



Universidade Federal do Pampa
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS BAGÉ
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**PRODUÇÃO DE OLIGÔMEROS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
MONÔMERO L-LACTATO**

SUÉLEN SILVEIRA FUNARI

BAGÉ, 2013.

SUÉLEN SILVEIRA FUNARI

**PRODUÇÃO DE OLIGÔMEROS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
MONÔMERO L-LACTATO**

Trabalho de conclusão de curso, do curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

ORIENTADOR: Prof: Dr: Fernando Junges (Doutor em Química Inorgânica com ênfase em catálise)

BAGÉ, 2013.

SUÉLEN SILVEIRA FUNARI

**PRODUÇÃO DE OLIGÔMEROS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO
MONÔMERO L-LACTATO**

Trabalho de conclusão de curso, do Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

Trabalho de conclusão de curso, defendido e aprovado em: 10 de maio de 2013.
Banca examinadora:

Prof: Dr: Fernando Junges
Doutor em química com ênfase em Catálise
UNIPAMPA

Prof: Dr: Débora Simone Figueredo Gay
Doutora em Química com ênfase em Físico-Química de materiais
UNIPAMPA

Prof: Dr: Elenilson Freitas Alves
Doutor em Química com ênfase em Química Orgânica
UNIPAMPA

Aos meus pais Ruy e Gisélia, minha irmã Quelen e sua família, ao meu esposo Alex, que de forma especial e carinhosa sempre me deram força e coragem nos momentos de dificuldade, com sua compreensão e palavras de apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre em meu caminho, guiando-me para as escolhas certas.

Aos meus pais Ruy e Gisélia, que foram a base de tudo em minha vida, ajudando-me nos momentos difíceis, com amor e confiança, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

A minha irmã Quelen e sua família, que apesar da distância, estão sempre presente de coração me iluminando de maneira especial.

Meu esposo Alex que é minha segurança em todos os momentos, com carinho, cumplicidade, confiança e amor, tornou suportáveis os momentos de ausências e dificuldade.

Aos meus compadres e comadres, afilhados, Tia Beti, Eone e Sidney pelo apoio e confiança que serem dedicaram a mim, fazendo com que não desanimasse e nunca perdesse a fé.

Às minhas amigas Luciane Cruz e Lisiane Miranda, pelos incansáveis momentos dedicados a me ouvir, por estar presente em distintos e importantes momentos de minha vida.

Aos meus amigos de graduação do curso em especial a Valéria Pintos, Melina Borges, Quelen Faria, Juliana Wagner, Rafael Mesquita, Shelly Duarte, Carla Trassante, Samara Vaz e Içara Bajadares, pelos momentos de descontração, convívio, amizade, compreensão e estudos. Ao PIBID-Química/2009, por tantos momentos de aprendizagem e descontração, com certeza foi muito significativo fazer parte deste grupo.

Aos técnicos do laboratório de química da UNIPAMPA, Cíntia Boldt, Candice Dias e Leandro Peter, Lúcia Leitão, e ao colega de instituição, Erick Fernandes pelas ajudas nas práticas realizadas, que com todo carinho ensinaram-me e deram-me suporte, para realização deste trabalho, pessoas estas que além de técnicos são amigos que levarei para sempre em meu coração.

A Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre - RS), pela doação do L-lactato (98%) cedido pela UFRGS; a UFPel - Universidade Federal de Pelotas (Pelotas – RS) por intermédio da Dr. Paloma Cardoso da Rosa, ter disponibilizado o clorofórmio deuterado (CDCl₃). Ao Prof. Dr^o Nilo Zimmermann pelas ajudas nas técnicas em RMN.

E não deixando de agradecer de forma grandiosa ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Junges, profissional de grande admiração e competência que com paciência orientou-me da melhor maneira possível e por ter compartilhado seu conhecimento, a este meu muito obrigada!

“Têm coisas que tem seu valor,
avaliado em quilates, em cifras e fins...
E outras não têm o apreço, nem pagam o
preço que valem pra mim”.

Luiz Marengo

RESUMO

A utilização de plásticos vem aumentando a cada ano, gerando em torno de 20% do seu volume total de resíduos. Diante desta realidade surge uma nova classe de polímeros, os biopolímeros/bioplásticos (polímeros biodegradáveis) estes, se degradam mais rapidamente no ambiente natural. Este tipo de plástico nos dias atuais no mercado internacional é pouco explorado, sendo que na área ambiental é um produto bastante valorizado pela sua capacidade de degradação. O L-Lactato é um monômero usado nas reações de polimerização, tendo como FeCl_3 .anidro um eficiente sistema catalítico usado em reações de polimerização, na formação do poli-L-lactato, podendo ser utilizada no mercado industrial obtendo assim muitos benefícios ecológicos por serem biodegradáveis, algumas de suas aplicações são: aditivos poliméricos, co-polímeros, adesivos, revestimento, toners de impressora, surfactantes e outros.

