida separando uma parte clara de outra escura. Com esse equilíbrio consegue se ler na escala conforme a figura 13 qual o índice de refração da amostra ou a porcentagem de Brix (PILLING, 2003).

Figura 13- Representação da visão do refratômetro de Abbe e sua escala de medição



Fonte: Laboratório de Ensino de Óptica – Unicamp (2005)

3.5.4 Graus Brix

Foi criado por Adolf Brix e é usada para quantificar os sólidos solúveis em uma determinada amostra. Esses sólidos solúveis são açúcares, sais, ácidos, proteínas e entre outros. Uma solução de 10% Brix representa 10 gramas de sólidos por 100 gramas de líquido (GARDCO, s/a).

Os resultados do *Brix* são bem mais próximos dos sólidos dissolvidos reais pois há uma baixa variação com as impurezas e a tensão superficial dos líquidos não impacta na medida de refração (UNESP, s/a).

3.5.5 Correlações entre propriedades

O índice de refração, a densidade e o grau Brix podem – se relacionar. Abaixo tem-se um quadro de conversão entre essas duas dessas propriedades.

Quadro 04 - Conversação de %Brix em indice de refração

Brix %	nD 20°C	Brix %	nD 20°C
0	1,33	45	1,40987
5	1,34026	50	1,42009
10	1,34782	55	1,4308
15	1,35568	60	1,441931
20	1,36384	65	1,45348
25	1,37233	70	1,46546
30	1,38115	75	1,47787
35	1,39032	80	1,49071
40	1,39986	85	1,50398

Fonte:DAM-DENSITY (2003)

Conforme aumenta se a densidade espera-se que haja um aumento do índice de refração, e pode se observar pela seguinte equação:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (8)$$

O índice de refração é inversamente proporcional a velocidade de propagação da luz em seu interior, o que comprova que quanto mais denso opticamente for a substância menor será a velocidade de propagação (METTLER TOLEDO, s/a) (RAECO, s/a).

A segunda correlação entre densidade e grau Brix está associada a quantidade de sólidos totais na substância, pois quanto mais sólidos possuir a amostra maior será a sua densidade e conseqüentemente o número de Brix será maior. Brix elaborou as tabelas que relacionam as concentrações das soluções açucaradas, expressas em porcentagem, com seus respectivos índices de refração a uma determinada temperatura conforme quadro 04 acima (METTLER TOLEDO, s/a).

Assim observa-se que as três propriedades estão ligadas intrinsecamente, porém elas são afetadas pela mudança da temperatura.

No quadro 05 abaixo tem a relação do índice de refração com a porcentagem de Brix correlacionadas com faixas de temperatura diferentes.

Quadro 05 - Efeito da temperatura sobre as propriedades

Temperatura °C	Brix 20%	Brix 40%	Brix 20%	Brix 20%
15	-0,34	0,37	-0,38	0,37
19	-0,07	0,08	0,08	0,08
20	1,36384	139.986	1,44193	1,49071
21	0,07	0,08	0,08	0,08
25	0,38	0,4	0,04	0,38
30	0,79	0,81	0,81	0,77

Fonte: Laboratório Gardo (2002)

Conforme o quadro 05 nos traz, a medição correta com a temperatura se torna necessária visto que a correlação não é linear nas substâncias. Assim o cuidado experimental em manter a mesma faixa de temperatura torna-se necessário.

Vale ressaltar então que tanto o grau Brix quanto o índice de refração são afetados por outras propriedades como a refração molar, temperatura e pressão do sistema, ou seja, nem sempre quando houver um aumento na densidade o índice de refração aumenta.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada está descrita no fluxograma abaixo, abordando desde as etapas de preparação das amostras, as análises das propriedades por refratometria, densidade, reação de hidrólise e obtenção dos hexanos.

