



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

ELLEN GOMES DE MATOS

**SÍNTESE DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR
DE RESÍDUO MADEIREIRO NA AMAZÔNIA**

**SANTARÉM - PA
2021**

ELLEN GOMES DE MATOS

**SÍNTESE DE BIOPOLIMERO A PARTIR
DE RESÍDUO MADEIREIRO NA AMAZÔNIA**

Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na área de concentração de Bioprospecção e Manejo de Recursos Naturais da Amazônia junto ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais da Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Roberval da Silva Pimentel

Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos

**SANTARÉM - PA
2021**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

M433s Matos, Ellen Gomes de
 Síntese de biopolímeros a partir de resíduo madeireiro na Amazônia. / Ellen
Gomes de Matos – Santarém, 2020.

83 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Manoel Roberval da Silva Pimentel

Coorientadora: Patrícia Soares Bilhaval dos Santos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia.

1. celulose. 2. biopolímeros. 3. biomassa florestal. I. Pimentel, Manoel Roberval da Silva, *orient.* II. Santos, Patrícia Soares Bilhaval dos, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 305.8098115

ELLEN GOMES DE MATOS

**SÍNTESE DE BIOPOLIMERO A PARTIR
DE RESÍDUO MADEIREIRO NA AMAZÔNIA**

Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais, na área de concentração de Bioprospecção e Manejo de Recursos Naturais da Amazônia junto ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais da Amazônia.

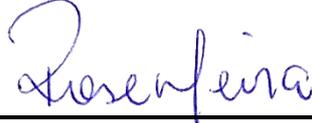
Conceito: 8,58

Data de aprovação: 14/07/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Thiago Almeida Vieira (Examinador)
Universidade Federal do Oeste do Pará



Prof. Dra. Rose Caldas de Sousa Meira (Examinadora)
Universidade Federal do Oeste do Pará



Prof. Dr. Lucinewton Silva de Moura (Examinador)
Universidade Federal do Oeste do Pará



Prof. Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos (Orientador)
Universidade Federal do Oeste do Pará



Prof. Dra. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos (Co-orientadora)
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir concluir mais esta etapa da minha vida.

As pessoas que ajudaram ao longo desse trabalho, Alline, Anselmo, Dinalva, Ernelisson e contribuíram para realização dessa pesquisa.

Aos meus amigos Alan, Aysla e Daniela, pela amizade e incentivos no estudo.

À minha namorada, amiga e parceira de todas as horas Eluiza, por estar comigo em todos os momentos difíceis, por sempre acreditar em mim, e por partilhar todas as felicidades que conquistamos.

Ao professor Roberbal e à professora Patrícia por terem aceitado me orientar nesse trabalho, sendo de fundamental importância para sua realização, assim como agradeço pelos ensinamentos e principalmente por ter me ajudado ao longo do percurso acadêmico no mestrado.

Aos técnicos Bruna Martins do laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Naturais Bioativos e Jeosafá Sousa do Laboratório de Microbiologia por terem me auxiliado nas atividades desta dissertação.

À CAPES pela bolsa de mestrado a mim concedida.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

O setor moveleiro produz todo ano uma grande quantidade de resíduos madeireiros, sem destinação adequada. Devido à grande abundância e o impacto gerado pela destinação inadequada desses resíduos, este estudo teve como objetivo dar um destino adequado aos resíduos madeireiros através da extração de ácido láctico para posterior conversão em biopolímero. Foram utilizados resíduos provenientes das espécies muiracatiara (*Astronium lecointei*) e cedro (*Cedrela odorata*), comparando-os quanto sua caracterização química e conversão em ácido láctico, identificando a melhor fonte para transformação em biopolímeros. Na biomassa lignocelulósica encontram-se os componentes majoritários: celulose, hemicelulose e lignina, sendo a celulose e hemicelulose alvo deste estudo. O resíduo dessas espécies foi processado mecanicamente por cisalhamento e posteriormente submetido a processos químicos de polpação e hidrólise ácida para transformação de sua biomassa lignocelulósica até a fração de glicose. Em seguida esta glicose passou por fermentação láctica via *Lactobacillus casei* e *Saccharomyces cerevisiae* a fim da produção de ácido láctico. A formação de ácido láctico foi avaliada quanto a 3 períodos, 24, 48 e 72 horas. Este composto químico sofreu então o processo de polimerização por policondensação direta (PD), através da adição de ácido sulfúrico para produção dos biopolímeros. Os cristais obtidos foram submetidos a análises de infravermelho e DRX. Por meio desse estudo obteve-se biopolímeros amorfos, mas com características de boa qualidade para hidroxiapatita. Com relação ao rendimento do ácido láctico este apresentou quantidades semelhantes para os tempos 24 e 48 horas, com melhores picos em 48 horas, e um rendimento menor no tempo de 72 horas, apresentando tanto para o ácido láctico obtido a partir de *S. cerevisiae* e de *L. casei*; não houve diferença significativa entre as diferentes espécies estudadas. Para comercialização ainda faltam aos polímeros passar por processos de purificação e refinamento visando sua aplicação em órteses, como enxertos dentários.

Palavras chaves: Celulose. Biopolímeros. Biomassa florestal.

ABSTRACT

The furniture industry produces a large amount of wood waste every year, without proper disposal. Due to the great abundance and the impact generated by the inadequate disposal of these residues, this study aimed to give an adequate destination to wood residues through the extraction of lactic acid for subsequent conversion into biopolymer. Residues from muiracatiara (*Astronium lecointei*) and cedar (*Cedrela odorata*) species were used, comparing them in terms of their chemical characterization and conversion into lactic acid, identifying the best source for transformation into biopolymers. In lignocellulosic biomass are found the major components: cellulose, hemicellulose and lignin, with cellulose and hemicellulose being the target of this study. The residue of these species was mechanically processed by shear and later submitted to chemical pulping and acid hydrolysis processes to transform its lignocellulosic biomass to the glucose fraction. This glucose then underwent lactic fermentation via *Lactobacillus casei* and *Saccharomyces cerevisiae* in order to produce lactic acid. Lactic acid formation was evaluated for 3 periods, 24, 48 and 72 hours. This chemical compound then underwent the polymerization process by direct polycondensation (PD), through the addition of sulfuric acid to produce the biopolymers. The obtained crystals were subjected to infrared and XRD analyses. Through this study, amorphous biopolymers were obtained, but with good quality characteristics for hydroxyapatite. Regarding the lactic acid yield, it showed similar amounts for the 24 and 48 hours times, with better peaks at 48 hours, and a lower yield at the 72 hours, as for the lactic acid obtained from *S. cerevisiae* and from *L. casei*; there was no significant difference between the different species studied. For commercialization, the polymers still need to go through purification and refinement processes with a view to their application in orthotics, such as dental grafts.