Palavras-chave: L-Lactato, polímeros, biodegradável

ABSTRACT

Plastic usage has been increasing yearly, boosting around 20% of its total amount as waste. Facing such reality, a new type of polymers, the biopolymers/bioplastic ones (biodegradable polymers) they have a fast degradation while on natural environment. Nowadays, this kind of plastic has not been being used in a great extent in the international market, being that in the environmental business it is a well explored and valued product due to its degradation capacity. The L-lactate is a monomer used in the polymerization reaction, having the FeCl_3 anhydrous, is an efficient catalytic system used in the polymerization reaction, during the poly-lactate formation, which might be used in the industrial market, thus Having ecological benefits because they are biodegradable. Some of its usage is: polymeric additives, copolymers, adhesives, coating, toners cartridge, surfactants among others.

Keywords: L-Lactate, polymers, biodegradable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Molécula do polietileno.....	13
Figura 2: Estrutura molecular do L-Lactato.....	13
Figura 3: Esquematização de um cromatograma em CCD.....	16
Figura 4: Ordem crescente de eluição dos solventes.....	17
Figura 5: Cuba cromatográfica em vapor de lodo ressublimado - A , B e C...22	
Figura 6: Mecanismo da reação da formação do poli(L-lactato).....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de polaridade dos solventes.....	18
Tabela 2: Catalisadores testados.....	19
Tabela 3: Quantidades utilizadas no primeiro teste de polimerização.....	19
Tabela 4: Quantidades utilizadas no segundo teste de polimerização.....	20

ÍNDICE

1.INTRODUÇÃO.....	12
2.OBJETIVOS.....	15
2.1.GERAL.....	15
2.2.ESPECÍFICO.....	15
3.CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS POLIMÉRICOS.....	16
3.1. Ressonância Magnética Nuclear (RMN).....	16
3.2. Cromatografia em camada delgada de sílica gel (CCD).....	16
4.REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO.....	17
5.FORÇA ELUTRÓPICA E POLARIDADE DOS SOLVENTES.....	17
6.METODOLOGIA.....	19
7.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
8.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
10. ANEXOS.....	27

1. INTRODUÇÃO

O grande objetivo de se desenvolver materiais poliméricos, até pouco tempo atrás, eram as suas propriedades (principalmente a durabilidade), versatilidade de uso e preço. Portanto, estes apresentavam uma grande variedade de aplicações¹, tanto na produção de sacos, quanto no processamento de comidas, transporte, e até mesmo em produtos empregados na farmacologia, eletrônica, fibra ótica para as redes de dados de transmissão.

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina, e outras². As fontes renováveis são assim conhecidas por possuírem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar. Alguns fatores ambientais e sócio-econômicos que estão relacionados ao crescente interesse pelos biopolímeros são: os grandes impactos ambientais causados pelos processos de extração e refino utilizados para produção dos polímeros provenientes do petróleo, a escassez do petróleo e aumento do seu preço³.

Os materiais sintéticos são muito resistentes a degradação natural (em geral, levam mais de 100 anos para a degradação total)⁴, o que torna a sua utilização um problema de ordem mundial⁵. Estima-se que o consumo per capita de plásticos no mundo é de 19kg⁶, sendo que nos EUA é de 80kg, na Europa é de 60kg⁷ e na Índia é de apenas 2kg⁷. Os mais utilizados, atualmente são polietileno (PE- Figura 1) pode-se observar a estrutura de um monômero, de um mero formador do polímero e da molécula do polietileno, onde o etileno é o monômero que, após reagir com várias outras moléculas iguais a ele, forma o polímero polietileno, ou, simplesmente, PE. A reação química para obtenção do polímero é denominada polimerização⁸, polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(tereftalato de etileno) (PET) e poli(cloreto de vinila) (PVC) que geram uma grande quantidade de resíduos através de seus descartes⁹.

