

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**GUSTAVO ZALUSKI DE ALMEIDA
MATHEUS LOPES DEMITO**

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO PARA A
RECUPERAÇÃO DE HEXANOS EM MISTURA COM ACETATO DE
ETILA, VIA HIDRÓLISE ALCALINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

PONTA GROSSA

2018

**GUSTAVO ZALUSKI DE ALMEIDA
MATHEUS LOPES DEMITO**

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO PARA A
RECUPERAÇÃO DE HEXANOS EM MISTURA COM ACETATO DE
ETILA, VIA HIDRÓLISE ALCALINA**

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

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fernandes
Coorientador: Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO PARA A RECUPERAÇÃO DE
HEXANOS EM MISTURA COM ACETATO DE ETILA, VIA HIDRÓLISE ALCALINA**

por

GUSTAVO ZALUSKI DE ALMEIDA e MATHEUS LOPES DEMITO

Monografia apresentada no dia 19 de junho de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Profa. Dra. Simone Delezuk Inglez
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcos Andre Bechelin
(UTFPR)

Prof. Dr. Luciano Fernandes
(UTFPR)
Orientador

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

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química”

AGRADECIMENTOS

São tantas as pessoas que passam pela nossa vida que certamente não seria fácil agradecer todas, mas algumas em especial transformaram conosco esse sonho em realidade.

Agradecemos às nossas famílias pelo apoio e confiança, essa etapa marca o início de uma nova jornada que não seria possível sem vocês.

Agradecemos ao nosso orientador, Luciano, e co-orientador, Matheus, pela direção nesse trabalho. Mas, agradecemos também, pelos momentos de conversas construtivas, ensinamentos paralelos e lições que serão carregadas para toda a vida.

Aos nossos amigos de graduação devemos um agradecimento especial por todas as vivências nesse período universitário, foram várias situações embaraçosas que não seriam possíveis de serem vencidas sem um ombro amigo. Obrigado por nos motivarem a continuar e nos projetarem como exemplos. Muito do que somos é por causa de vocês.

Sem mais delongas, um agradecimento geral a todo corpo docente que de alguma maneira contribuiu positivamente para nossa formação em Engenharia Química e também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná que sempre ofereceu infraestrutura, insumos e apoio para nos tornarmos os profissionais que somos. Em defesa da educação pública e de qualidade!

O espírito sem limites é o maior tesouro
do homem.
(ROWLLING, J. K., 2007)

RESUMO

ALMEIDA, Gustavo Zaluski; DEMITO, Matheus Lopes. **Desenvolvimento de processo químico para a recuperação de hexanos em mistura com acetato de etila, via hidrólise alcalina.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Metodologias para reaproveitamento de solvente orgânico é um tópico muito discutido, visto a crescente busca por processos sustentáveis. Nesse contexto o presente trabalho visa consolidar uma metodologia para recuperação de hexano em mistura com acetato de etila, a qual é usada com frequência em laboratórios de química, por meio de hidrólise alcalina utilizando hidróxidos de sódio e potássio. Fez-se análises de refratometria e densidade para plotar uma relação linear entre as propriedades e assim avaliar as amostras da mistura. Os valores mais próximos para recuperação de Hexano para o NaOH foi em $0,9610 \text{ mol.L}^{-1}$ e para o KOH em $0,7297 \text{ mol.L}^{-1}$. Os resultados mostram que a metodologia usada atente as expectativas do trabalho.

Palavras-chave: Hidrólise básica. Hexano. Acetato de Etila. Recuperação. Resíduos.

ABSTRACT

ALMEIDA, Gustavo Zaluski; DEMITO, Matheus Lopes. **Development of chemical process for the recovery of hexanes in mixture with ethyl acetate, via alkaline hydrolysis.** 2019. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Methodologies for reuse of organic solvent is a much discussed topic, given the growing search for sustainable processes. In this context, the present work aims to consolidate a methodology for the recovery of hexane mixed with ethyl acetate, which is frequently used in chemistry laboratories, by means of alkaline hydrolysis using sodium and potassium hydroxides. Refractometry and density analyzes were performed to plot a linear relationship between the properties and thus to evaluate the mixture samples. The closest values for recovery of Hexane to NaOH were at 0.9610 mol.L⁻¹ and for KOH at 0.7297 mol.L⁻¹. The results show that the methodology used addresses the expectations of the work.

Keywords: Basic hydrolysis. Hexane. Ethyl Acetate. Recovery. Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reação de Hidrólise Básica com NaOH e Acetato de Etila.....	19
Figura 2 – Mecanismo de Hidrólise Básica ente Acetato de Etila e Base Genérica.....	19
Figura 3 – Feixe de Luz Refletido e Refratado.....	21
Figura 4 – Leitor da Medição do Índice de Refração.....	22
Figura 5 – Cromatograma representando o pico gerado pelo hexano.....	37
Figura 6 – Cromatograma representando o pico gerado pelo acetato de etila.....	38
Figura 7 – Cromatograma representando o pico gerado pelo hexano.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação de Índice de Refração e Concentração de Hexano.....	32
Gráfico 2 – Relação dos dados coletados para densidade e índice de refração para diferentes proporções de mistura de Hexano e Acetato de Etila.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de Refração para diferentes substâncias.....	22
Tabela 2 – Porcentagens para 10 mL de Hexano e Acetato de Etila.....	28
Tabela 3 – Porcentagens para 25 mL de Hexano e Acetato de Etila.....	29
Tabela 4 – Resultado da coleta de dados de Brix e Índice de Refração, pelo refratômetro.....	31
Tabela 5 – Medida de densidade de misturas com diferentes proporções de solução.....	33
Tabela 6 – Resultados dos dados de hidrólise com NaOH.....	34
Tabela 7 – Resultados dos dados de hidrólise com KOH.....	35

SUMÁRIO

RESUMO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 PROCESSOS QUÍMICOS.....	15
3.2 COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	16
3.2.1 Hexano.....	16
3.2.2 Acetato de Etila.....	16
3.2.3 Técnicas de Estudo para Recuperação de Hexanos.....	17
3.3 HIDRÓLISE.....	17
3.3.1 Hidrólise Básica.....	17
3.3.2 Mecanismo da Reação.....	18
3.4 PROPRIEDADES DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	19
3.4.1 Solubilidade.....	19
3.4.2 Volatilidade.....	19
3.4.3 Densidade.....	19
3.4.4 Índice de Refração.....	20
3.4.5 Graus Brix.....	21
3.5 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	22
3.5.1 Refratometria.....	22
3.5.2 Titrimetria.....	23
3.5.3 Picnometria.....	24
3.5.4 Decantação.....	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 MATERIAIS.....	25
4.1.1 Vidraria e Utensílios Materiais.....	25
4.1.2 Equipamentos e Instrumentação em Geral.....	25
4.1.3 Reagentes e Solventes.....	25
4.2 MÉTODOS.....	26
4.2.1 Refratometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila.....	26
4.2.2 Picnometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila.....	27
4.2.3 Hidrólise Básica com NaOH.....	28
4.2.3.1 Preparo das soluções de NaOH.....	28
4.2.3.2 Reação da hidrólise básica.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O hexano é um solvente largamente utilizado em metodologias de extração líquido-líquido, esse tipo de extração é considerado uma técnica clássica de amostra e tem sido muito utilizada nas diversas áreas da química (JARDIM et. al., 2000). A extração por hexano, mesmo não apresentando diferenças significativas nos resultados quando comparada a processos que utilizam enzimas para extração (FREITAS et. al.,2017), se sobressai por ser financeiramente mais viável do que a grande maioria dos processos enzimáticos biotecnológicos.

O hexano é considerado o solvente universal para a extração do óleo de soja. (GANDHI et. al, 2003). Em geral, em processos químicos industriais de extração de óleo vegetal e também nas metodologias de ensino que visam fornecer subsídios científicos para o aprendizado de tal, o hexano torna-se um solvente muito utilizado, principalmente em procedimentos que adotam o equipamento Soxhlet (VIANA et. al., 1999).