Key words: Cellulose. Biopolymers. Forest biomass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Serragem de madeira gerada em serrarias.....	17
Figura 2 - Cadeia produtiva do setor de árvores plantadas.....	18
Figura 3 - Evolução da produção e do preço da madeira em tora, oriunda de florestas nativas da Amazônia Legal, de 1996 a 2017.....	20
Mapa 1 - Mapa físico do município de Santarém-Pará, Brasil.....	21
Figura 4 - Muiracatiara: (a) árvore, (b) tora, (c) seção transversal, (d) casca, (e) corte tangencial.....	22
Figura 5 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) do gênero <i>Astronium</i>	23
Figura 6 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) da espécie <i>Astronium lecointei</i>	23
Figura 7 - Réguas de muiracatiara (a) utilizada na fabricação de Decks (b).....	24
Figura 8 - Cedro: (a) árvore, (b) folhas, (c) corte tangencial, (d) seção transversal, (e) tora.....	25
Figura 9 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) do Gênero <i>Cedrela</i>	26
Figura 10 - Ofurô, mesa e bancos fabricados com madeira de cedro.....	27
Figura 11 - Celulose rodeada por hemicelulose e lignina. Arranjo das moléculas de glicose da celulose.....	28
Figura 12 - Estrutura lignocelulósica recalcitrante contendo celulose, hemicelulose e lignina.....	29
Figura 13 - Representação da cadeia estrutural do PLA, em que n representa o número de unidades repetitivas.....	30
Figura 14 - Pré-tratamento em biomassas lignocelulósicas.	33
Fluxograma 1 - Principais fontes de obtenção de polímeros biodegradáveis e alguns exemplos.....	36
Gráfico 1 - Comparação entre preço (€/kg) de polímeros sintéticos e biodegradáveis.....	37

Figura 15 - Ciclo de vida ideal dos polímeros biodegradáveis provenientes de fontes renováveis.....	39
Figura 16 - Estéreoisômeros do ácido láctico: (a) ácido L-láctico e (b) ácido D – láctico.....	40
Figura 17 - Reação de polimerização por policondensação.....	42
Figura 18 - Polimerização no estado sólido.....	43
Figura 19 - Reação de polimerização por abertura de anel.....	44
Figura 20 - Demonstração do mecanismo de coordenação - inserção na polimerização em PLA. Fonte: Gupta e Kumar, (2007).....	45
Figura 21 - Maravalha colida após processamento da madeira a esquerda e após moagem em moinho de facas.....	47
Figura 22 - Ácido láctico no final da fermentação, antes da correção de pH (a esquerda) e com as proteínas coaguladas (a direita), obtidos após 24 horas de fermentação.....	51
Figura 23 - Ácido láctico proveniente das fermentações com <i>S. cerevisiae</i> nos tempos de 24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas e com <i>L. casei</i> . 24 (d), 48 (e) e 72 (f) horas.....	52
Figura 24 - Processo de polimerização do Ac. Láctico: cristais no meio líquido (a), cristais (b), cristais secos (c).....	53
Figura 25 - Espectros formados para o tempo de 24 horas (a), para o tempo de 48 horas (b) e para o tempo de 72 horas (c).....	54
Figura 26 - Espectro de FT-IR indicando as principais bandas observadas.....	57
Figura 27 – Espectroscopia no infravermelho do pó de hidroxiapatita.....	57
Figura 28 – Difratoograma obtido por DRX para os tempos: 24 horas (a), 48 horas (b) e 72 horas (c).....	58
Figura 29 - Difratoogramas das amostras H3N7, H5N5 e H7N3.....	59
Figura 30 - Padrões de difração para o Zn-HAP, HAP e HPA-osso.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos de degradação de alguns polímeros.....	37
Tabela 2 - Propriedades químicas das madeiras utilizadas no estudo.....	49
Tabela 3 - Rendimentos em gramas da polimerização do Ac. Lático.....	50
Tabela 4 - Identificação usada para os tempos de fermentação.....	54

LISTA DE SIGLAS

ALAC – Ácido Lático

ANOVA – Análise de Variância

DRX – Difração de Raios X

FTIR - Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier

HA - Hidroxiapatita

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IV – Infra Vermelho

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PLA – Poli Ácido Lático

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

UFPA – Universidade Federal do Pará

UFOPA - Universidade Federal do Oeste do Pará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.1 Objetivos Específicos.....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 Resíduos gerados, exploração e mercado madeireiro.....	15
3.2 Famílias Anacardiaceae.....	22
3.3 Família Meliaceae.....	24
3.4 Biomassa lignocelulósica.....	28
3.5 Ácido Lático (Alac), Fermentação láctica e Bactérias lácticas (LAB).....	30
3.6 Pré-tratamento da biomassa lignocelulósica para biotransformação em Ácido Lático (Alac).....	32
3.7 Materiais poliméricos.....	35
3.8 Polimerização do Poli (Ácido Lático) PLA.....	39
3.9 Métodos para síntese de poli(Ácido láctico).....	41
3.9.1 Polimerização por policondensação direta.....	42
3.9.2 Polimerização por condensação azeotrópica.....	42
3.9.3 Polimerização no estado sólido.....	43
3.9.4 Polimerização por abertura de anel.....	44
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 Coleta do material vegetal.....	46
4.2 Caracterização de matéria prima.....	47
4.3 Separação dos componentes lignocelulósicos por Hidrólise Ácida.....	47
4.4 Obtenção do Ácido láctico.....	47
4.5 Síntese do poli(ácido láctico) (PLA).....	48
4.6 Análise dos polímeros obtidos.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49

5.1 Produção de ácido láctico.....	50
5.2 Obtenção dos polímeros gerados.....	52
5.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	53
5.4 Difração de Raios X (DRX).....	58
5.5 Polímeros obtidos de resíduos madeireiros.....	61
6 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Uma das florestas mais ricas e diversificadas do mundo é a floresta Amazônica, com grande diversidade de espécies madeireiras. De acordo com Braz-filho (1994), muitas espécies madeireiras no Brasil são usadas principalmente como fontes de materiais de construção e carpintaria, para fabricação de carvão e celulose e poucas para extração de componentes químicos.

A falta de conhecimento das propriedades de grande parte das espécies arbóreas nativas da Amazônia acarreta uma exploração descontrolada de algumas (CARVALHO et al., 2009) e um desinteresse comercial por outras. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019), a exploração florestal ainda apresenta índices bastante elevados no Brasil, principalmente no Pará. Contudo um dos maiores obstáculos para a melhor utilização e aproveitamento da madeira de espécies amazônicas ainda é o desconhecimento de suas características tecnológicas, fisiológicas e morfológicas (FERREIRA et al., 2004).

A biomassa, no Brasil, é constituída em grande parte pela madeira, usada para a produção de carvão vegetal (carbonização) e consumo direto (combustão) (REMADE, 2013). No Brasil, a lenha (consumo direto da madeira) é o segundo combustível mais usado para cocção (IBGE, 2021). Silva et al. (2009) salientam que quando a madeira é destinada a móveis, assoalhos, esquadria e outros produtos que necessitem de qualidade de superfície, a trabalhabilidade bem executada melhora o desempenho em processos de acabamento superficial viabilizando economicamente esta operação.