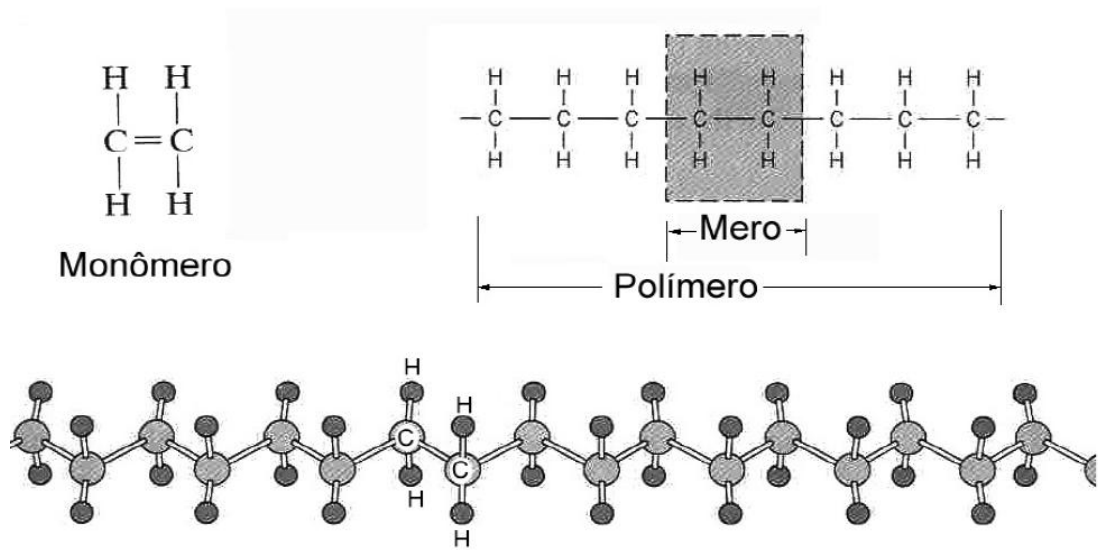


Figura 1: Molécula do polietileno. (Fonte: PMT 2100 – Introdução à Ciência dos Materiais – Nicole R. Demarquete, USP)

Frente a esta realidade, foi descoberto há cerca de 10 anos, os plásticos biológicos ou bioplásticos, ou plásticos biodegradáveis¹⁰, estes hoje ainda têm uma participação mínima no mercado internacional¹¹. Estes materiais podem sofrer degradação sob diferentes formas¹² e sob ação de microorganismos apresentando bastante interesse em aplicações na área ambiental.

O L-Lactato (figura 2) é usado como monômero (*do grego, mono=uma; meros=parte*) para reações de polimerização, ou seja, é a unidade base para formação do poli-L-Lactato.

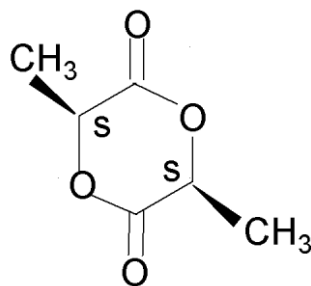


Figura 2: Estrutura molecular do L-Lactato.

Composto de fórmula molecular $C_6H_8O_4$ e peso molecular 144,13 g mol⁻¹. Também conhecido como 1,4-dioxano-2,5-diona,3,6-dimetil-,(3S-cis)-, pdioxano-2,5-diona,3,6-dimetil-,L-3,6-dimetil-,(3S,cis); Dilactide-(-)-lactato,L-dilactide;Purasorb L.

Sua densidade é de 1,186 g/cm³, e seus pontos de fusão, ebulição e inflamação respectivamente são de 92-94°C, 285,5 °C a 760 mmHg e 150,6°C. Apresenta uma aparência cristalina, e registro no Inventário Europeu das substâncias químicas existentes no mercado (EINECS) sob o número 224-832-0¹³.

Polímeros são formados a partir da reação de polimerização, que caracteriza-se pela ocorrência de reações químicas intermoleculares pelas quais os monômeros são ligados na forma de meros à estrutura molecular da cadeia¹⁴. Estes monômeros são moléculas consideravelmente pequenas que possuem capacidade de ligar-se a outros monômeros, podendo ser classificados como polímeros de alto peso molecular, e polímeros de baixo peso molecular, que denominam-se oligômeros.

O L-Lactato, quando submetido à reação de polimerização em um sistema catalítico, forma estruturas moleculares denominadas polilactatos, neste caso, Poli-L-lactato, podendo ser utilizada no mercado industrial obtendo assim muitos benefícios ecológicos por serem biodegradáveis, algumas de suas aplicações são: aditivos poliméricos, co-polímeros, adesivos, revestimento, toners de impressora, surfactantes e outros¹⁵.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Aplicar o complexos de FeCl_3 .anidro como sistema catalítico na produção de novos materiais poliméricos biodegradáveis (polilactatos), principalmente L-Lactato, que apresentam propriedades químicas e físicas diferenciadas.

2.2. ESPECÍFICOS

- Realizar pesquisas fundamentais, combinando estudos experimentais com estudos teóricos dos compósitos poliméricos;
- Testar diferentes meios reacionais para produção dos materiais poliméricos;
- Caracterizar os polímeros ou oligômeros produzidos a partir da reação de polimerização do L-Lactato.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS POLIMÉRICOS

3.1. Ressonância magnética nuclear (RMN):

É a técnica baseada na medição de absorção radiação de rádio frequência por um núcleo em campo magnético forte. A absorção da radiação faz com que o spin nuclear se alinhe ou gire em direção à maior energia. Embora que na maioria das vezes não é possível analisar o núcleo de muitos elementos por esta técnica, ela permite estudar as moléculas orgânicas pela presença dos isótopos do Carbono 13 (^{13}C) e hidrogênio 1 (^1H). Apresentando assim a posição dos carbonos e os locais onde os hidrogênios estão ligados a ele, revelando a estrutura de determinada molécula.