Atualmente, utiliza-se com frequência nos laboratórios direcionados à extração de compostos e análises de química orgânica a mistura de hexano e acetato de etila como meio extrator. Uma das problemáticas desse procedimento é a falta de tecnologias desenvolvidas para recuperação e reuso do hexano utilizado nesses processos.

Segundo a Hoenka Comercial LTDA. produtora de hexano, o produto é um composto muito utilizado industrialmente em diferentes áreas. Como em fabricação de adesivos, extração de água em etanol, produtos de higiene doméstica, extração de óleos essenciais e vegetais, dentre outras aplicações em diferentes ramos da indústria química, petroquímicas e de geração de energia.

Este projeto foi elaborado visando estudar a aplicação de um processo químico viável, através de hidrólise alcalina, para recuperação do hexano utilizado junto a acetato de etila em inúmeros processos de extração na química orgânica.

Ao tratar de recuperação de solventes e desenvolvimento de novas tecnologias, tem-se que esse projeto está diretamente relacionado com os princípios atuais de química verde, sustentabilidade e, também, com uma das ideologias norteadora do curso de engenharia, que é resolver problemas e desenvolver novas ideias e possibilidades.

Tendo em vista o que foi exposto, surge-se a questão de como recuperar os hexanos utilizados nos processos dos laboratórios? Esse projeto será direcionado a amparar essa lacuna do conhecimento existente nesse ramo de pesquisa e julgará qual a melhor forma das testadas para recuperação desse solvente.

Por um conjunto de relevâncias justifica-se esse projeto. No aspecto ambiental ele mostra-se como uma alternativa sustentável, uma vez que propõem um processo para reutilização desses solventes orgânicos. Um dos apelos feitos por esse trabalho está relacionado às metas globais de desenvolvimento sustentável defendidas pela ONU, conhecidas como objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS).

Outrossim, pretende-se também com essa iniciativa amparar a literatura nesse contexto, haja vista que há poucas referências específicas sobre o tema. Além disso, destaca-se como uma possível alternativa de implementação financeiramente viável e relativamente simples para recuperação e reutilização de hexano tanto nos laboratórios de ensino, pesquisa e extensão, quanto nas indústrias.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse projeto é estudar o desenvolvimento de um processo químico para a recuperação de hexanos da mistura de hexanos e acetato de etila, através de hidrólise básica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver uma curva de refração com diferentes concentrações de hexanos e acetato de etila, e, correlaciona-la com a densidade das misturas.

Utilizar diferentes concentrações de hidróxido de sódio para realizar hidrólise básica na mistura de hexanos e acetato de etila.

Utilizar diferentes concentrações de hidróxido de potássio para realizar hidrólise básica na mistura de hexanos e acetato de etila.

Comparar os resultados obtidos pelos diferentes hidróxidos.

Escolher o melhor processo desenvolvido para recuperação de hexanos em misturas de concentrações desconhecidas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSOS QUÍMICOS

Os processos químicos são conhecidos dentro da sociedade há muitos anos (REIS, 1993). Haja vista que a química estuda as transformações que envolvem matéria e energia, ao falarmos dos processos químicos temos que esses são entendidos como qualquer operação ou conjunto de operações coordenadas que causam uma transformação física ou química em um material ou misturas de materiais (SHREVE et. al., 1956). Tais processos movimentam e caracterizam as indústrias químicas.

A indústria química é entendida através de dois extremos pela sociedade. Um deles está diretamente ligado aos benefícios decorrentes de sua produção, seja a geração de serviços ou os próprios produtos químicos, os quais estão cada vez mais intrínsecos ao estilo de vida contemporâneo. Por sua vez, o outro extremo é marcado pela ameaça constante de poluição, acidentes potenciais, uso indevido de reagentes e utilização demasiada de recursos naturais (BAUER, 2003).

Nesse contexto, como tentativa de reverter a impressão negativa social sobre as indústrias químicas criou-se diversas iniciativas sustentavelmente corretas, sejam associadas a controle de qualidade, segurança industrial, saúde ocupacional ou proteção ambiental. Hoje, para prevenir, remediar e legislar esses ônus provenientes da indústria química temos órgãos responsáveis e programas ambientais específicos (SILVA, 1999; IBAMA,1996).

Ao passar do tempo, o crescimento dos problemas ambientais ocorridos por excessos ou falhas nos processos químicos e as preocupações pertinentes sobre esses problemas geram a busca de soluções reais para contornar a situação presenciada sobre o meio ambiente (SIKDAR e ELHALWAGI, 2001; SHONNARD, 2002). Segundo artigo 17 do CONFEA, resolução nº218 de 1973, o engenheiro químico é um profissional ideal para desenvolver, otimizar e acompanhar esses processos químicos, além de evitar o uso indevido de reagentes e/ou recursos naturais em suas ocorrências.

3.2 COMPOSTOS ORGÂNICOS

3.2.1 Hexano

O Hexano, fórmula estrutural $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$, é um composto orgânico da classe dos alcanos lineares, que são constituídos apenas por átomos de carbono e de hidrogênio e possuem apenas ligações simples sem ramificações. Também são classificados como hidrocarbonetos, que contêm somente carbono e hidrogênio em sua cadeia, sendo que um alcano é um hidrocarboneto que tem unicamente ligações simples (BRUICE, 2006).

O petróleo é uma importante fonte de geração de alcanos, por meio do processo de craqueamento que quebra longas moléculas de hidrocarbonetos de alta massa molecular para formar cadeias menores (MARIANO, 2001). Quando os alcanos são aquecidos a altas temperaturas, as ligações de carbono com carbono e carbono e hidrogênio se rompem, processo esse chamado de pirólise (VOLLHARDT, 2004).

A baixa reatividade do hexano explica seu grande uso como solvente inerte em reações, já seu ponto de ebulição é próximo dos $68,7\text{ }^\circ\text{C}$ e o de fusão dos $-95,3\text{ }^\circ\text{C}$ e seu peso molecular é igual a $86,18\text{ g.mol}^{-1}$ (VOLLHARDT, 2004).

Apesar de sua grande aplicabilidade como solvente, traz grande preocupação por sua alta toxicidade, podendo gerar problemas graves de saúde ao utilizadores. Além disso, é também altamente inflamável e um grande agente poluidor quando não recuperado da forma correta (SAWADA, 2012).

3.2.2 Acetato de Etila

O acetato de etila é um éster, que é formado pela reação entre um ácido carboxílico e um álcool, nesse caso ácido acético e etanol quando aquecidos em cerca de 100°C em presença de um ácido forte. Esse processo é chamado de esterificação, sendo esta uma reação de condensação, gerando além do produto principal a água (ATKINS et. al., 2012).

Os ésteres são os derivados de ácidos carboxílicos mais importantes, visto sua aplicação industrial como componente de essências artificiais de diversos frutos como maçã, pera, framboesa, pêssego entre outras (VOLLHARDT, 2004). Ainda é usado

em colunas cromatográficas para análises e produção de novos produtos (SIMAS et. al., 2004).

O acetato de etila apresenta-se incolor, com odor suave adocicado, possui ponto de ebulição aos 77,1°C e ponto de fusão de – 84°C e peso molecular de 88,11 g.mol⁻¹. Sua utilização como solvente e agente diluidor é favorecida devido ao odor agradável e baixo custo (REIS, 1993).

3.2.3 Técnicas de Estudo para Recuperação de Hexanos

A recuperação de hexanos surge como uma solução ao descarte, uma vez que a substância apresenta toxicidade considerável. O mais comum é partir para a destilação da mistura, como o uso do equipamento stripper que serve como uma coluna de destilação que maximiza a recuperação (PARAÍSO, 2005). Entretanto outras tecnologias foram desenvolvidas como alternativas para a recuperação, por exemplo o uso de membranas poliméricas (RIBEIRO, 2005). Uma nova possibilidade de metodologia para recuperação é por meio da hidrólise básica (JORGE, 2017).