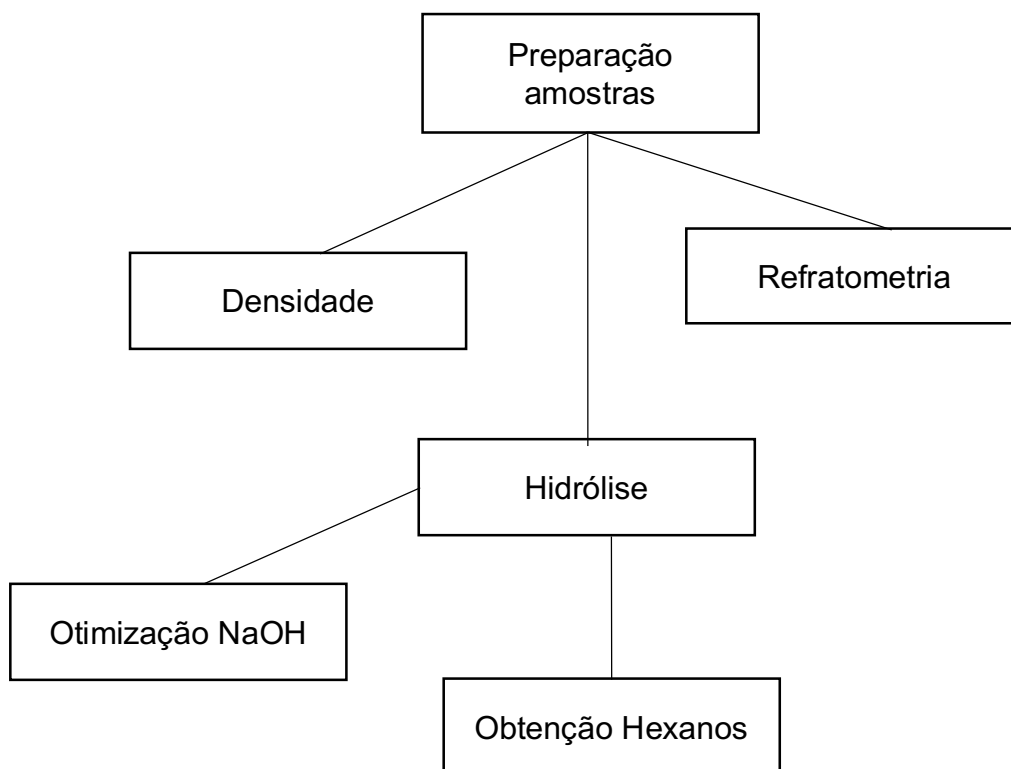


Figura 13 – Fluxograma experimental

Fonte: Autoria própria

4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.1.1 Amostras para refratômetro

Para análise no refratômetro com o uso de micropipeta preparou-se 21 amostras de 100 mL. A primeira amostra possuía 100% hexanos P.A e a última 100% acetato de etila P.A. As amostras intermediárias são diluições da amostra anterior até chegar a 21ª amostra contendo apenas a acetato de etila puro conforme tabela abaixo.

Quadro 06 – Representação da composição amostral para análise de refração

Amostra	% v/v Hexanos	% v/v Acetato de etila	Amostra	% v/v Hexanos	% v/v Acetato de etila
1	100	0	12	45	55
2	95	5	13	40	60
3	90	10	14	35	65
4	85	15	15	30	70
5	80	20	16	25	75
6	75	25	17	20	80
7	70	30	18	15	85
8	65	35	19	10	90
9	60	40	20	5	95
10	55	45	21	0	100
11	50	50			

Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que calibrou se inicialmente o refratômetro com água destilada. E também que o uso do hexanos comercial.

4.1.2 Amostras para picnômetro

Para análise da densidade foram necessários 50 mL de hexanos e 50 mL de acetato de etila. Pesou se o picnômetro de capacidade de 25 mL vazio e anotou se a massa (figura 14 e 15), o mesmo foi realizado para a vidraria contendo água, hexanos e acetato de etila.

Figura 14 - Peso do picnômetro



Fonte: Autoria própria

Para as amostras de mistura de acetato de etila com hexanos preparou-se duas buretas cada qual contendo um respectivo solvente conforme imagem a seguir.

Figura 15 - Sistema para análise de densidade



Fonte: Autoria própria

Foram preparadas 11 análises conforme tabela 6. Cada amostra foi inserida no picnômetro até que se completasse todo o volume do capilar, pesando então cada uma delas, subtraindo da massa inicial do picnômetro.