3.2. Cromatografia em camada delgada de sílica gel (CCD):

A cromatografia em CCD (figura 3), é um método físico-químico de separação, que ocorre quando estão presentes diferentes tipos de interações entre duas fases imiscíveis, conhecidas como a fase móvel e a fase estacionária.

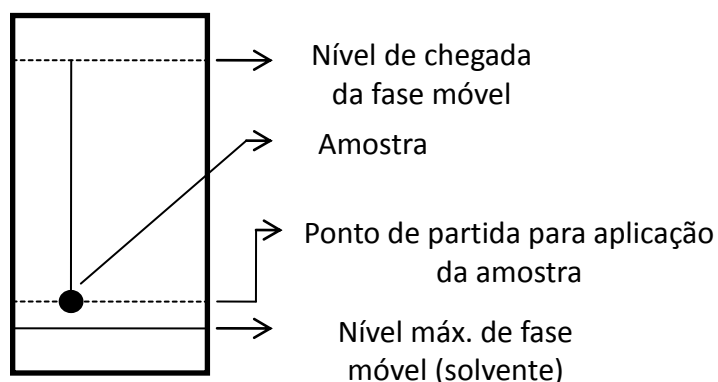


Figura 3: Esquematização de um cromatograma em CCD.

Especificamente a CCD, é uma técnica líquido-sólido, nesse caso a separação ocorre pela diferença de afinidade dos componentes de uma mistura pela fase estacionária, sendo esta uma técnica simples e rápida, com resultados satisfatórios nas análises.

4. REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO

As reações para produção dos polímeros ou oligômeros, foram conduzidas em tubos de Schlenk's, e sistema catalítico Cloreto férrico anidro P.A – A.C.S, Fórmula molecular = FeCl_3 .anidro, P.M= 162,38g/mol, Ponto de fusão = 306°C [Marca – Labsynth Produtos para Laboratório Ltda] e para a caracterização do L-Lactato fez-se uso de Ressonância Magnética Nuclear (RMN- Espectrômetro FT-NMR Anasazi Eft-60 - 60 MHz para ^1H , com magneto permanente Anasazi Instruments, Inc., Indianápolis, IN) em solvente CDCl_3 , e a evidência da formação do poli-L-Lactato foi observada pela técnica em RMN e em CCD - sílica gel [Marca Macherey-Nagel GmbH & Co. KG] e Cubas cromatográficas de vidro sob revelação de Iodo ressublimado P.A – A.C.S, Fórmula molecular = I_2 , Teor mínimo = 99,8%, Máximo de impureza: Cloro e bromo (como Cl) = 0,005% e matérias não voláteis = 0,01%, [Marca – Labsynth Produtos para Laboratório Ltda].

5. FORÇA DE ELUTRÓPICA E POLARIDADE DOS SOLVENTES

Para escolha dos solventes em CCD, é necessário saber a força de eluição dos solventes (figura 4) e sua polaridade, a força de eluição, que fornece a medida de adsorção do solvente, no qual indica a facilidade do solvente formar ligações de hidrogênio com as moléculas a serem separadas.

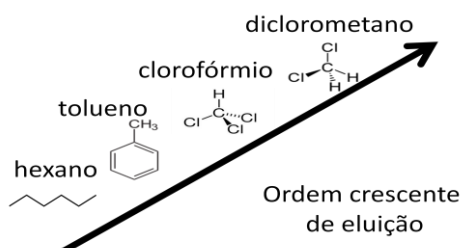


Figura 4: Ordem crescente de eluição dos solventes.

A polaridade dos solventes (tabela 1) é a capacidade que o solvente possui, ao permitir a dispersão de outra substância em seu meio, podendo ser caracterizado como solventes polares e solventes apolares.

Para as técnicas em CCD, foram utilizados os seguintes solventes:

- Hexano P.A – A.C.S, Fórmula molecular = C_6H_{14} , P.M = 86,16 g/mol, Densidade = 0,66, [Marca: Dinâmica: Química Contemporânea Ltda].

- Tolueno P.A – A.C.S (American Chemical Society), Fórmula molecular = $C_6H_6CH_3$, P.M = 92,14 g/mol, Densidade = $0,867 \pm 0,002$, Água = 0,03%, [Marca - F.Maia Indústria e Comércio Ltda].

- Diclorometano P.A – A.C.S, Fórmula molecular = CH_2Cl_2 , P.M = 84,93 g/mol, Densidade = 1,320 – 1,328 g/mL a 20°C , Água = 0,02%, [Marca - F.Maia Indústria e Comércio Ltda].