As indústrias madeireiras são geradoras de grande quantidade e diversidade de resíduos. Estudos constatam que a geração de resíduos varia entre 50 e 75% no processamento primário de toras de espécies nativas (MELO et al., 2012; MARCHESAN, 2012). Uma das razões para esse alto percentual de rejeitos é a falta de conhecimento do processamento adequado das espécies florestais (MELO et al., 2012) uso de maquinários e equipamentos obsoletos, layout inadequado e precário das serrarias e de novas tecnologias que permitam um maior aproveitamento da madeira (CERQUEIRA et al. 2012).

Os componentes majoritários da biomassa que compõe esses resíduos estão divididos em lignina, hemicelulose e celulose, que juntas formam o grupo da holocelulose (OLIVEIRA; 2016). A quantidade de celulose, hemicelulose e lignina nos diferentes tipos de biomassas lignocelulósicas é variável. De forma geral, se encontram nas seguintes proporções: celulose

(30-50%), a hemicelulose (20-30%), e a lignina (20-30%); sendo estas responsáveis por sua parte estrutural e morfológica (KOMURA, 2015).

A celulose é o biopolímero mais abundante na natureza e está disponível em diversas fontes de origem vegetal e também pode ser produzida por alguns microrganismos (NAKAGAITO; IWAMOTO; YANO, 2005; SAMIR; ALLOIN; DUFRESNE, 2005). O Ácido Lático (PLA) é um polímero que apresenta grande potencial para substituir os plásticos à base de petróleo (SURYANEGARA; NAKAGAITO; YANO, 2009), além de apresentar propriedades mecânicas excepcionais (ROSA et al., 2008) ele é muito versátil, sendo produzido a partir de matérias-primas agrícolas e ou florestais renováveis que são fermentadas para a geração de ácido láctico (SURYANEGARA; NAKAGAITO; YANO, 2009).

O ácido láctico (ALac) é um importante insumo industrial, com vasto mercado em expansão devido sua versatilidade. O consumo de ALac aumentou consideravelmente pelo uso como monômero na produção de PLA. A produção do ALac, via fermentação é dependente de distintos fatores, sendo o custo da matéria-prima extremamente significativo (ABDEL-RAHMAN; TASHIROC; SONOMOTO, 2011). Logo, os resíduos madeireiros, descritos aqui como substrato alternativo, torna-se uma matéria-prima promissora para a produção de um ou mais ácidos orgânicos, bases importantes de processos químicos industriais.

O interesse nesses materiais está diretamente ligado à obrigação imperiosa de reduzir a dependência da sociedade em relação aos produtos derivados do petróleo (GOETZ et al., 2009). Além disso, matérias-primas de fontes renováveis, apresentam propriedades como biodegradabilidade, biocompatibilidade, baixa ou nenhuma toxicidade, entre outras (FENG et al., 2009). Os PLAs têm a característica de serem bioreabsorvíveis, ou seja, são aqueles capazes de se despolimerizarem completamente num ambiente aquoso nos seus monômeros correspondentes, ou em produtos gerados a partir deles os quais, por sua vez, sofrem ação metabólica de organismos vivos (PETERSSON; MATHEW; OKSMAN, 2009).

Os componentes lignocelulósicos que integram a madeira necessitam ser previamente separados para que as frações de celulose e hemicelulose sejam despolimerizadas, a partir de tratamentos hidrolíticos químicos ou enzimáticos, em sacarídeos fermentáveis (MOSIER et al., 2005). Por várias décadas, a hidrólise eficaz da matriz multicomponente das matérias-primas lignocelulósicas e a fermentação posterior dos açúcares resultantes têm sido um grande desafio (MONTIPÓ, 2012).

A tendência para a sustentabilidade ambiental, em conjunto à química verde, tem aumentado significativamente o interesse na valorização de produtos biodegradáveis, tal como os PLAs, acetatos celulósicos entre outros, devido às inúmeras vantagens em relação aos

polímeros sintéticos. Desse modo, o aproveitamento integral e racional das biomassas lignocelulósicas poderá inovar uma série de segmentos industriais, onde se enquadram os biopolímeros ou bioprodutos, trazendo benefícios para países de grandes extensões territoriais e de elevada produtividade de biomassa, entre os quais o Brasil ocupa posição de destaque. Neste sentido, visando uma destinação sustentável, essa pesquisa buscou o uso dos resíduos madeireiros visando o potencial de sua conversão em biopolímero como forma obter um melhor aproveitamento dos resíduos transformado-o em um produto com potencial aplicabilidade no mercado e valor biotecnológico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o aproveitamento dos resíduos madeireiros de *A. leicointei* e *Cedrela* spp. para produção de biopolímeros.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver processo de produção de biopolímeros usando como via de base a rota de síntese de Alac em escala semi-micro;
- Analisar a composição química geral dos resíduos e composição química geral do hidrolisados dos resíduos madeireiros;
- Caracterizar o biopolímero produzido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduos gerados, exploração e mercado madeireiro

As indústrias madeireiras são geradoras de grande quantidade e diversidade de resíduos. Resíduo é todo material descartado nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado, não apresenta valor de uso ou econômico naquele momento, podendo causar impactos negativos ao ambiente quando descartados de maneira imprópria (MANTEGA et al., 2012). Segundo estudo de Nolasco e Uliana (2014), além da poluição do solo, da água e do ar, a destinação inadequada dos resíduos contribui para a degradação da paisagem; para a ocupação inadequada do solo; para o agravamento de problemas de saúde pública, com riscos à segurança e bem-estar da população; para os danos

à fauna, flora e acervo histórico e cultural de determinadas regiões do país; e, para o aumento dos custos de coleta, tratamento, disposição final e recuperação das áreas degradadas.

Os resíduos madeireiros, quando gerados em grande quantidade e armazenados de maneira incorreta, levam a sérios riscos socioambientais, como a contaminação ambiental do ar, dos cursos d'água e do solo, riscos à saúde pública e do trabalhador, além do desperdício de matéria-prima e energia (RIUL & RIBEIRO, 2012).

De acordo com Nolasco et al. (2013), os modelos de gerenciamento de resíduos predominantes no setor madeireiro são o tradicional e o de Final de Tubo (End of Pipe). No modelo tradicional o próprio empreendedor é o responsável pelo desempenho ambiental de sua empresa e, pela falta de preocupação com o meio ambiente, as principais formas de solução para os resíduos são a dispersão no meio e a queima à céu aberto. O modelo Legalista ou de Final de Tubo vem sendo utilizado desde a década de 1970, quando os aspectos ambientais relacionados a gestão de resíduos passaram a ser regulamentados pelo governo federal. Neste modelo o Estado é o árbitro da gestão de resíduos, com ações baseadas na fiscalização e aplicação de multas no caso de não conformidade. Como resposta, o setor empresarial tem adotado procedimentos de tratar, concentrar, reduzir a carga poluidora e conter os resíduos em aterros licenciados. Entretanto, não são aplicadas estratégias de redução de geração ou aproveitamento dos resíduos.