Quadro 07 – Composição amostras para análise de densidade

AMOSTRA (n)	HEXANOS (mL)	ACETATO (mL)
1	25	0
2	22,5	2,5
3	20	5
4	17,5	7,5
5	15	10
6	12,5	12,5
7	10	15
8	7,5	17,5
9	5	20
10	2,5	22,5
11	0	25

Fonte: Autoria própria

4.1.3 Hidrólise

Para a reação de hidrólise da mistura de hexanos com acetato de etila usou-se uma mistura de mesma concentração de ambos os reagentes.

Preparou-se soluções de hidróxido de sódio $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$, $0,75 \text{ mol.L}^{-1}$ e também de 1 mol.L^{-1} . Adicionou-se NaOH a mistura e deixou-se a amostra reagir sob agitação durante 5 minutos.

Ao separar as fases via destilação simples obteve-se a fase menos densa e então pesou-se.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 REFRACTOMETRIA

As análises de refratometria foram realizadas com o objetivo de obter um comportamento padrão das diferentes concentrações da solução problema bem como dos solventes puros. Obteve-se o seguinte resultado para o índice de refração a uma temperatura de 24°C:

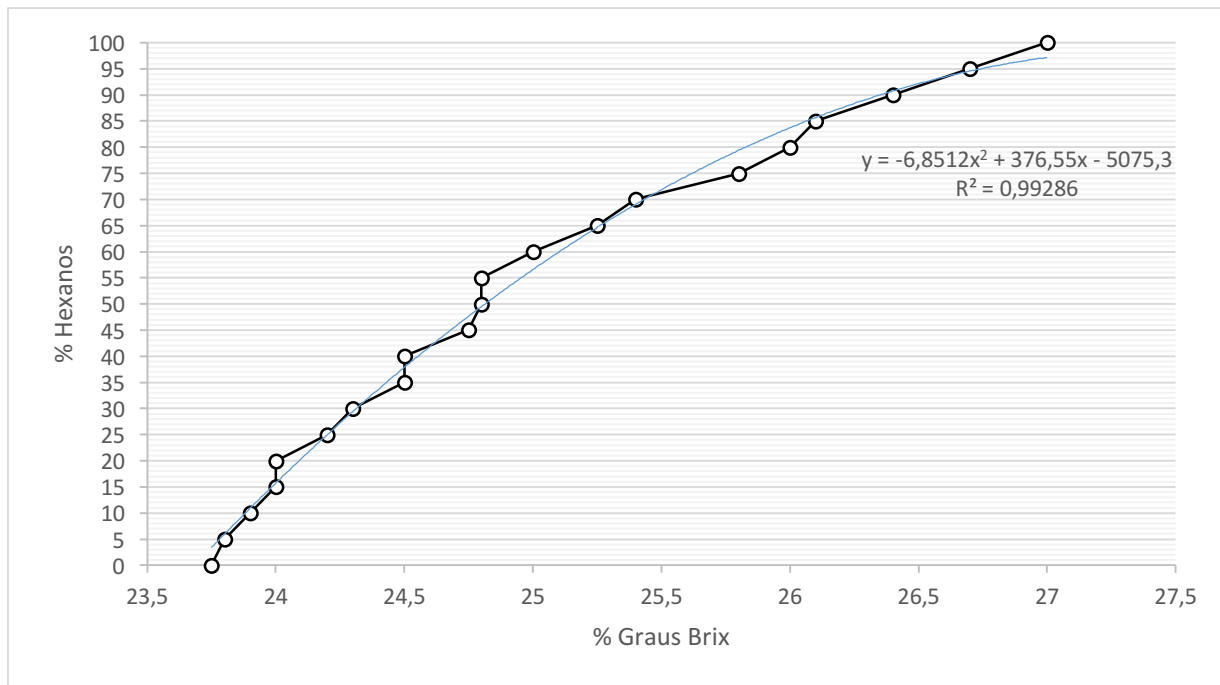
Quadro 08 – Resultado do refratômetro das amostras problema

Porcentagem Acetato (%v/v)	Porcentagem Hexanos (%v/v)	% Brix	índice refração
0	100	27,0	1,413
5	95	26,7	1,41
10	90	26,4	1,41
15	85	26,1	1,409
20	80	26,0	1,409
25	75	25,8	1,408
30	70	25,4	1,406
35	65	25,2	1,406
40	60	25,0	1,405
45	55	24,8	1,404
50	50	24,8	1,404
55	45	24,75	1,404
60	40	24,5	1,403
65	35	24,5	1,403
70	30	24,3	1,402
75	25	24,2	1,401
80	20	24,0	1,401
85	15	24,0	1,401
90	10	23,9	1,400
95	5	23,8	1,400
100	0	23,75	1,400