- Clorofórmio P.A – Estabilizado com Amileno, Fórmula molecular = $CHCl_3$, P.M = 119,36 g/mol, Densidade = 1,470-1,490, Água = 0,02%, Amilenomax = 100 ppm [Marca: Quimesp química Ltda].

Tabela 1: Valores de polaridade dos solventes.

SOLVENTE	CONSTANTE DIELÉTRICA	DENSIDADE	MOMENTO DIPOLAR
Hexano (apolar)	1.88	0.655 g/mL	0.00D
Tolueno (apolar)	2.38	0.867 g/mL	0.36D
Clorofórmio (apolar)	4.81	1.498 g/mL	1.04D
Diclorometano (DCM) (polar)	9.1	1.3266 g/mL	1.60D

6. METODOLOGIA

Primeiramente realizou-se a análise da amostra L-Lactato (98%), através do espectro RMN, para confirmação de sua estrutura molecular, para a verificação utilizou-se uma alíquota de $8,32 \cdot 10^{-2}$ mol de L-Lactato (98%), em 0,5 mL de CDCl_3 , sendo que na leitura do espectro foi possível a confirmação da presença do L-Lactato (98%) na amostra, devido a formação de picos significativos.

Comprovada a estrutura molecular do L-Lactato (98%), iniciou-se a próxima fase de escolha dos catalisadores (tabela 2) a serem utilizados para que ocorresse a reação de polimerização, onde cloreto férrico anidro (FeCl_3 .anidro)¹⁶ mostrou-se um excelente sistema catalítico.

Tabela 2: Catalisadores testados.

CATALISADOR
FeCl_3 .anidro
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Método 1 (tabela 3): As quantidades que constam na tabela abaixo foram acondicionadas em Schenleks e colocadas sob agitação em agitador magnético pelo período de 24h na capela de exaustão.

Tabela 3: Quantidades utilizadas no primeiro teste de polimerização - método 1.

	Amostra 1	Amostra 2
L-Lactato (98%)	$2,789 \cdot 10^{-3}$ mol	$2,775 \cdot 10^{-3}$ mol
FeCl_3 anidro	$1,231 \cdot 10^{-5}$ mol	$1,416 \cdot 10^{-5}$ mol
Água	50 μL	50 μL
Tolueno	1,0 mL	1,0 mL

O método 1 teve como principal objetivo testar as condições reacionais de polimerização. Onde constatou-se que a presença do iniciador, neste caso a água, ocasionou interferências no processo de polimerização, pois obteve-se um excesso

de água, sendo que o tolueno também iniciador em sua formulação possui 0,03% de água.

Método 2 (tabela 4): As quantidades que constam na tabela abaixo foram acondicionadas em Schenleks, porém neste teste dobrou-se a quantidade do catalisador envolvido na tabela 2, mantendo na amostra 4 uma quantidade inferior do catalisador, para diferir entre as duas amostras, e conseqüentemente obter-se resultados diferentes e compará-los posteriormente.

Tabela 4: Quantidades utilizadas no segundo teste de polimerização – método 2.

	Amostra 3	Amostra 4
L-Lactato (98%)	$2,794 \cdot 10^{-3}$ mol	$2,705 \cdot 10^{-3}$ mol
FeCl₃.anidro	$2,648 \cdot 10^{-5}$ mol	$1,847 \cdot 10^{-5}$ mol
Tolueno	1,0 mL	1,0 mL

Agitou-se por 24h as amostras deixando-as em repouso por mais 24h, em capela de exaustão, e após o repouso, a amostra 3 manteve-se inalterada, entretanto a amostra 4 apresentou um líquido oleoso de cor amarelo claro, em meio a fase líquida de coloração amarelo límpido, sendo assim levada a refrigeração à 4,8°C. Decantou-se e fez-se a extração do líquido sobrenadante da amostra 4, para a extração usou-se hexano refrigerado a 4,7 °C, e agitando por 5 minutos, evidenciando o aparecimento de um líquido oleoso.

A amostra 4, foi submetida a análise em RMN, constatando picos evidentes, procedeu-se para a análise cromatográfica em placa de camada delgada de sílica gel (CCD), utilizando três diferentes solventes orgânicos com polaridades distintas, sendo eles clorofórmio, diclorometano e tolueno, após 45 minutos foram revelados em cuba cromatográfica com vapor de iodo ressublimado em capela de exaustão.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise realizada no RMN apresentou um espectro (anexo A) com picos afirmativos que a estrutura do produto de partida tratava-se do L-Lactato (98%). O monômero L-Lactato apresenta uma molécula simétrica, onde as metilas (CH_3) estão evidentes nos picos em dubletes entre 1- 2 ppm (média de 1.6765 ppm), sofrendo uma de desblindagem no espectro pelo efeito da carbonila ($\text{C}=\text{O}$) considerada retiradora de elétrons, as ligações com oxigênio (O) apresentam picos em quarteto entre 5-5.5 ppm (média de 5.048 ppm), fazendo com sua densidade eletrônica desblinde para esquerda.