3.3 HIDRÓLISE

Em 1908, surgiu nas publicações de cunho científico, pela primeira vez, o conceito de hidrólise de um cátion. Esse fundamento foi aplicado por N. Bjerrum em sua tese de doutorado (PERUZZO et. al., 2006). Para entender o que é de fato a hidrólise, pode-se partir da etimologia da palavra, uma vez que “hidro” significa água e “lise” está associada à quebra. Logo, conclui-se que hidrólise é qualquer processo químico onde ocorra a quebra de uma ou mais moléculas em presença de água (REIS, 1993). Atualmente, a hidrólise é um processo popularizado tanto nas áreas químicas, com as hidrólises básicas e ácidas, como também nas biológicas, ou melhor dizendo, biotecnológicas, com as hidrólises enzimáticas (PERUZZO et. al., 2006).

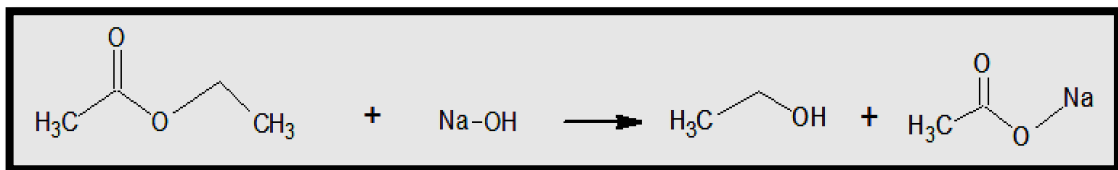
3.3.1 Hidrólise Básica

A hidrólise básica, também conhecida como hidrólise alcalina ou simplesmente reação de saponificação é um tipo de reação química aquosa que ocorre entre um éster e uma base inorgânica (REIS, 1993). As bases mais utilizadas nas hidrólises

básicas são o hidróxido de sódio, hidróxido de potássio e hidróxido de magnésio. (CARDOSO, 2006).

A hidrólise básica entre acetato de etila e hidróxido de sódio, gera como produtos, o sal acetato de sódio e álcool etílico. A reação está explicitada abaixo na Figura 1:

Figura 1 – Reação de Hidrólise Básica com NaOH e Acetato de Etila

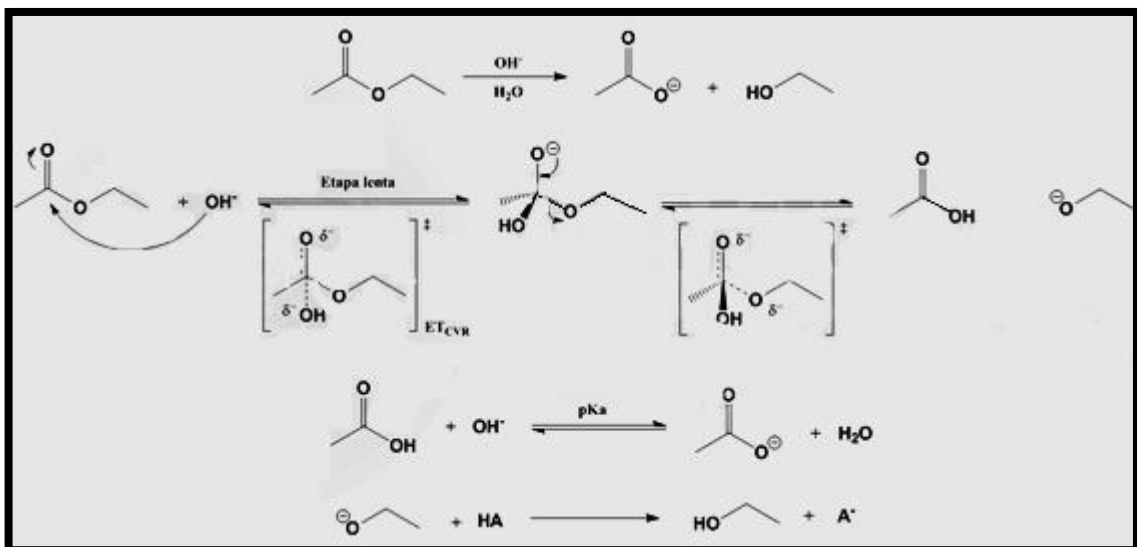


Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Mecanismo da Reação

Mecanismos são modelos que mostram teoricamente como as reações orgânicas preferencialmente ocorrem em determinadas reações. São embasados por muitos estudos cinéticos das reações e modelagens matemáticas. A reação de acetato de etila com base alcalina ocorre segundo o seguinte mecanismo apresentado na Figura 2:

Figura 2 – Mecanismo de Hidrólise Básica ente Acetato de Etila e Base Genérica



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 2 mostra o mecanismo proposto para a reação de hidrólise básica genérica realizada com qualquer hidróxido.

3.4 PROPRIEDADES DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

3.4.1 Solubilidade

Dentro da química, a solubilidade se destaca como um dos conceitos primordiais para o entendimento de fenômenos físico-químicos. Podemos defini-la de forma quantitativa como a capacidade de uma substância em alcançar o limite da dissolução em dada quantidade de solvente, sendo expressa como a concentração da solução saturada formada (ATKINS et. al., 2012). Com isso, podemos relacionar a solubilidade diretamente com a estrutura molecular da substância, principalmente com a polaridade das ligações e do momento dipolo da espécie (MARTINS et. al., 2013).

Além da polaridade, outro fator para a avaliação da solubilidade é a temperatura. Ela atua na velocidade de dissolução, não necessariamente indica que altas temperaturas resultem no aumento da solubilidade. A maioria dos gases, por exemplo, são menos solúveis em temperaturas mais elevadas, enquanto sólidos tem comportamento inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a temperatura, mais solúveis são (ATKINS, et. al., 2012).

3.4.2 Volatilidade

Líquidos considerados como voláteis possuem elevada pressão de vapor (pressão exercida pelo vapor em equilíbrio com um líquido) e baixa temperatura de ebulição (LEVINE, 2012), possuindo assim uma maior facilidade de passar do estado líquido para o gasoso, como o éter etílico. A volatilidade depende também da massa molecular da substância, sendo que quanto maior a massa menos volátil o líquido (NETZ et. al., 2008).

3.4.3 Densidade

Entende-se por densidade como a razão entre a quantidade de massa contida em um determinado volume, relacionando-se com diversas propriedades das

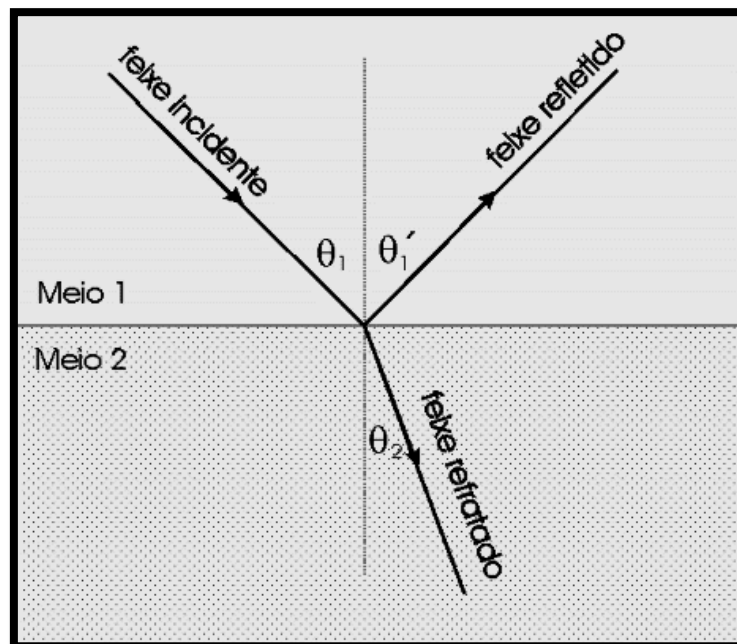
substâncias, servindo como ferramenta para determinar outras (ROSSI et. al., 2008). Tal razão é constante para uma mesma temperatura e pressão, mesmo a massa e o volume dependendo da quantidade da substância. Podemos dizer que é uma propriedade intensiva, que segundo SILVA e VALIM (2017), são propriedades que não dependem da extensão do sistema, expressas pela razão de propriedades que dependem da extensão dos sistemas como é aqui o caso da massa e do volume.