Uma tora extraída da floresta resulta em apenas metade de madeira serrada, o restante vira resíduo madeireiro (Figura 1) de diferentes tamanhos que na maioria das vezes resultam em problemas ambientais às serrarias quando associados a queima deste material e consequente degradação ambiental (MMA, 2009; DIAS et al., 2015). Além do mais, os rendimentos volumétricos de algumas espécies florestais são muito superiores aos preconizados pela legislação (50%), sendo relatadas porcentagens superiores a 70% de rendimento, demonstrando a real necessidade de estudos técnico-científicos para subsidiar adaptações nos critérios técnicos e normas relacionadas a determinadas espécies florestais, principalmente na Amazônia onde a extração madeireira é mais intensa (MIRANDA, 2017).

Figura 1 - Serragem de madeira gerada em serrarias.



Fonte: A autora

O descarte dos resíduos em locais inadequados é um problema presente na indústria do setor madeireiro, além do desperdício causado pelos baixos rendimentos no processo de beneficiamento da madeira. Silva (2017) afirmou que tem ocorrido aproveitamento crescente da madeira devido às pressões exercidas pela sociedade na criação de leis ambientais mais rigorosas, para atender as necessidades econômicas, as exigências do mercado e visando também o desenvolvimento tecnológico. De acordo com Lopes (2009, p. 06) sempre que econômica e tecnicamente viável, a valorização de um resíduo é uma alternativa superior ao seu descarte, pois, além de contribuir para a solução de um problema ambiental, pode ajudar a reduzir os custos de produção e os de disposição final dos resíduos não valorizados. Essa valorização, quando bem administrada, faz que o material residual de uma empresa se torne matéria-prima em outra.

A madeira para fins comerciais tem como uma vantagem ser um recurso renovável. Na área de móveis é importante que a madeira seja de boa qualidade, para que possa ser gerado um maior valor agregado na comercialização do produto final (CERVELIN, 2009). Ainda de acordo com Cervelin (2009), um requisito básico para se determinar se uma espécie de madeira é adequada para um uso determinado é o conhecimento e a análise de suas propriedades antes da usinagem. O entendimento sobre o correto modo de se usar a madeira de uma determinada espécie é importante, pois influencia economicamente na produção, reduzindo perdas com a necessidade da adição de mais uma etapa de usinagem, e melhorando o acabamento superficial da madeira, aumentando assim o seu valor agregado (SILVA, 2010).

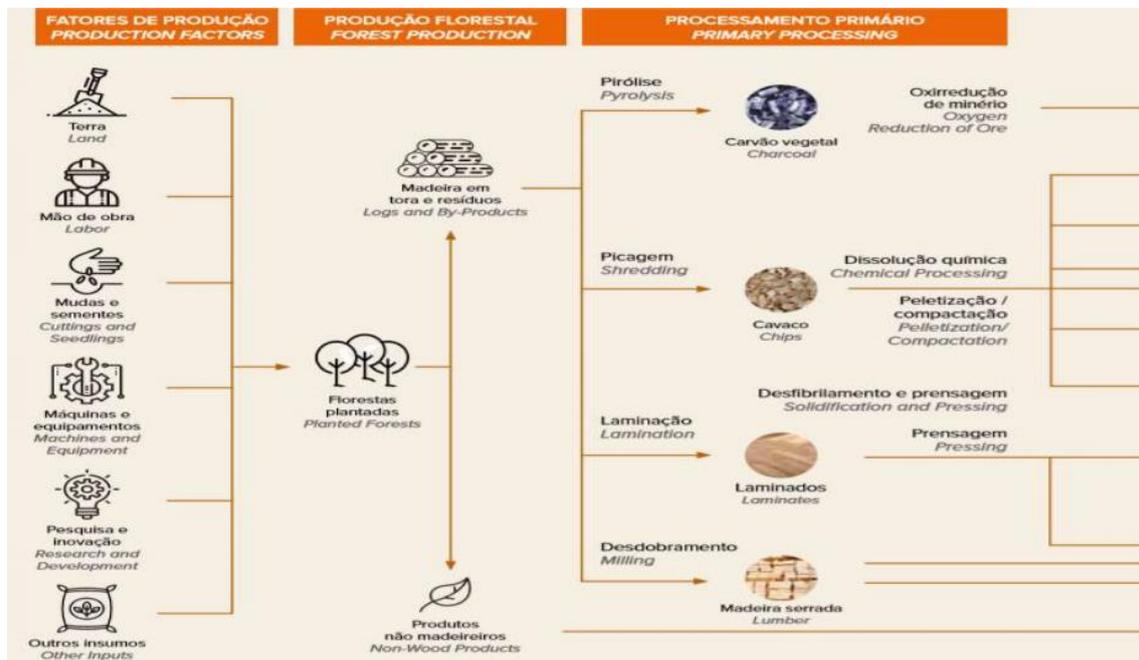
Enquanto insumo para outros setores, como a própria construção civil, gráficas e fábricas de artefatos de madeira, existe uma demanda constante e crescente por este produto. Podem ser citados países de maior tradição na exploração de produtos florestais, com

destaque para o Canadá, Alemanha, Estados Unidos, Suécia, Finlândia, Rússia, China, França, Áustria, Indonésia e Brasil (ABRAF, 2012; REMADE, 2016).

Além disso a demanda por esse produto é crescente, Angelo et al. (2009) quando relatou sobre a procura de madeira em tora para a produção de celulose, ele constatou que o preço desta e a capacidade instalada da indústria de celulose, mostram bons resultados econométricos.