O cloreto férrico anidro mostrou-se um excelente sistema catalítico para reação polimérica, uma vez que o solvente orgânico tolueno possui água em sua formulação, constatando que o excesso de água na reação auxiliou para não precipitação, mudança em sua coloração ou textura.

Decorridas estas afirmações, prosseguiu-se as análises sem adição de água, apenas com o produto de partida L-Lactato (98%), solvente orgânico tolueno e o catalisador cloreto férrico anidro, conforme a tabela 4.

Ocorrendo assim a formação de um líquido amarelo claro de textura oleosa, a mostra foi submetida a uma análise de RMN (60 MHz para ^1H), sob duas concentrações, em diferentes quantidades de clorofórmio deuterado, onde constatou-se o aparecimento de picos mais evidentes na amostra de maior diluição (anexo B), o espectro mostra 2 dubletes coincidentes entre 1.635-1.544 pmm (média de 1.5895 ppm) e dois quartetos 4-6.5 ppm que evidencia a clivagem da molécula entre o oxigênio e a carbonila, permitindo a liberdade de rotação das metilas de acordo com os dublets apresentados neste espectro.

A amostra 4 de L-Lactato (98%) sob ação do catalisador cloreto férrico, foi submetida a CCD, na presença de três diferentes solventes, sendo eles: clorofórmio P.A, diclorometano P.A e tolueno P.A; Os solventes foram escolhidos pelas suas polaridades e força de eluição, sendo possível remover os compostos do ponto de aplicação da amostra, separando os menos adsorvidos na fase estacionária dos mais adsorvidos.

Tratando-se de um composto de cor amarelo claro, foi necessária a revelação em vapor de iodo ressublimado, pois o iodo complexa-se com os compostos

insaturados, apresentando assim pontos escuros (figura 5), favorecendo a leitura dos resultados da CCD.

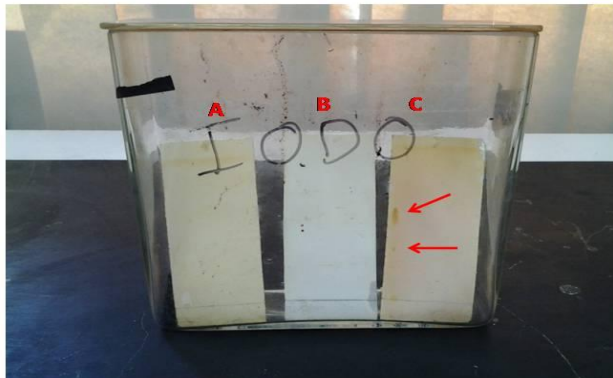


Figura 5: Cuba cromatográfica em vapor de Iodo ressublimado - A , B e C.

Dentre os solventes utilizados o tolueno por apresentar força de eluição igual a 0,29 e ser um solvente apolar, confirmou a separação do composto em dois sinais diferentes na placa de camada delgada de sílica gel, pode-se observar que a placa de CCD-C apresentou dois pontos escuros, evidenciando que a reação de polimerização ocorreu indicando que neste momento já não está somente o produto de partida L-Lactado (98%) e sim o poli (L-Lactato).

Esta reação ocorreu pela quebra do anel, favorecendo a formação do Poli(L-Lactato) que apresenta ponto de fusão 170°C, onde o cloreto férrico anidro é um ácido de Lewis razoavelmente forte, possui orbitais vazios, então recebe os pares eletrônicos fornecidos pelo cloro ocupando a sua valência, quebrando as ligações existentes entre os oxigênios e os carbonos, onde a função carboxílica faz com que os microorganismos degradem mais facilmente os materiais plásticos. Propõe-se que haja a complexação do cloreto férrico com o oxigênio (figura 6).