A densidade aumenta com o peso molecular crescente das substâncias, nos alcanos nunca atinge valores maiores que $0,8 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo menos densos que a água (AMARAL et. al., 2001). Dessa forma, podemos dizer que a maioria dos compostos orgânicos possuem densidade inferior a 1 g.cm^{-3} (MCMURRY, 2005).

3.4.4 Índice de Refração

A Figura 3 nos mostra um exemplo de um raio refletido e outro refratado.

Figura 3 – Feixe de Luz Refletido e Refratado



Fonte: Tonginho Filho (2008, P. 01)

Quando uma onda luminosa atinge um material óptico, que são aqueles considerados transparentes ao comprimento de onda da luz de interesse (TONGINHO FILHO, et. al., 2008), a onda é parcialmente refletida e parcialmente refratada. A onda

refratada atravessa o material ótico, porém altera a angulação da sua trajetória devido a mudança dos raios de luz.

O índice de refração, geralmente designado pela letra n , é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no material (SEARS, 1898), como mostrado na fórmula:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Onde:

n = índice de refração

c = velocidade da luz no vácuo

v = velocidade da luz no material

Como a velocidade na luz no vácuo é superior a qualquer outra velocidade em determinado material, o valor do índice de refração sempre será maior que 1, assumindo somente no vácuo o valor unitário. Por se tratar da razão de duas velocidades, o índice de refração é um valor adimensional (SEARS, 1898).

O índice de refração pode se relacionar com outras propriedades e ajudar na caracterização de uma substância. De acordo com a K-PATENTS, temos alguns valores de índice de refração para algumas substâncias como nos mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Índices de Refração para diferentes Substâncias

Substância	Índice de Refração
Água	1.333
Acetato de Etila	1.372
Hexano	1.375

Fonte: K – PATENTS (2015).

3.4.5 Graus Brix

O grau Brix, Brix ou °Bx é uma escala numérica que determina quantitativamente a presença de sólidos solúveis em uma amostra, ou então o quão concentrado a amostra está. Foi criada por Adolf Ferdinand Brix (1798-

1870), derivada da escala Balling, porém seguindo como referência a temperatura de 15,5°C (PERRONE et. al., 2011).

O grau Brix é usado principalmente no ramo alimentício. Podemos dizer que uma solução de 10% Brix equivale 10 gramas do sólido por 100 gramas do líquido (MAGALHÃES, 2010).

Densidade, índice de refração e o grau Brix podem se relacionar entre si por meio de equivalências a determinada temperatura, dependendo do material analisado.

3.5 MÉTODOS DE ANÁLISE

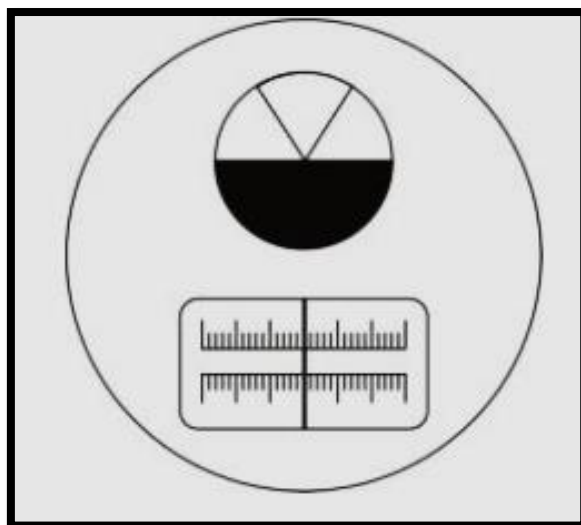
3.5.1 Refratometria

A refratometria é o método de se medir o índice de refração de uma material. Ernst Abbe propôs em 1895 a criação de um dispositivo que utilizaria dois prismas para medir o ângulo em que a luz sofreria uma reflexão total, conseguindo dessa forma medir o índice de refração do líquido analisado. Tal aparelho foi chamado de refratômetro de Abbe e tornou-se a técnica mais recorrente para a obtenção de medições de índice de refração (DIB, 2016).

Após o líquido a ser analisado ser colocado entre os prismas associados, um feixe de luz branca deve incidir por baixo do prisma inferior, o qual sofre um desvio. Esse feixe sai pela parte superior do primeiro prisma, atravessa a amostra líquida sofrendo um novo desvio e entra no segundo prisma onde é novamente desviado, saindo pela parte superior do primeiro prisma (DIB, 2015).

A leitura é feita a partir da linha clara/escura que pode ser vista na superfície de medição, onde as linhas são divididas e podem ser observadas com o auxílio da ocular como mostra a Figura 4. Os valores do índice de refração de diferentes posições serão vistos na superfície de medição (INSTRUTHERM, 2016).

Figura 4 – Leitor da Medição do Índice de Refração



Fonte: INTRUTHERM (2016, p. 4).

3.5.2 Titrimetria

Conhecido também como volumetria, é um método de análise que envolve a medida de volume de uma solução de concentração conhecida necessária para reagir essencial e completamente o analito (SKOOG, et. al., 2013). As titulações de neutralização são utilizadas para se determinar a concentração de analitos constituídos de ácidos e bases, sendo a água o solvente usual para as análises, uma vez tem grande disponibilidade, não apresenta toxicidade nem alto preço (DEAN, 1995).

A equação envolvida é conhecida como equação da diluição, como pode ser vista na Equação 2.

$$x_1.C_1.V_1= x_2.C_2.V_2 \quad (2)$$

Onde:

x_1 = fração molar da solução 1

C_1 = concentração da solução 1

V_1 = volume da solução 1

x_2 = fração molar da solução 2

C_2 = concentração da solução 2

V_2 = volume da solução 2

Por meio de substituições e equivalências, consegue-se realizar os cálculos para encontrar a solução padronizada do ácido ou base analisada. O padrão primário mais indicado para o processo de padronização de bases é o ftalato ácido de potássio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) por se tratar de um sólido pouco higroscópico e de alta massa molecular (SKOOG, et. al., 2013).

3.5.3 Picnometria

O picnômetro é um aparelho usado para medir a densidade relativa de determinado líquido, ou seja, em relação a outro líquido cuja a densidade já é conhecida, como a água. O procedimento consiste na pesagem do instrumento vazio, com o líquido a determinar a densidade e com o líquido com densidade conhecida (VASCONCELOS, 2004). Após esses passos, pode-se expressar a densidade relativa pela Equação 3.

$$\rho = \frac{m_a}{v_b} \quad (3)$$

Onde:

m_a = massa do picnômetro com a substância a se determinar a densidade subtraída da massa do picnômetro vazio

v_b = volume do picnômetro

ρ = densidade da substância desejada

3.5.4 Decantação

A decantação consiste num processo de separação pela ação da gravidade que permite separar soluções heterogêneas. Este processo é fundamentado na solubilidade da mistura e na densidade, sendo que o componente mais denso irá permanecer na parte inferior do recipiente onde o processo ocorrer. Em laboratórios, o funil de decantação é utilizado para casos de separação de misturas líquido-líquido (MORAES et. al., 2001).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais, reagentes e instrumentos utilizados na desenvoltura desse trabalho foram os encontrados no laboratório de química orgânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, fornecidos pelo orientador desse trabalho. Os reagentes, de maneira geral, são de marcas comerciais e grau analítico. Abaixo encontra-se dispostos os materiais e métodos utilizados.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Vidraria e Utensílios Materiais

- Béqueres;
- Provetas;
- Buretas;
- Pipeta automática;
- Balão volumétrico;
- Picnômetro;
- Elermeyer;
- Funil de decantação.