Fonte: Autoria própria

Usando a porcentagem Brix plotou se o gráfico abaixo:

Figura 17: correlação concentração de hexanos com graus Brix



Fonte: Autoria própria

Pode se analisar que conforme aumenta a concentração de acetato de etila a %Brix começa a diminuir e o mesmo acontece para o índice de refração como esperado. Porém ao comparar com dados fornecido pela K-PATENTS observa-se uma dispersão maior, porém deve-se levar em consideração alguns fatores:

- Temperatura que estava a 4°C maior do que os dados literários e como visto a temperatura influencia diretamente nas análises;
- Volatilidade dos solventes;
- Precisão da escala pois esta é graduada de 0,25 em 0,25 Brix, assim uma medida entre os dois marcadores acaba não se tornando tão precisa.

5.2 DENSIDADE

Da mesma forma que as análises de refratometria, o objetivo é obter também um comportamento de densidade para as amostras de hexanos com acetato de etila

e de ambos concentrados. Através de medidas com o picnômetro obteve-se os seguintes resultados:

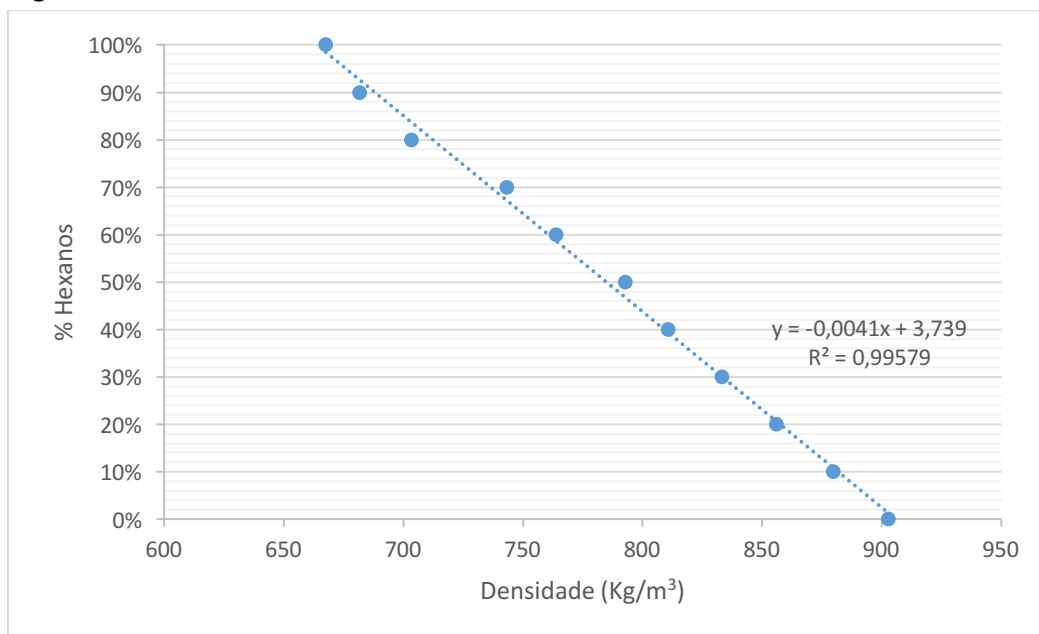
Quadro 09 - Densidade das amostras

% hexanos	peso (Kg)	densidade (kg/m³)
100%	0,0166874	667,496
90%	0,017038	681,520
80%	0,0175795	703,180
70%	0,0185803	743,212
60%	0,019096	763,84
50%	0,0198141	792,564
40%	0,0202657	810,628
30%	0,0208263	833,052
20%	0,0213986	855,944
10%	0,0219951	879,804
0%	0,0225700	902,800

Fonte: autoria própria

Pelo quadro 09 observa-se que conforme aumenta a quantidade de acetato de etila presente na amostra a densidade do composto vai aumentando gradativamente. Essa observação torna-se mais clara ao observar o comportamento na figura a seguir.