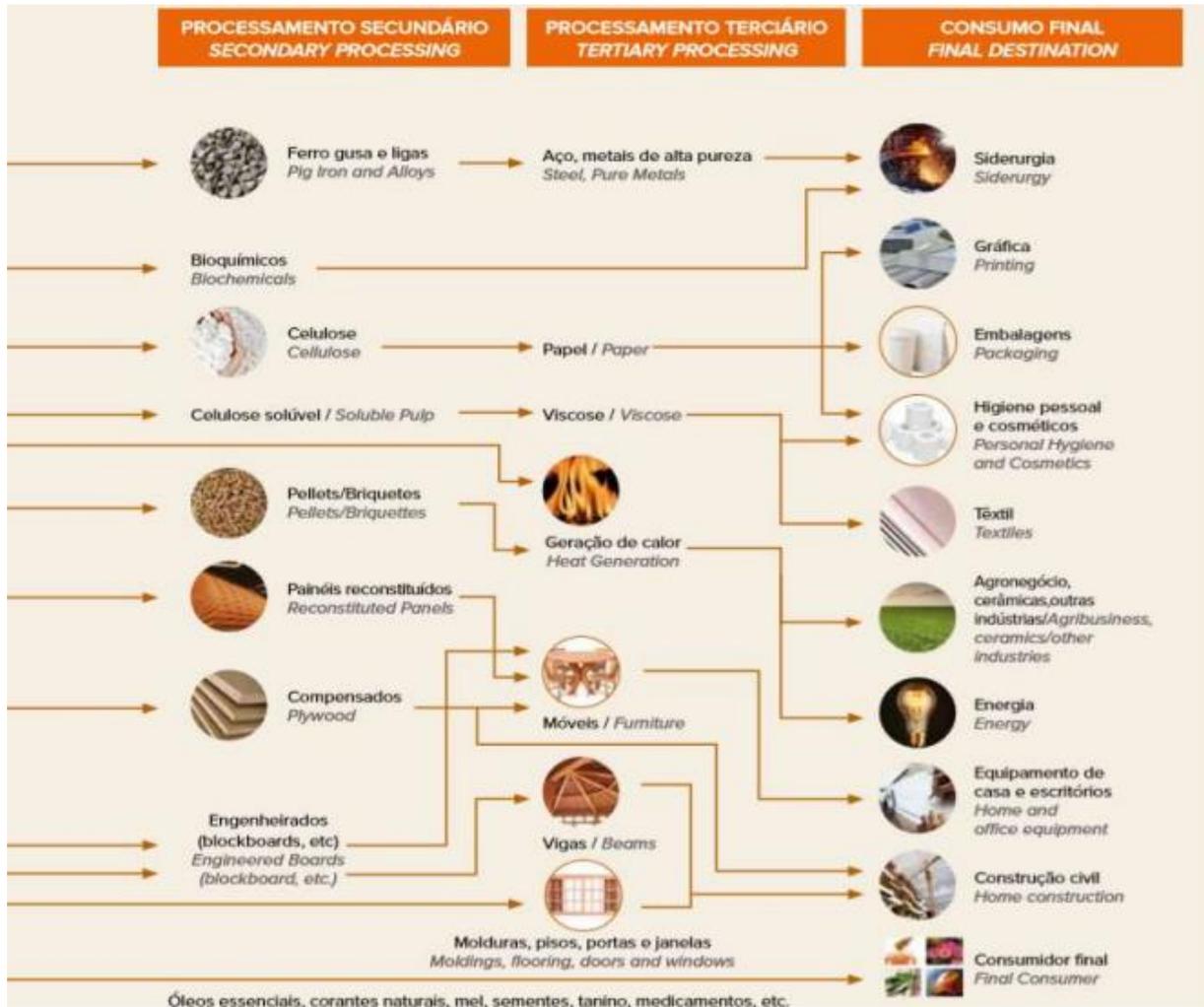
A figura 2 aponta que no Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (2019) o plantio de árvores para fins industriais gera quase 5 mil produtos, desde madeira serrada, papel, celulose, pisos e painéis de madeira e carvão vegetal. As florestas plantadas destacam-se pelo desenvolvimento em uma economia de baixo carbono e o abastecimento de diferentes indústrias, diversificando de forma sustentável o uso da madeira.

Figura 2 - Cadeia produtiva do setor de árvores plantadas



Fonte: Indústria Brasileira de Árvores/Pöyry (2019).

Continuação figura 2



Fonte: Indústria Brasileira de Árvores/Pöyry (2019).

Conforme observado na Figura 2 a cadeia produtiva do setor de árvores plantadas, galga pelos fatores de produção, produção florestal, processamento primário, secundário, terciário, e consumo final. Para a economia brasileira, o setor contribuiu R\$ 86,6 bilhões, representando 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e 6,9% do PIB industrial no ano de 2018. Apresentando saldo recorde da de US\$ 11,4 bilhões na balança comercial. Por isso, o Brasil está entre os principais líderes na exportação da celulose no mundo (Indústria Brasileira de Árvores, 2019).

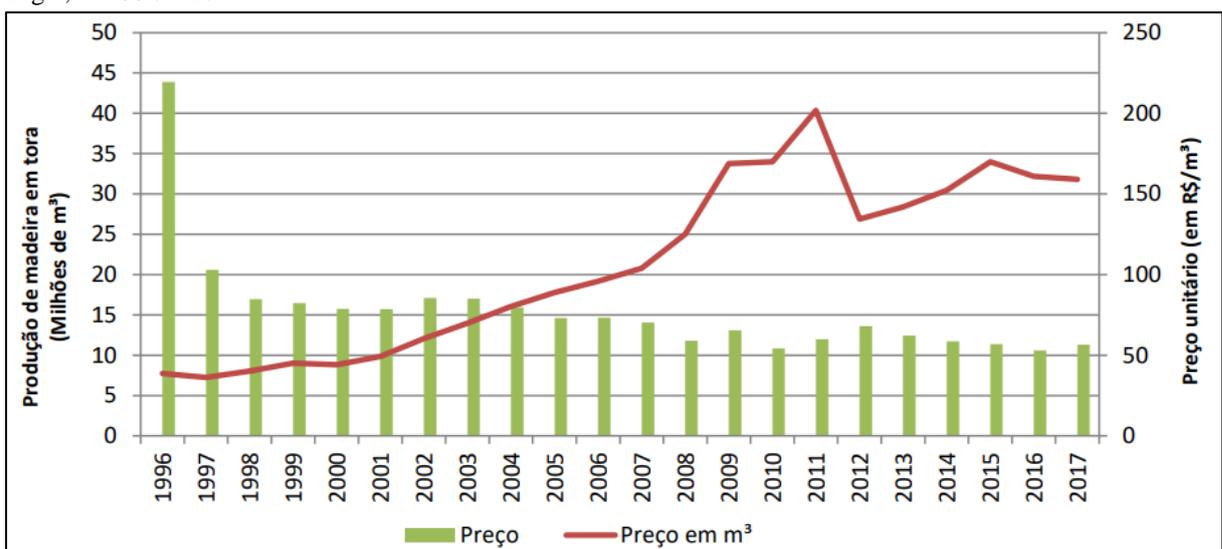
Contudo quando se avaliam os estoques de madeiras tropicais (como por exemplo na Indonésia e Malásia) estes estão rapidamente se esgotando, após décadas de exploração predatória e não manejada. De modo geral, segundo Negrão et al. (2015) tanto para economia quanto para a sociedade, as florestas plantadas contribuem com uma parcela importante na geração de produtos, tributos, empregos e bem-estar. Além de que as florestas plantadas

disponibilizam uma gama de serviços sociais e ambientais que vão desde a reabilitação de terras degradadas, o combate à desertificação do solo, sequestro e armazenamento de carbono.

O Serviço Florestal Brasileiro acompanha a produção florestal do Brasil, considerando as diversidades regionais do país. As condições do mercado interno, o perfil do mercado consumidor final, a agregação de valor e a disponibilidade de produtos substitutos são alguns dos elementos que caracterizam os mercados de produtos florestais. Além desses fatores, a dinâmica de preços do mercado também traz implicações para o consumo interno e externo dos produtos (SFB, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de madeira em tora, oriunda das florestas nativas da Amazônia Legal, foi de 11,3 milhões de metros cúbicos, em 2017, ante 43,8 milhões de metros cúbicos, em 1996. Segundo o SFB (2019), o avanço das ações e políticas relacionadas às medidas de comando e controle explica, em parte, essa queda considerável na produção, pois levou à redução do desmatamento ilegal e à substituição parcial da madeira oriunda das florestas nativas por madeiras derivadas de plantios florestais e por outros produtos substitutos da madeira. Outras possíveis causas que colaboraram para esse declínio da produção foram as crises econômicas internacionais ocorridas no período. No cenário de curto prazo, observa-se oscilação na produção, com incrementos no período de 2010 a 2012, e redução nos anos que se seguiram. Contudo, observa-se que, a partir de 2012, o preço médio unitário apresentou sucessivas variações positivas, havendo queda apenas no último período, entre 2015 e 2016 (Figura 3).