4.1.2 Equipamentos e Instrumentação em Geral

- Balança analítica;
- Refratômetro Abbe;

4.1.3 Reagentes e Solventes

- Acetato de Etila;
- Hexano;
- Hidróxido de sódio,
- Hidróxido de potássio
- Biftalato de potássio.
- Água destilada.

4.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada nesse trabalho foi dividida em quatro etapas, como segue:

- 4.2.1) Refratometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila;
- 4.2.2) Picnometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila;
- 4.2.3) Hidrólise Básica com NaOH;
- 4.2.4) Hidrólise Básica com KOH.

4.2.1 Refratometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila

Preparou-se ao todo 21 soluções de 2 mL com Hexano e Acetato de Etila, utilizando uma pipeta automática. A primeira amostra foi composta apenas por Hexano 100% em volume e a última apenas com Acetato de Etila. As amostras intermediárias foram diluições do Hexano em Acetato de Etila, variando 5% do volume total em ambas, como segue na Tabela 4.

Tabela 4 – Porcentagens para 10 mL de Hexano e Acetato de Etila

(continua)

Amostras	% Hexano	% Acetato de Etila
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25
7	70	30
8	65	35
9	60	40
10	55	45
11	50	50
12	45	55
13	40	60
14	35	65
15	30	70
16	25	75
17	20	80

Tabela 4 – Porcentagens para 10 mL de Hexano e Acetato de Etila

(conclusão)

Amostras	% Hexano	% Acetato de Etila
18	15	85
19	10	90
20	5	95
21	0	100

Fonte: Autoria própria.

Cada uma das amostras foi então analisada no refratômetro tipo Abbe, devidamente calibrado com água destilada, utilizando uma pequena alíquota sobre a superfície de vidro do aparelho. O refratômetro deve ser posicionado na bancada de forma que a luz solar alcance toda sua superfície. A medida deve ser realizada logo após a solução ser feita, descartando-a posteriormente.

4.2.2 Picnometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila

Para a análise da densidade, pesou-se o picnômetro vazio de 25 mL em uma balança analítica. Logo após foram feitas 11 soluções, variando-se os volumes de Hexano e Acetato de Etila como na etapa anterior. A primeira amostra contará com 100% de Hexano e gradualmente será diluída em contraponto com o acetato, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Porcentagens para 25 mL de Hexano e Acetato de Etila

Amostras	% Hexano	% Acetato de Etila
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30
5	60	40
6	50	50
7	40	60
8	30	70
9	20	80
10	10	90
11	0	100

Fonte: Autoria própria.

Para confeccionar as soluções, foram utilizadas duas buretas de 50 mL com Hexano e Acetato de Etila, respectivamente. As soluções serão inseridas no picnômetro de 25 mL até completar totalmente seu volume. Cada conjunto foi pesado em uma balança analítica, os dados reservados e logo após a solução foi descartada.

4.2.3 Hidrólise Básica com NaOH

4.2.3.1 Preparo das soluções de NaOH

Preparou e padronizou-se três soluções de NaOH com concentrações diferentes.

Pesou-se cada massa de NaOH em uma balança analítica, transferiu para um balão volumétrico de 500 mL e completou-se com água destilada até o menisco, por fim agitou a solução para homogeneizá-la. Armazenou as soluções padronizadas em recipientes plásticos.

Para padronizar a solução de NaOH, calculou a massa de padrão primário necessário para neutralizar 20 mL de NaOH recém preparado, utilizando a equação (3). Para este trabalho usou o biftalato de potássio ($C_6H_4CO_2HCO_2K$).

Após a pesagem numa balança analítica, adicionou o padrão a um elermeyer somado a 30 mL de água destilada. Com a solução homogênea, pingou duas gotas do indicador fenolftaleína. Esse processo deve ser feito para cada amostra de NaOH específica.

Em seguida, titulou com a solução de NaOH antes preparada, usando-se uma bureta de 50 mL. O procedimento de padronização deve ser feito em duplicata para cada umas das concentrações desejadas, para obter uma maior confiabilidade dos resultados.

A metodologia adotada para as hidrólises com KOH foi análoga a metodologia para o NaOH, explicada acima.

4.2.3.2 Reação da hidrólise básica

Montou um sistema com três buretas de 50 mL na bancada, contendo soluções de Acetato de Etila e Hexano, ambas com concentração de 1 mol.L^{-1} ,

e de NaOH, respectivamente. Em um elermeyer, deverá ser despejada, das buretas, 50 mL de cada substância, deixando o NaOH para ser transferido por último. De maneira rápida, cobriu o orifício do elermeyer com filme plástico para evitar volatilização e agitou por cinco minutos.

Após o tempo estimado, transferiu-se a mistura para um funil de decantação, e após alguns minutos de espera separou as fases. A fase mais densa deverá ser transferida para um picnômetro, previamente pesado vazio. O conjunto picnômetro-fase deverá ser pesado numa balança analítica e seus dados reservados. O processo deve ser feito para as três concentrações diferentes de bases (NaOH e KOH).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados de Refratometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila

As análises de refratometria objetivaram nesse trabalho possibilitar a coleta de dados para plotagem gráfica de uma curva de refratometria que correlacionasse percentual de Hexano na mistura de Hexano e Acetato de Etila com o seu Brix. Os dados foram coletados em temperatura de 24°C e os diferentes valores estão mostrados na Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 – Resultado da coleta de dados de Brix e Índice de refração, pelo refratômetro.

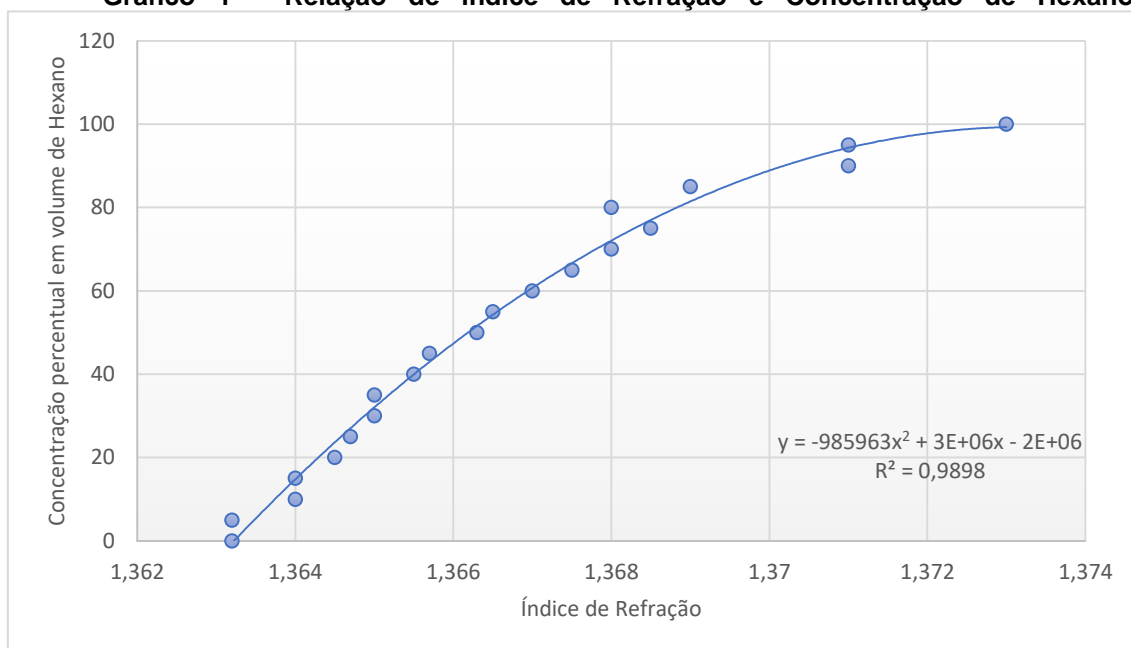
% Acetato	% Hexano	Brix	Índice de Refração
0	100	25,50	1,3730
5	95	24,25	1,3710
10	90	24,25	1,3710
15	85	23,25	1,3690
20	80	22,75	1,3680
25	75	22,70	1,3685
30	70	22,25	1,3680
35	65	22,00	1,3675
40	60	21,77	1,3670
45	55	21,74	1,3665
50	50	21,50	1,3663
55	45	21,25	1,3657
60	40	21,00	1,3655
65	35	21,00	1,3650
70	30	20,63	1,3650
75	25	20,50	1,3647
80	20	20,00	1,3645
85	15	20,00	1,3640
90	10	20,00	1,3640
95	5	19,80	1,3632
100	0	19,80	1,3632

Fonte: Autoria própria.