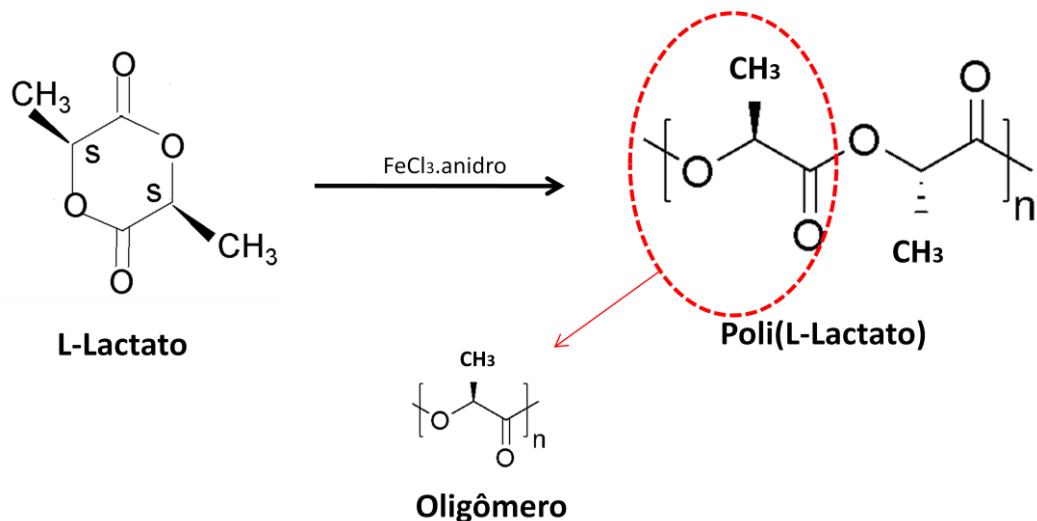


Figura 6: Mecanismo da reação da formação do poli(L-lactato).

Neste processo, ocorreu a ruptura do anel do L-Lactato, pela ação do cloreto férrico.anidro resultando na formação do poli(L-Lactato), que consiste no processo em que o anel de um monômero se abre formando uma cadeia linear, e também um crescimento em etapas¹⁷ caracterizada pela mistura de comprimentos intermediários, denominados oligômeros, que reagem entre si para formação de cadeias poliméricas mais longas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método 1 (tabela 3), teve como principal objetivo testar as condições reacionais de polimerização. Podendo assim concluir-se que o método 1 (tabela 3) em consequência do excesso de água que atuou na reação de polimerização como iniciador, não foi suficiente para que ocorresse a clivagem do anel, haja que o tolueno encontra-se com purificação de 0,03% de água.

A reação de polimerização do L-Lactado para poli(L-Lactato), se deu da forma esperada (tabela 4), porém ocorrendo a formação de um oligômero, retirando-se a 1µL de água, e permanecendo com o mesmo produto catalítico.

Portanto, obteve-se oligômeros pela reação do método 2 (tabela 4), onde ocorreu a clivagem do anel do L-Lactato, sob influência das condições reacionais, na presença do FeCl_3 .anidro.

Deste modo, foi possível unir os conceitos teóricos e práticos, para realização do processo de polimerização, onde os resultados realizados com os catalisadores sugeridos apontaram como o melhor sistema catalítico o FeCl_3 .anidro, exatamente por não conter em sua formulação a presença de água.

O produto obtido foi caracterizado por Ressonância Magnética Nuclear (RMN) (60 MHz para ^1H) em solvente CDCl_3 (clorofórmio deuterado) e Cromatografia em Camada Delgada em sílica gel(CCD), sendo que o produto usado para a separação foi o tolueno, onde evidenciou-se a formação do oligômero poli(L-Lactato), pelos resultados obtidos nestas técnicas de caracterização.