Figura 3 - Evolução da produção e do preço da madeira em tora, oriunda de florestas nativas da Amazônia Legal, de 1996 a 2017.

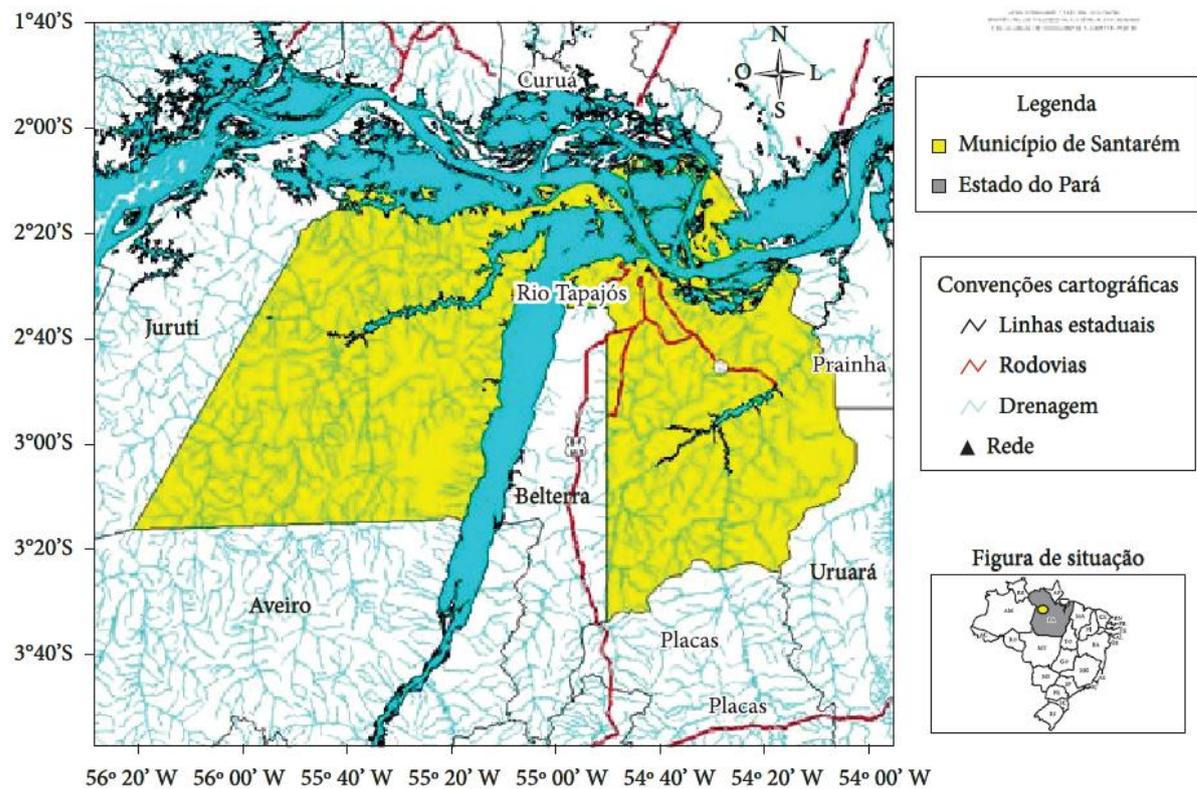


Fonte: IBGE (2017)

A matéria-prima mais usada para a fabricação de móveis é a madeira. Entre suas vantagens estão usabilidade, estética e resistência, além de outros benefícios desde a sua produção até as possibilidades de design que o item oferece a indústria. No mercado, há diferentes tipos de madeira disponíveis (TEXEIRA, 2017). Na cidade de Santarém, em pesquisa realizada em marcenarias locais, de muitas espécies de madeiras citadas encontram-se: angelim, cedro, cumaru, fava, freijó, itaúba, maçaranduba e muiracatiara, usadas na fabricação de móveis comum ou no segmento de móveis planejados. Dentre essas espécies foram selecionadas o cedro (*Cedrela odorata* Lumber) e a muiracatiara (*Astronium leiconteii* Ducke), as quais tiveram seus resíduos analisados nesse estudo.

A cidade de Santarém ($2^{\circ} 24' 52''$ S e $54^{\circ} 42' 36''$ O) está situada na região oeste paraense, na meso região do Baixo Amazonas (Mapa 1), à margem direita do Rio Tapajós, na sua confluência com o rio Amazonas, distante cerca de 810 km, em linha reta, da capital do Estado.

Mapa 1 - Mapa físico do município de Santarém-Pará, Brasil.



Fonte: Oliveira (2008).

O aproveitamento de resíduos não é uma questão que termina apenas no setor de movelaria, mas também em sua capacidade de gerar subprodutos para indústria tecnológica como no setor de fármacos, indústria têxtil, biopolímeros e até perfumaria. O emprego de

técnicas biotecnológicas, com processos de extração e modificação estrutural são etapas de beneficiamento assim como a usinagem que além de visar o mínimo de desperdício da matéria prima agrega valor a um produto que analisado de outra forma seria desperdiçado.

3.2 Família Anacardiaceae

A família Anacardiaceae é representada por cerca de 81 gêneros e 800 espécies (LUZ et al., 2013). Dentre suas espécies encontra-se *Astronium lecointei* Ducke, conhecida como muiracatiara (Figura 4), mas que também possui os seguintes nomes populares: aderno-preto, aroeira, aroeirão, baracatiara, gibatão-rajado, gomável, gonçaleiro, gonçalo, gonçalo-alves, guarabu-do-campo, guarabu-rajado, guaribu-preto, guaritá-rajado, gurubó, jejuera, maracatiara, maracatiara-branca, maracatiara-vermelha, maracoatiara, muiracatiara-rajada, muiracoatiara, muiracoatiara-preta, muiraquatiara, pau-gonçalo, sanguessugueira (NEWTIMBER, 2017).

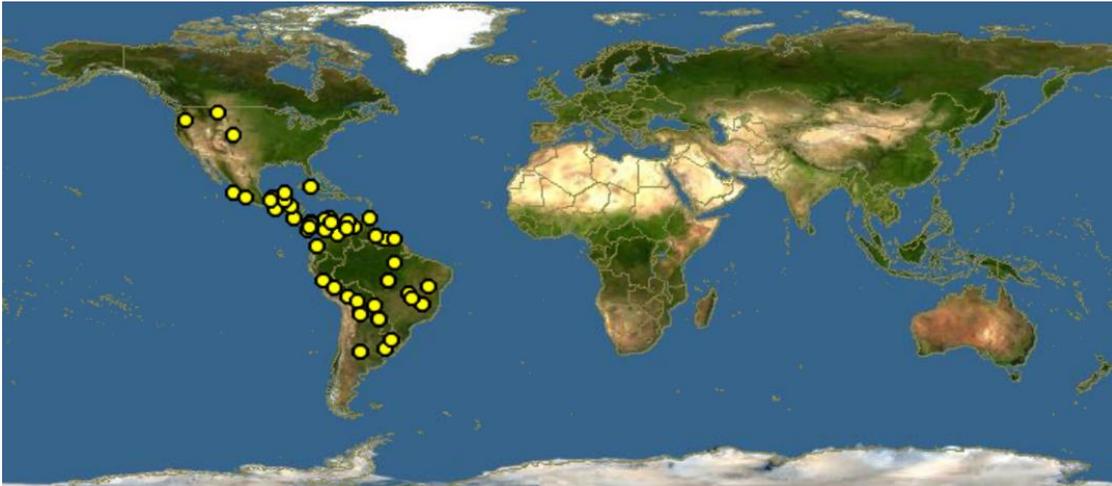
Figura 4 - Muiracatiara: (a) árvore, (b) tora, (c) seção transversal, (d) casca, (e) corte tangencial.