Figura 18: Densidade das amostras em estudo



Fonte: Autoria própria

Conforme observa-se na ilustração 18 acima tem se uma reta de coeficiente 0,99579 o qual segue a tendência dos dados obtidos pela FISPQ conforme os dados apresentados no quadro 10 abaixo:

Quadro 10 – Dados da FISPQ dos materiais problema

Dados	
Massa molar hexanos g/mol	86,18
densidade kg/m3	655
Massa molar acetato g/mol	88,11
densidade kg/m3	897

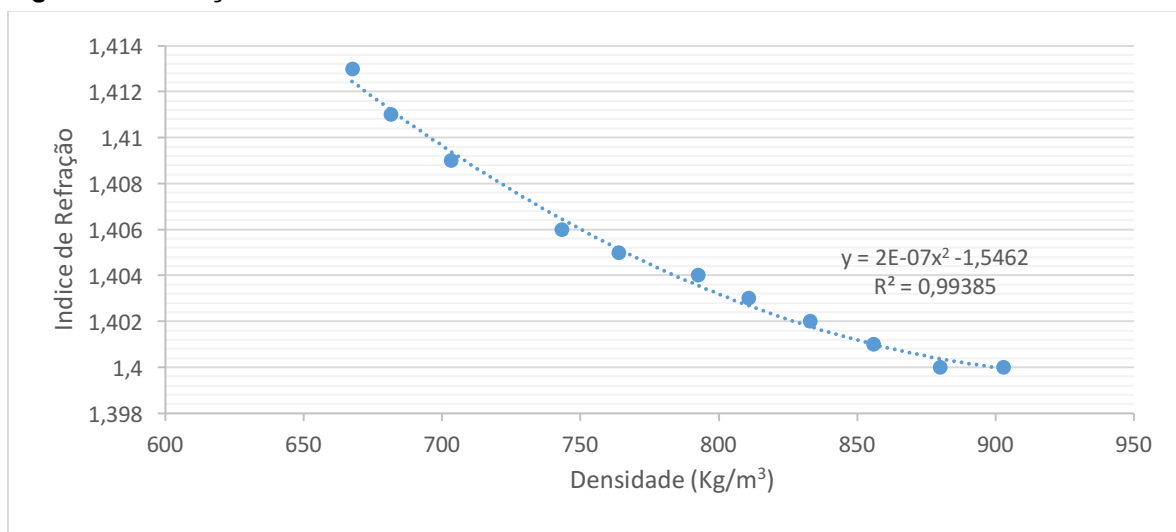
Fonte: autoria própria

Comparando os resultados com a literatura observa se que a densidade do acetato realmente foi maior que a do hexanos, pois este é uma substância composta apenas por carbonos e hidrogênios e o acetato de etila em contrapartida é uma substância que apresenta ainda oxigênios na estrutura o que faz com que seja uma substância mais densa.

5.3 RELAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Comparando o índice de refração com a densidade obtidas anteriormente no quadro 8 e 09 respectivamente, obtém-se a seguinte curva representada na figura 19 a seguir:

Figura 19: Refração versus densidade



Fonte: Autoria própria

Conforme observa a ilustração acima, as duas propriedades possuem uma relação. Normalmente espera-se que substâncias mais densas possuam um índice de refração maior, porém não é o observado nesse estudo. Esse fato é explicado pela refração molar de cada composto.

A refração molar do acetato de etila e do hexano pode ser calculada com base no quadro 3 e é dada pelas equações 9 e 10 a seguir:

$$RM \text{ acetato} = 8 \times 1,1 + 2,211 + 1,643 + 2 \times 2,418 = 17,49 \quad (9)$$

$$RM \text{ hexano} = 6 \times 2,418 + 14 \times 1,1 = 28,648 \quad (10)$$

Apesar do acetato de etila possuir uma densidade maior, a influência da refração molar é maior no hexano o que causa um índice de refração maior. Isso se explica pelo fato de que a interação dos átomos no hexano causa um deslocamento maior da nuvem eletrônica, deslocando o índice de refração em relação ao ar enquanto que no acetato de etila a presença da dupla ligação por exemplo diminui a influência do mesmo visto que a mobilidade da ligação π é maior.