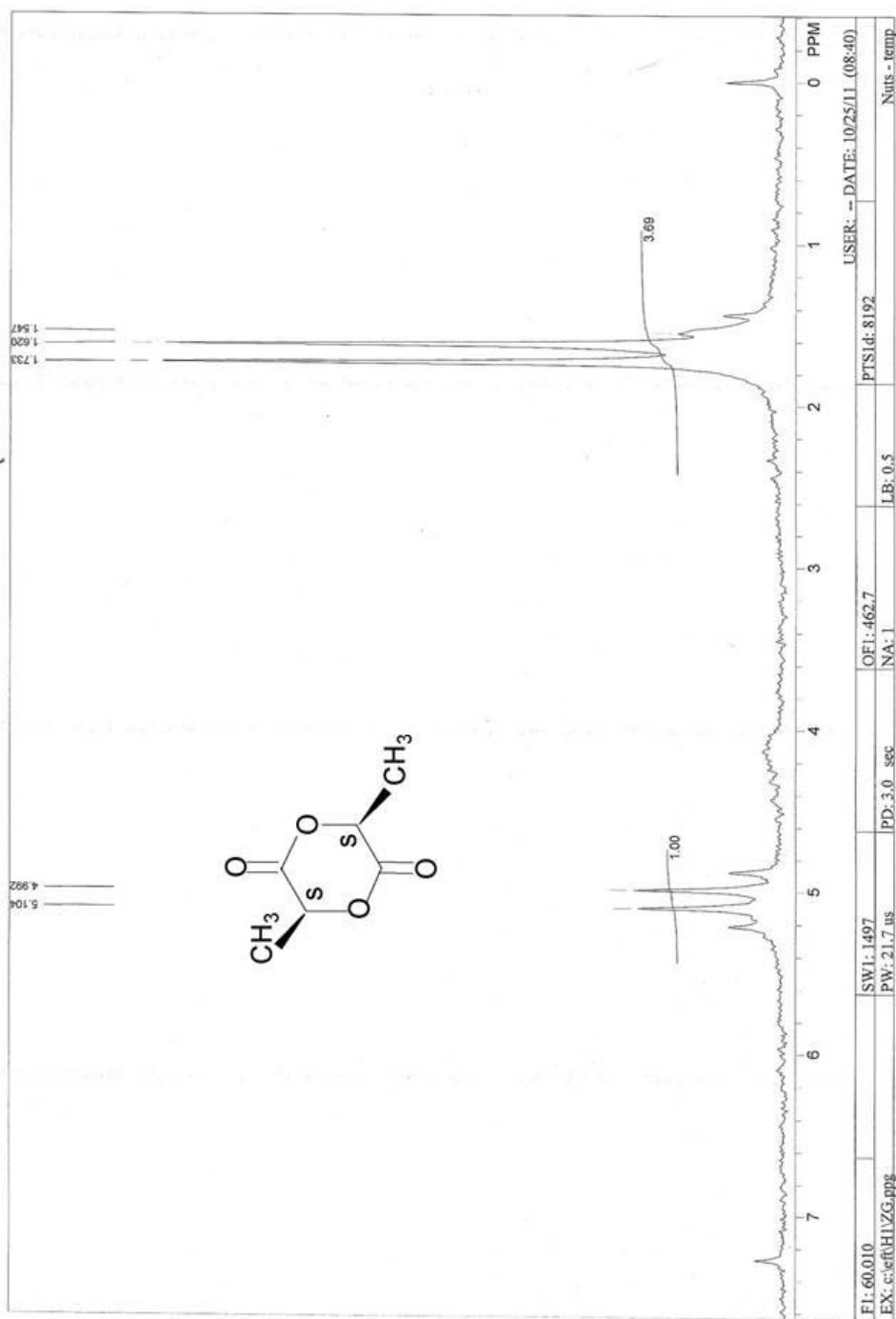
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Huang, S. J.; *J. Mat. Sci. - PureAppl. Chem.* **1995**, A 32, 493.
- [2] Norma ABNT NBR 15448-1. *Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis Parte 1: Terminologia* . **2008**
- [3] G. F. Brito, P. Agrawal, E. M. Araújo, T. J. A. Mélo. *Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.6.2 **(2011)** 127-139 ISSN 1809-8797. Disponível em: www.dema.ufcg.edu.br/revista. Acesso em: 10/03/2013
- [4] Rosa, D. S.; Lotto, N. T.; Guedes, C. G. F.; *Polym. Test.* **2004**, 23, 3.
- [5] Torikai , A.; Hasegawa, H.; *Polym. Degrad. Stab.* **1999**, 63, 441.
- [6] Shrivram, D.; *International Symposium on Biodegradation Polymers*, Hyderabad, Índia, 2001.
- [7] Kalia, V. C.; Raizada, N.; Sonakya, V.; *Bioplastics J. Sci. Ind. Res.* **2000**, 59, 433.
- [8] *Curso básico intensivo de plásticos*. Disponível em: <http://www.jorplast.com.br/secoes/aulas-5.htm>. Acesso em: 13/05/2013
- [9] Amass, W.; Amass, A.; Tighe, B.; *Polym.Int.* **1998**, 47, 89.
- [10] Reddy, C. S. K.; Ghai, R; Rashimi; Kalia, V. C.; *Bioresour. Technol.* **2003**, 87, 137.
- [11]Korner, I.; Redemann, K.; Stegmann, R.; *Waste Manag.***2005**, 25, 409.
- [12] Satoh, H.; Yoshie, N.; Yoshio, I. *Polymer*, **1994**, 35, n. 2, 286-289.
- [13] Look for Chemical. *Informações do L-Lactato*. Disponível em: <http://www.lookchem.com/cas-451/4511-42-6.html>. Acesso em: 21/04/2013
- [14] Nicole R. Demarquete. *Estrutura e propriedade dos polímeros*. PMT 2100 – Introdução a Ciência dos Materiais para Engenharia. Disponível em: <http://www.pmt.usp.br/pmt5783/Pol%C3%ADmeros.pdf> . Acesso em: 13/05/2013
- [15] Nature Works LLC. *Ingeo: ingenious materials from plants not oil*. Disponível em: <http://www.natureworksllc.com/Product-and-Applications/Lactides>. Acesso em: 13/04/2013
- [16] Ravikumar R. Gowda, Debashis Chakraborty.; *Environmentally benign process for bulk ring opening polymerization of lactones using iron and ruthenium chloride catalysts*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 301 **(2009)** 84–92

[17] Carey, Francis A. *Química Orgânica*. vol 2, 7^a Ed. Porto Alegre: AMGH, **(2011)**
1232-1233

ANEXOS

ANEXO A: Fórmula estrutural e espectro de RMN do L-Lactato como produto de partida.



ANEXO B: Espectro de RMN do L-Lactato polimerizado, denominado poli(L-Lactato).