Com os dados da Tabela 4 foi possível a construção de um gráfico correlacionando a porcentagem em volume de Hexano em solução frente ao

Acetato de Etila e o Índice de Refração medido, respectivamente. Assim, construiu-se o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Relação de Índice de Refração e Concentração de Hexano.



Fonte: Autoria própria.

Com o Gráfico 1, pode-se concluir que quanto menor a presença de Hexano na solução, menor é o índice de refração. Temos assim uma relação entre as variáveis. Por meio do gráfico é possível plotar uma tendência polinomial que nos mostra a relação de ambas as propriedades o que gera um R^2 de 0,9898. Diante disso, esse valor indica que esse modelo matemático descreve de maneira adequada essa inter-relação entre as variáveis analisadas nos eixos do gráfico.

5.2 Resultados de Picnometria das Soluções de Hexano com Acetato de Etila

Partindo do mesmo princípio de compreender e analisar a relação entre propriedades, mediu-se as densidades de misturas com diferentes proporções de Hexano e Acetato de Etila, como mostra a Tabela 7.

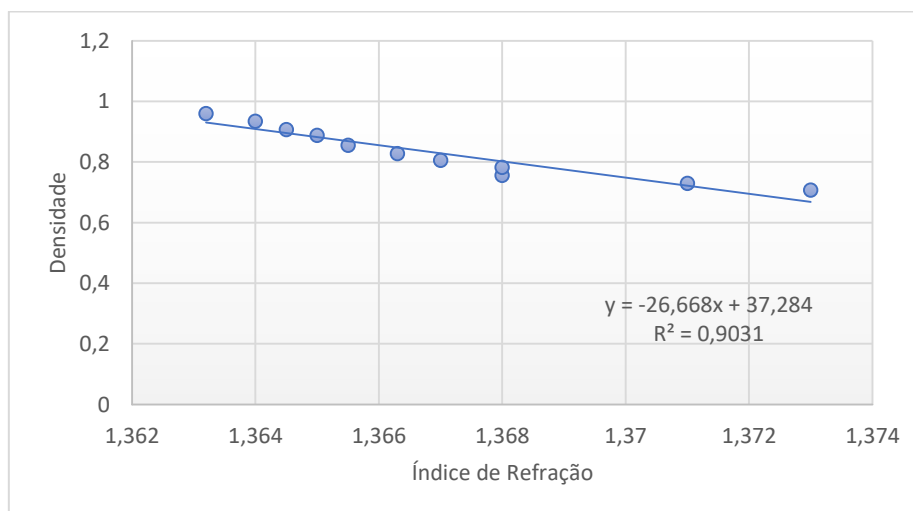
Tabela 7 – Medida de densidade de misturas com diferentes proporções de solução.

% Hexano	Picnometro + Solução (g)	Pic. (g)	Solução (g)	Densidade (g/mL)
100	47,8709	30,1722	17,6987	0,707948
90	48,4130	30,1722	18,2408	0,729632
80	49,0861	30,1722	18,9139	0,756556
70	49,7236	30,1722	19,5514	0,782056
60	50,3139	30,1722	20,1417	0,805668
50	50,8783	30,1722	20,7061	0,828244
40	51,5636	30,1722	21,3914	0,855656
30	52,3710	30,1722	22,1988	0,887952
20	52,8534	30,1722	22,6812	0,907248
10	53,5446	30,1722	23,3724	0,934896
0	54,1690	30,1722	23,9968	0,959872

Fonte: Autoria própria.

Por meio da Tabela 5 nota-se que com o aumento da concentração de Hexano a densidade da mistura diminui, ou seja, uma solução com 100% de Hexano em volume tem uma densidade menor que uma mistura de Hexano e Acetato de Etila. Isso se deve ao fato da densidade do Acetato de Etila ser maior. Quando comparamos o resultado acima com a escala de índice de refração encontrada na Tabela 4 pode-se criar uma relação linear entre os dados, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2: Relação dos dados coletados para densidade e índice de refração para diferentes proporções de mistura de Hexano e Acetato de Etila.



Fonte: Autoria própria.

A partir o Gráfico 2 podemos criar uma relação que nos mostra pelo valor da densidade o índice de refração da mistura analisada, ou vice-versa. Percebe-se que quanto maior é a pureza de Hexano em solução, mais próximo tendemos da sua densidade padrão. A densidade da solução com 100% Hexano foi de $0,707948 \text{ g.mL}^{-1}$, conforme já indicado na Tabela 7.

5.3 Resultado da Hidrólise Básica com NaOH.

As hidrólises foram feitas conforme descrito na metodologia desse trabalho e os dados foram interpretados através dos resultados de refratometria e densidade já apresentados anteriormente.

Padronizou-se três concentrações de NaOH para realizar as hidrólises, $0,4810 \text{ mol.L}^{-1}$, $0,7489 \text{ mol.L}^{-1}$ e $0,9610 \text{ mol.L}^{-1}$, os valores de índice de refração foram medidos nesse momento e estimados com eles os valores de densidade. Confirmou-se os valores de densidade estimados teoricamente pela curva do Gráfico 2 com picnometria, conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos dados de hidrólise com NaOH.

Conc. de NaOH (mol.L^{-1})	Picnometro + Solução (g)	Pic. (g)	Solução (g)	Índice de Refração	Densidade (g.mL^{-1})
0,4810	47,3948	30,1518	17,2430	1,3722	0,689720
0,7489	47,6730	30,1518	17,5212	1,3718	0,700848
0,9610	47,8170	30,1518	17,6652	1,3714	0,706608

Fonte: Autoria própria.

Através dos dados mostrados na Tabela 8, pode-se perceber que quanto maior a concentração de NaOH, a densidade e o índice de refração do Hexano tendem a ser mais próximos ao valor dessas variáveis para uma solução com 100% de Hexano que segundo a Tabela 7 é de $0,707948 \text{ mol.L}^{-1}$. Logo, para essa hidrólise a maior concentração da solução de NaOH testada, que foi de $0,9610 \text{ mol.L}^{-1}$, foi a melhor na recuperação de Hexano pós hidrólise.

5.4 Resultados da Hidrólise Básica com KOH.

Analogamente às hidrólises com NaOH, as hidrólises com KOH foram feitas conforme descrito na metodologia desse trabalho e os dados foram interpretados através dos resultados de refratometria e densidade já apresentados anteriormente.

Padronizou-se três concentrações de KOH para realizar as hidrólises, $0,4406 \text{ mol.L}^{-1}$, $0,7297 \text{ mol.L}^{-1}$ e $1,0929 \text{ mol.L}^{-1}$, os valores de índice de refração foram medidos nesse momento e estimados com eles os valores de densidade. Confirmou-se os valores de densidade estimados teoricamente pela curva do Gráfico 2 com picnometria, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados dos dados de hidrólise com KOH.