5.4 RECUPERAÇÃO DE HEXANOS

Utilizando uma mistura equimolar de acetato de etila com hexanos e reagindo com diferentes concentrações de hidróxido de sódio obteve-se o seguinte resultado:

Quadro 11 – Obtenção de hexanos via diferentes concentrações de NaOH

Concentração NaOH	Peso (g)	Densidade (Kg/m³)
1 mol	0,001675	670,274
0,75 mol	0,001722	689,044
0,5 mol	0,001837	735,166

Fonte: Aatoria própria

Comparando os resultados das densidades acima com o quadro 09 observa-se que usando uma concentração de 0,5 mol obteríamos uma mistura contendo em torno de 75% hexanos, a solução de 0,75 mol relaciona sua densidade com uma mistura próximo de 85% de hexanos e com 1 mol atinge-se uma densidade bem próxima do resultado de 100% hexanos. Vale fazer uma consideração de que as medições experimentais não ocorreram na mesma temperatura, 6 graus abaixo da medição do quadro 09.

6 CONCLUSÃO

Diante da problemática ambiental exposta pelo descarte inadequado de substâncias químicas na natureza, esperou-se encontrar na recuperação de hexanos via catalise básica, uma maneira de reutilizar esse composto através de uma alternativa simples.

A hidrólise básica apresenta um resultado positivo visto que foi possível fazer a obtenção de hexanos ao final do processo bem como caracterizar o comportamento da mistura de acetato de etila com hexanos em diferentes concentrações a uma dada temperatura. Através da curva de densidade e refração pode-se esperar uma determinada faixa de concentração de hexanos na mistura. Vale ressaltar que o resultado obtido depende diretamente da temperatura em que ocorre as medições visto que a mistura hexanos por exemplo volatiliza rapidamente.

Assim conclui-se que a reação em meio básico é favorável a recuperação de 100% de hexanos, além de ser necessário baixa quantidade de hidróxido de sódio, aproximadamente 1 mol/L para a recuperação de toda a substância da mistura problema.

REFERÊNCIAS

AFONSO, J.C.; NORONHA, L.A.; FELIPE, R.P.; FREIDINGER, N. **Gerenciamento de resíduos laboratoriais: Recuperação de elementos e preparo para descarte final.** *Química Nova*. São Paulo, v.26, n.4, 2003.

AGENDA 21. **Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional.** *Ministério do Meio Ambiente*. Brasília, n.2, 2004.

ATKINS, P.W. *Physical Chemistry*, 6th ed. Oxford University Press, 1998.
CAREY, F.A. **Química Orgânica.** *AMGH Editora*. São Paulo, 2009.

CECCHI, H. M. **Métodos físicos - Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos.** 2ª ed. UNICAMP. Campinas, 2003.

CONSTANTINO, M.G.; SILVA, G.V.J.; DONATE, P.M. **Fundamentos da Química Experimental.** *EdUSP*, 2004.

CRUZ, O. **Ficha Acetato de etila,** 2003. Disponível em: <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Acetato%20de%20etila2003.pdf>> Acesso em: 23 de setembro, 2017.

CRUZ, O. **Ficha Hexano,** 2003. Disponível em: <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Hexano2003.pdf>>. Acesso em: 23 de setembro, 2017.

CHEMISOL. **Acetato de Etila.** Disponível em: <<http://www.chemisol.com.br/produtos/acetato-de-etila/>> Acesso em: 23 de setembro, 2017.

DALEY, R.F.; DALEY, S.J. **Organic Chemistry: Physical Properties of Organic Compounds.** 2005.

DAYLIGHT CHEMICAL. **CMR3 Reference Manual,** 2011. Disponível em: <<http://www.daylight.com/dayhtml/doc/cmr/index.html#PCMsc3.2>>. Acesso em: 08 de outubro, 2017.

DENIS, T. **Laser Physics - refraction of light at an atomic scale.** *Quora*. 2015.

DONELLA M.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. **Limits to Growth: The 30-year update.** *Chelsea Green Publishing*, 2004.

ENVIRONMENTAL HEALTH UNIT. **Organic Compounds.** Disponível em: < <https://kidsenvirohealth.nlm.nih.gov/subtopic/002/chemicals/020/volatile-organic-compounds/> > . Acesso em: 15 setembro 2017.