Fonte: Promapmadeiras. Muiracatiara (2018).

O gênero *Astronium* foi descrito pela primeira vez por Jacquin em 1760 (SANTIN, 1989; LEITE, 2002); está distribuído desde os Estados Unidos até a Argentina (Figura 5). O nome do gênero deriva do grego astron, que significa estrela, referindo-se ao formato do cálice da flor com cinco sépalas (SANTIN, 1989).

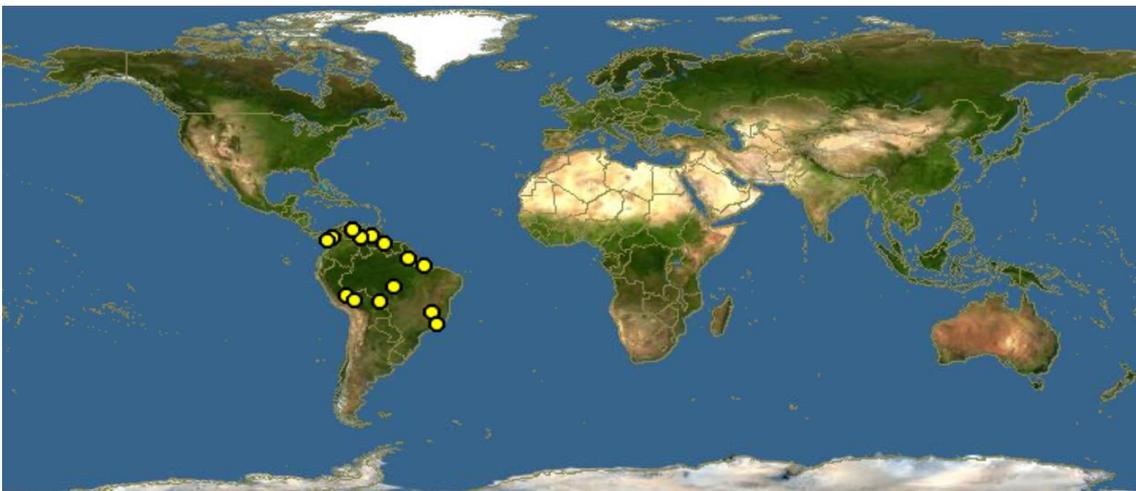
Figura 5 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) do Gênero *Astronium*.



Fonte: Discover life (2019b).

Astronium lecointei Ducke é uma árvore de grande porte, pouco frondosa. Sua altura comercial vai de 15 a 20 m com diâmetro de 60 cm, alcança na mata uma frequência de 0,1 a 1,6 árvores/ha e um volume de 0,2 a 6,8 m³/ha. Possui larga distribuição na região Amazônica atingindo o Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima, e passando também pelo Mato Grosso e Maranhão, com maior incidência no estado do Pará e Maranhão (REMADE, 2019a). Na América do Sul sua ocorrência vai desde Chocó, na Colômbia, até o Rio de Janeiro, no Brasil (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) da espécie *Astronium lecointei*.



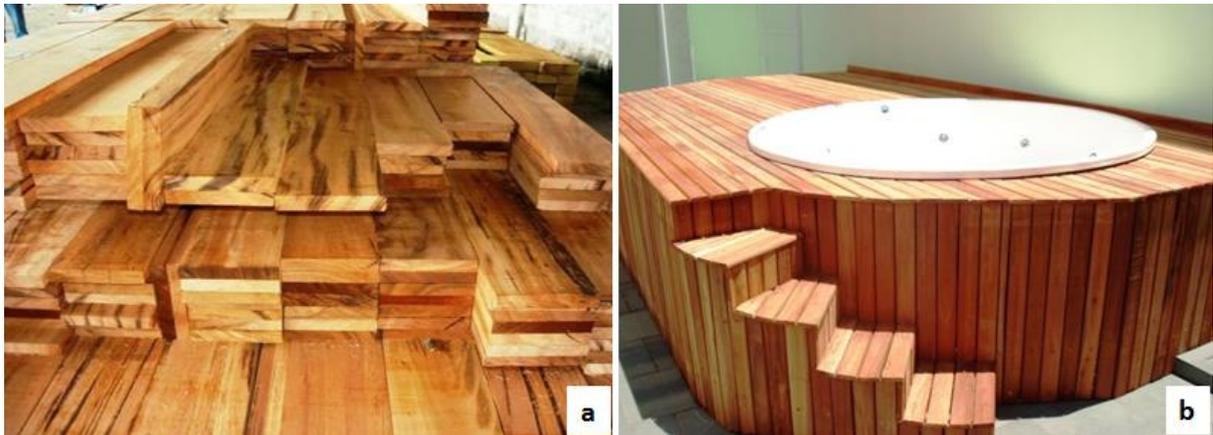
Fonte: Discover life (2019a).

A madeira de muiracatiara é bastante utilizada na construção civil, como na fabricação de vigas, decks (Figura 7), caibros e forros (RIBEIRO,2002). É uma madeira muito durável, não sendo atacada por insetos ou cupins de madeira seca. Apresenta baixa contração radial,

tangencial e volumétrica e média resistência à flexão estática; entretanto, sua resistência à compressão paralela às fibras e sua dureza é considerada alta. É fácil de ser trabalhada e permite excelente acabamento, recebendo bem pintura e verniz. Na secagem ao ar, a madeira de muiracatiara apresenta problemas de empenamentos e rachaduras. Se a secagem artificial for muito drástica, poderão ocorrer rachaduras profundas e endurecimento superficial (ANPM, 2013).

O cerne e o alborno são distintos pela cor, com o cerne variável do bege-rosado ao castanho-escuro-avermelhado com estrias mais escuras; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis; massa específica alta; dura ao corte; grã irregular; textura média. É uma madeira muito pesada, e sua massa específica básica é de $0,81\text{g/cm}^3$ (ANPM, 2013). Nahuz (2007) encontrou o valor de $0,97\text{g/cm}^3$ para esta propriedade física da madeira.

Figura 7 - Réguas de muiracatiara (a) utilizada na fabricação de Decks (b).