Conc. de KOH (mol.L ⁻¹)	Picnometro + Solução (g)	Pic. (g)	Solução (g)	Índice de Refração	Densidade (g/mL)
0,4406	44,3752	27,2562	17,1190	1,3724	0,684760
0,7297	44,9784	27,3222	17,6562	1,3716	0,706248
1,0929	45,4812	27,3152	18,1660	1,3708	0,726640

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados de hidrólise com o KOH pode-se notar que a densidade do Hexano se aproximou da densidade de uma solução de 100% de Hexano na concentração de 0,7297 mol.L⁻¹. Nesse sentido, para os valores de concentração de solução de KOH testados, esse foi o mais efetivo na hidrólise.

Nota-se na Tabela 9 que a densidade encontrada para a hidrólise realizada com KOH em concentração de 1,0929 mol.L⁻¹ está superior a densidade de 100% de Hexano, 0,707948 mol.L⁻¹, conforme a Tabela 7. O motivo dessa causa ainda é desconhecido e permanece sob investigação, mas pesquisas literárias apontam que isso é devido à densidade do etanol formado pós hidrólise, que é superior ao do hexano. Se a análise for relativa à índices de refração, percebe-se que ele também obedece ao perfil do índice do etanol. Uma forma de analisar e solucionar essas indagações é através de análises cromatográficas.

CONCLUSÕES

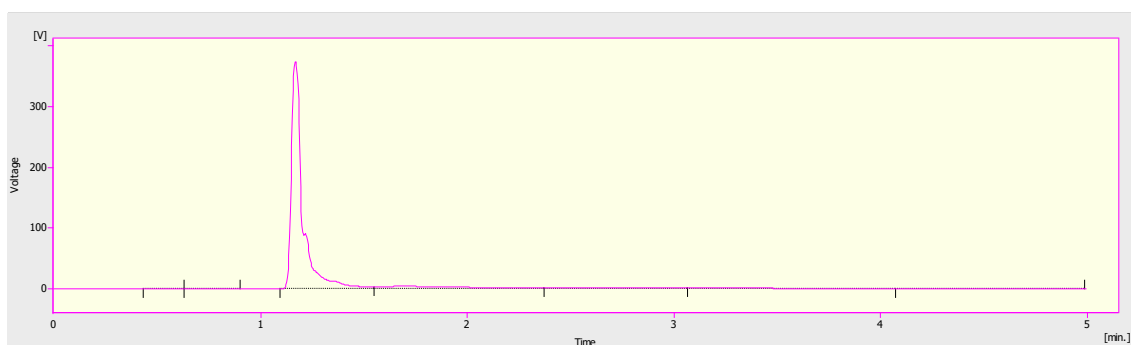
Esse trabalho cumpriu com os objetivos propostos. Além disso, mostrou uma metodologia relativamente barata e simples que pode ser aplicada nos laboratórios e indústrias para recuperar Hexanos utilizados em solução.

Os valores mais próximos da solução de 100% de Hexano para densidade foram o que nortearam a escolha das melhores hidrólises. Diante disso, a melhor condição de processo para o NaOH é na concentração para hidrólise de $0,9610 \text{ mol.L}^{-1}$ e para o KOH em $0,7297 \text{ mol.L}^{-1}$.

SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Sugere-se que na continuidade desse trabalho seja feita a análise cromatográfica do Hexano recuperado para validar instrumentalmente o método adotado. Algumas condições já foram testadas para tal. Usando o cromatógrafo gasoso CGYL-611GC da marca Allcrom, 6000 series, através de condições cromatográficas dada por uma isotérmica de 28 °C por 10 minutos, conseguiu-se separar os picos dos reagentes, conforme Figura 4, Figura 5 e Figura 6 abaixo, que representam o cromatograma do hexano, do acetato de etila e da mistura hexano e acetato de etila, respectivamente.

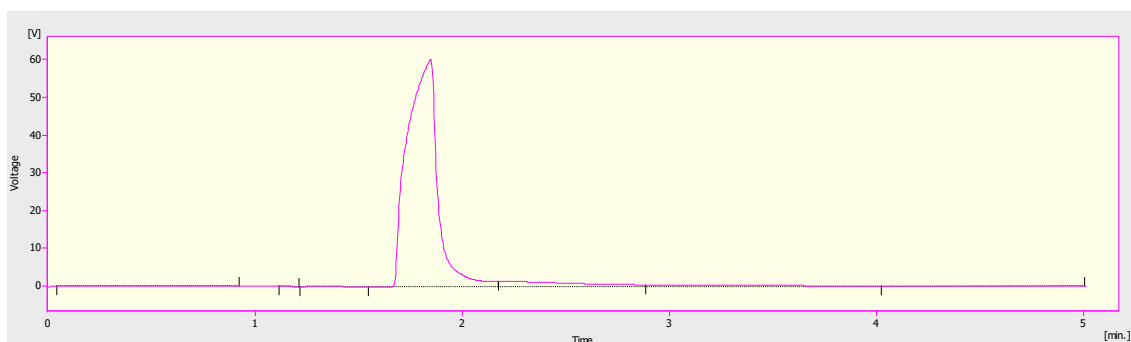
Figura 5 – Cromatograma representando o pico gerado pelo hexano.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 mostra o pico gerado pela amostra de hexano padrão analítico, como o utilizado nas hidrólises, separado pelo CG.

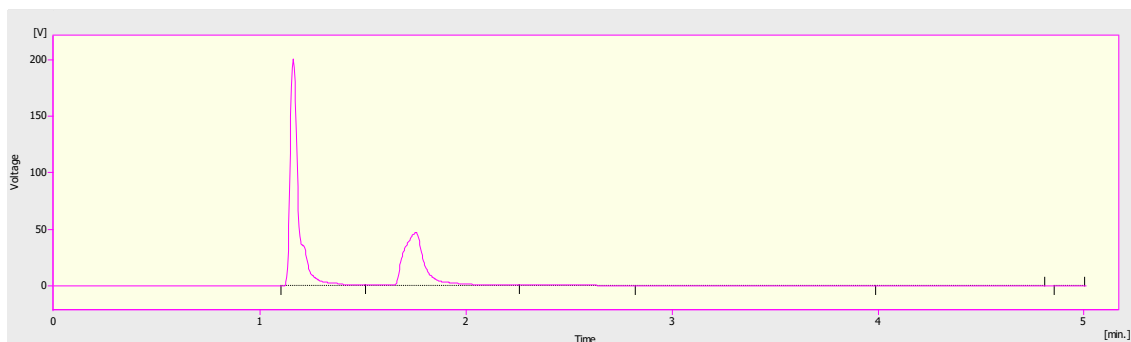
Figura 6 – Cromatograma representando o pico gerado pelo acetato de etila.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 mostra o pico gerado pela amostra de acetato de etila padrão analítico, como o utilizado nas hidrólises, separado pelo CG.

Figura 5 – Cromatograma representando o pico gerado pelo hexano.



Fonte: Autoria própria.

Com isso pode-se dizer que é possível analisar separadamente as amostras hidrolisadas pelo CG, mesmo com seus baixos pontos de ebulição dos reagentes estudados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Luciano F. P.; SEOUD, Omar.; ALVARENGA, Marden A.; VICENTINI, Geraldo.; YOSHIDA, Massayoshi.; LOPES FILHO, João C. **Fundamentos de Química Orgânica**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2001.

ATKINS, Peter; JONES, Loreta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

AZZINI, Anísio; TEIXEIRA, João P. F.; Moraes, Roberto M.; CAMARGO, Aparecido J. F. P.; Correlação entre o teor de sólidos solúveis do caldo e a densidade básica do colmo de cana. **Bragantia: Revista Científica do Instituto Agrônomo**. Campinas, v. 39, n. 5, 181 – 183, mar. 1980.

MARTINS, Cláudia R.; LOPES, Wilson A.; ANDRADE, Jailson B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**. Salvador, v. 36, n. 8, 1248-1255, jul. 2013.