FERREIRA, M.; MORAIS, L.; NICHELE, T.Z.; DEL PINO, J.C. **Química Orgânica.** *Bookman*, 2009.

GARCIA, C.F.; LUCAS, E.M.F.; BINATTI, I. **Química Orgânica: Estrutura e propriedades.** *Bookman*, 2015.

GARDO. **Brix & Refractiv Index.** Disponível em: < <https://www.gardco.com/pages/optical/re/brix.cfm> > Acesso em: 24 de setembro, 2017.

HO, P.S.; LEU, J. **Low Dielectric Constant Materials for IC Applications.** *Springer Science & Business Media*, 2003.

HUHEEY, J. E.; KELTER, E. A.; KELTER, R. L.; **Inorganic Chemistry: Principles of Struture and Reactivity**, 4.ed., *Harper Collins College Publishers*. Nova York, 1993.

KAKABADSE, G. **Solvente problems in Industry.** *Elsevier Applied Science*. 1984.

K-PATENTS. **Refratômetro de Processo**, 2015. Disponível em: < <http://www.kpatents.com/assets/files/downloads/manuals/pr-23-21/pr-23-pt.pdf> > Acesso em: 3 de outubro, 2017.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, R.A.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, A.C.F.; SILVEIRA, C.C. **Green Chemistry: Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa.** *Química Nova*. São Paulo, v.26, n.1, 2003.

MARTINS, C.R.; LOPES, W.A.; ANDRADE, J.B. **Solubilidade das substâncias orgânicas.** *Química Nova*. São Paulo, v.36, n.8, 2003.

MATHEUS, A.L. **Química na Cabeça.** *Editora UFMG*, 2008.

METTLER TOLEDO. **Brix por refratometria e densidade**. Disponível em:<https://www.mt.com/dam/Analytical/Density/DE-PDF/BRIX-Sugar_Determination.pdf>. Acesso em: 5 de outubro, 2017.

MORRISON, R.; BOYD, R.; **Química Orgânica**, 13. ed., Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1996.

PALANNA, O.G. **Engineering Chemistry. Mobility**. Tata MCGraw-Hill Education. 2009.

PASELK, R. A. **The evolution of the Abbe refractometer**. 1998. Disponível em: <<http://www2.humboldt.edu/scimus/Essays/EvolAbbeRef/EvolAbbeRef.htm>>. Acessado em 03 de outubro, 2017.

PENATTI, F.E. **Gerenciamento de resíduos como instrumento de gestão ambiental em laboratórios de análises e pesquisa da área química**. Tese (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, 2009.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H.; **Chemical Engineers' Handbook**, 7. ed., McGraw-Hill. EUA, 1997.

PILLING, S. **Físico Química Experimental: Refratometria – Determinação do índice de refração em líquidos**. Universidade do Vale do Paraíba, 2009.

POLITI, E. **Química**. 3. Ed. Moderna. São Paulo, 1982.

RAECO. **Refractive Index Measurement Principle**. Disponível em: <<http://www.raeco.com/training/refractive-index-measurement-principle.pdf>>. Acesso em: 5 de Outubro, 2017.

REUSCH, W. **Intermolecular Forces**. *Organic Chemistry with a Biological Emphasis*. Michigan State, 2016.

ROCHA, J. **Química Geral – Densidade**. *Manual da Química*. s/A.

ROSA, G.; GAUTO, M.; GONÇALVES, F. **Química Analítica: Práticas de Laboratório**. Bookman, 2015

ROZEMBERG, I.M. **Química Geral. 1. ed.** *Edgard Blücher Ltda.* São Paulo, 2002. SEED.

SCHUYER, J.; BLOM.L; KREVELEN. D.W. **The molar refraction of condensed aromatic compounds.** Central Laboratory, Staatsmijnen Limburgue, 1953.

TAVARES, A. **Os Limites do Crescimento.** *Jornal de todos os Brasis.* São Paulo, 2015.

VICHI, F.M.; MANSOR, M.T.C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** *Química Nova.* São Paulo, v.32, n.3, 2009.

YAMAMOTO. H. **Properties Estimation: Estimation of Refractive Index part 2.** Yokohama National University. Japan, 2013.