BAUER, E. Paulo. **Metodologia e Procedimentos para a Consideração Ambiental no Projeto de Processos Químicos**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Área de Desenvolvimento de Processos Químicos, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2003.

BILA, D.; DEZOTTI, M. Pharmaceutical drugs in the environment. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523-530, ago. 2003.

BRUM, A. S. Aelson; ARRUDA, F. Lia, B. A. Marisa. Métodos de Extração e Qualidade de Fração Lipídica de Matérias-Primas de Origem Vegetal e Animal. **Química Nova**, Vol. 32, No. 4, 849-854, 2009.

BRUICE, Paula Y. **Química Orgânica**. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

CARDOSO, Mayara. **Reação de Saponificação**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/reacao-de-saponificacao/>>. Acesso em: 08 de mai. 2018.

CONFEA. Resolução no 218, de 29 de junho de 1973. Regulamenta as atribuições profissionais inseridos nos sistemas Confea/Crea. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=266>>. Acesso em: 10 de mai. 2018.

DIB, Luiz, F. G. **Refratômetro pela técnica de óptica ondulatória**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2015.

DIB, Luiz F. G.; BARBOSA, Eduardo A. Medidas de índice de refração de líquidos por redes de difração. **Boletim Técnico da FATEC-SP**. São Paulo, v. 41, 31 – 34, 2016.

DEAN, John A. **Analytical Chemistry Handbook**. 2 ed. Nova York: McGraw-Hill, 2004.

FREITAS, M. L.; SANTOS, R. A.; ALMEIDA, M. R. G. A.; **Estudo da Hidrolise Ácida e Enzimática do Amido da Farinha de Mandioca**. In: 57º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2017. Gramado, RS.

GANDHI, A. P.; Joshi, K. C.; KRISHNA, J.; Paribar, D. C.; SRIVASTAV, P. R.; Kawalkar, J.; JAIN, S. K.; TRIPATHI, R. N.; **Int. J. Food Science Technology**. 2003.

GHISELLI, G.; JARDIM, W. F. Interferentes endócrinos no ambiente. **Química Nova**, vol.30 n. 3, p. 695-700, 2007.

ICUMSA, Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar, 16th Session Proceedings, 1974.

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA. **Manual de instruções Refratômetro Abbe modelo RTA-100**. São Paulo: Instrutherm, 2016. p.8.

JARDIM, C. S. F. Isabel, et al. Métodos de Extração e/ou Concentração de Compostos Encontrados em Fluidos Biológicos para Posterior Determinação Cromatográfica. **Química Nova**, Vol. 24, No. 1, 68-76, 2001.

JORGE, Amanda C. **Recuperação de hexanos via hidrólise básica**. 2017. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

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: 18 de maio, 2018.

LEVINE, Ira N. **Físico-química**. 6. ed. São Paulo: LTC, 2012.

MAGALHÃES, Felipe A. **Cana-de-açúcar ensilada com diferentes graus de Brix com ou sem óxido de cálcio e silagem de milho em dietas para bovinos de corte**. 2010. 128 f. Dissertação (Pós-graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MARIANO, Jacqueline B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. 2001. 279 f. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MCMURRY, John. **Química Orgânica Combo**. 5. ed. São Paulo: Thomson, 2005.

MORAIS, Marcilio M.; PINTO, Luiz A. A.; ORTIZ, Scheila C. A.; CREXI, Valéria T.; SILVA, Rodrigo L.; SILVA, Janaína D. Estudo do processo de refino do óleo pescado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. Porto Alegre, 60(1), 23 – 33, 2001.

NETZ, Paulo A.; ORTEGA, George G. **Fundamentos de físico-química**: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PARAÍSO, Paulo R.; ANDRADE, Cid M. G.; ZEMP, Roger J. Destilação da miscela II: modelagem e simulação do *stripping* do hexano. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 25(1), 37 – 44, mar. 2005.

PEDROSO, Marcio P.; GODOY, Luiz A. F.; FIDELIS, Carlos H. V.; FERREIRA, Ernesto C.; POPPI, Ronei J.; AUGUSTO, Fabio. Cromatografia gasosa bidimensional abrangente (GC x GC). **Química Nova**. Campinas, v. 32, n. 2, 421-430, nov. 2009.

PERRONE, Ítalo T.; STEPHANI, Rodrigo. **Doce de leite**: Aspectos tecnológicos. ed. 1. São Paulo: Varela, 2011.

PERUZZO, M. Francisco; CANTO, L. Eduardo. **Química na Abordagem do Cotidiano**. 4. ed. São Paulo, 2006.

REIS, Martha. **Química Integral**: Volume Único. 1. ed. São Paulo: Bela Vista, 1993.

RIBEIRO, Ana P. B. **Recuperação de solvente em misturas de óleo de soja/hexano utilizando tecnologia de membranas**. 2005. 185 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ROSSI, Adriana T.; MASSAROTTO, Alexandra M.; GARCIA, Fabiubla B. T.; ANSELMO, Gisele R. T.; MARCO, Inara L. G.; CURRALERO, Isabel C. B.; ZANINI, Silvana M. C.; TERRA, Juliana. Reflexões sobre o que se ensina e o que se aprende sobre Densidade a partir da Escolarização. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 30, 55 – 60, nov. 2008.

SAWADA, Mirian, M. **Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja: cinética de extração e índices de qualidade**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV: ótica e física moderna**. 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2009.

SHONNARD, R. David; ALLEN, T. David. Green Engineering: Environmentally Conscious Design. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 38, p. 1171-1173, 2002.

SHREVE, R. Norris; BRINK JR., A. Joseph. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. São Paulo: Guanabara, 1956.

SIKDAR, K. Sabbas; ELHALWAGI, Mahmoud. **Process Design Tools for the Environment**. 1. ed., 2001.

SKOOG, Douglas A.; WEST, Donald M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, Stanley R. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

SILVA, Carla G. A.; COLLINS, Carol H. Aplicações de cromatografia líquida de alta eficiência para o estudo de poluentes orgânicos emergentes. **Química Nova**. Campinas, v. 34, n. 4, 665-676, fev. 2011.

SILVA, Gláucia, M.; VALIM, João B. Apostila de fundamentos de química experimental. **USP**. Ribeirão Preto, 2017.

SIMAS, Naomi K.; LIMA, Elisangela C.; CONCEIÇÃO, Scheila R.; KUSTER, Ricardo M.; OLIVEIRA FILHO, Alfredo M. Produtos naturais para o controle da transmissão da dengue – atividade larvicida de *myroxylon balsamum* (óleo

vermelho) e de terpenóides e fenilpropanóides. **Química Nova**. Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, 46-49, 2004.

STINGHEN, O. Amílcar. **Análise de Flexibilidade e Operação de Processos Químicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Departamento de Processos Químicos, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 1992.

TONGINHO FILHO, D. O.; ZAPPAROLI, F. V.; PANTOJA, J. C. S. Índice de Refração. **UEL**. Londrina, 2008.

TONHI, Edivan; COLLINS, Kenneth E.; JARDIM, Isabel C. S. F.; COLLINS, Carol H. Fases estacionárias para cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa (CLAE-FR) baseadas em superfícies de óxidos inorgânicos funcionalizados. **Química Nova**. Campinas, v. 25, N. 4, 616-623, out. 2002.

VASCONCELOS, Kamilla. L.; SOARES, Jorge B. Influência do Percentual de Fresado e do Envelhecimento de Curto Prazo na Dosagem de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. **XVII Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Transportes**, Florianópolis, v.I, p. 186-198, 2004.

VIANA, H. Luiz, et al. **Processo Químico Industrial de Extração de Óleo Vegetal: Um Experimento de Química Geral**. Departamento de Química, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 1999.

VOLLHARDT, K. Peter C.; SCHORE, Neil E. **Química Orgânica: Estrutura e função**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.