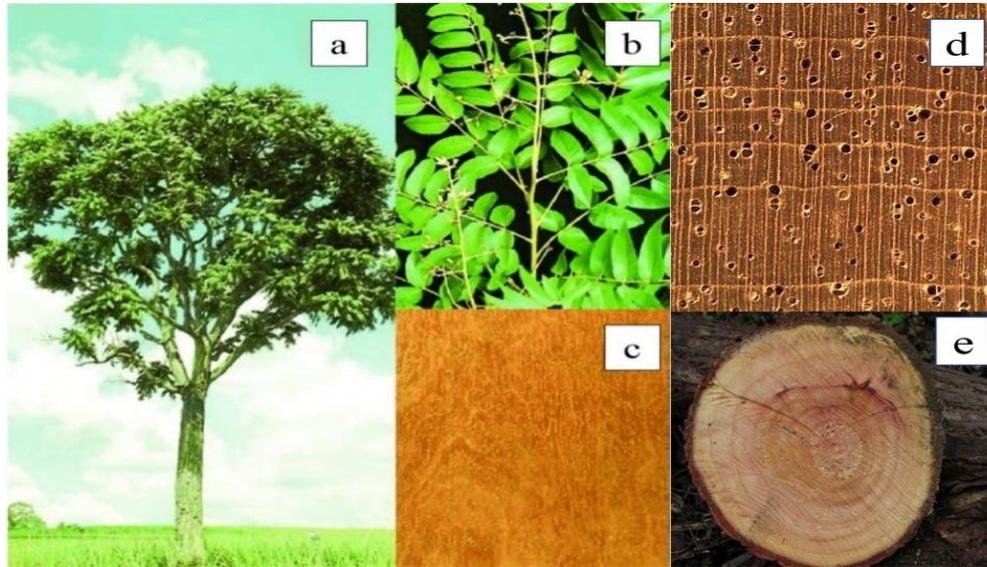
Fonte: Eco Madeiras (2019).

3.3 Família Meliaceae

A Meliaceae é uma família de cerca de 50 gêneros e 550 espécies, essencialmente pantropical. Caracteriza-se pelas folhas pinadas e pelas flores com tubo estaminal, unissexuadas ou bissexuadas. No Brasil estão documentadas 88 espécies, 32 delas endêmicas do país (FLORES, 2018). Dentre as espécies encontra-se *Cedrela odorata* L. (Figura 8), popularmente chamada de cedro, mas que também é conhecida por outros nomes vulgares: cedro-amargo, cedro-amargoso, cedro-batata, cedro-branco, cedro-cheiroso, cedro-do-amazonas, cedro-manso, cedro-rosa, cedro-verdadeiro, cedro-vermelho (IPT, 2019). O gênero *Cedrela*, no Brasil, representado por três principais espécies: *Cedrela angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata*, sendo que na Amazônia ocorrem apenas as espécies: *C. fissilis* e *C.*

odorata. As suas madeiras, semelhantes quanto ao aspecto e estrutura anatômica, são indistintamente conhecidas em todo o país simplesmente por Cedro; e, dependendo da intensidade da sua cor castanha, por Cedro-rosa e Cedro-vermelho (REMADE, 2019b).

Figura 8 - Cedro: (a) árvore, (b) folhas, (c) corte tangencial, (d) secção transversal, (e) tora.



Fonte: Researchgate (2018a); Researchgate (2018b); Sanagua (2018), ITTO (2018); COSTA (2018).

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2019) a madeira do cedro possui massa específica aparente entre 0,47 e 0,61g/cm³, a 15% de umidade; densidade de 0,44g/cm³. Trata-se de uma madeira leve a moderadamente densa (JANKOWSKY et al., 1990).

Sua distribuição ocorre em matas do interior desde o estado de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul. Tem preferência por solos úmidos, nos fundos dos vales ao longo dos rios e em baixadas. *Cedrela odorata* predomina na região Amazônica, sendo que o gênero *Cedrela* ocorre desde os Estados Unidos até a Austrália (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição geográfica (pontos amarelos) do Gênero *Cedrela*.



Fonte: Discover life (2019c).

Cedrela odorata L. é uma árvore de altura variável, com 25 a 35 m de altura e com tronco de 90 a 150 cm de diâmetro. Seu tronco é cilíndrico, longo e pouco tortuoso. Possui casca de cor castanho-grisácea com grandes fissuras longitudinais, profundas, bem características (PASSOS et al., 2008; REMADE, 2019b). *C. odorata* distribuí-se assim como seu gênero desde Califórnia, Estados Unidos até as Ilhas Fiji.

No Brasil consegue-se encontrar a árvore distribuída principalmente nas florestas semidecíduais e pluvial atlântica, ocorrendo também em menor intensidade em todo o país (LORENZI, 2002). A árvore apresenta folhas compostas e um fruto tipo cápsula deiscente, a madeira do cedro é leve e macia ao corte e pode ser utilizada na confecção de compensados, em contraplacados, esculturas e obras de talha, modelos e molduras, esquadrias, móveis em geral (Figura 10), marcenaria, na construção civil, naval e aeronáutica, na confecção de pequenas caixas, lápis, instrumentos musicais e esculturas. (MELLONI, 2010). Segundo Cherobini et al. (2008), o cedro é uma espécie ornamental largamente empregada em projetos paisagísticos e de arborização urbana. Este fator ainda contribui para sua inserção em locais destinados a recuperação de solos contaminados por metais pesados, e também é importante para recuperação florestal de áreas degradadas e de matas ciliares, onde não ocorrem inundações, pois isso auxilia no rápido crescimento da planta, exceto em locais sujeitos a geadas.

Figura 10 - Ofurô, mesa e bancos fabricados com madeira de cedro.



Fonte: SUB100. Filtros e Bombas – Ôfuro (2019).

O cedro é uma árvore muito conhecida por sua madeira de importante valor econômico no Brasil (MELLONI, 2010), por seu crescimento relativamente rápido, pode se comportar como espécie secundária inicial ou tardia e regenerar-se preferencialmente, em clareiras ou bordas de mata. Os plantios puros de cedro, entretanto, são praticamente inviáveis devido ao ataque da broca-do-cedro, que torna o crescimento da espécie extremamente variável (DURIGAN et al., 2002). Uma opção, segundo Costa et al. (2013), para reduzir o ataque é o cultivo consorciado com espécies tolerantes ou em sistemas agroflorestais. As florestas plantadas são a alternativa mais viável para atender ao mercado consumidor de madeira, evitando a exploração ilegal de espécies nativas, fator de ameaça à biodiversidade (PAULINO et al., 2015).

De acordo com Franco (1997), dos produtos não-madeireiros, da madeira do cedro extrai-se óleo essencial com perfume semelhante ao cedro-do-líbano, como acontece com *Cedrela odorata* L. que possui um aroma característico em sua espécie. Na casca e no lenho encontram-se substâncias tanantes por meio do qual, através do chá, o cedro é usado com dada importância na medicina popular. Com características farmacológicas, sua casca e entrecasca adstringentes são utilizadas contra diarreias e no tratamento de hemorróidas; as folhas, indicadas no tratamento de úlceras da pele devido a sua ação anti-séptica; os frutos contra dor de dente, e as raízes que, quando maceradas e sob forma de infusão (chá), podem ser usadas no tratamento de reumatismo (CALDEIRA JÚNIOR et al., 2007).

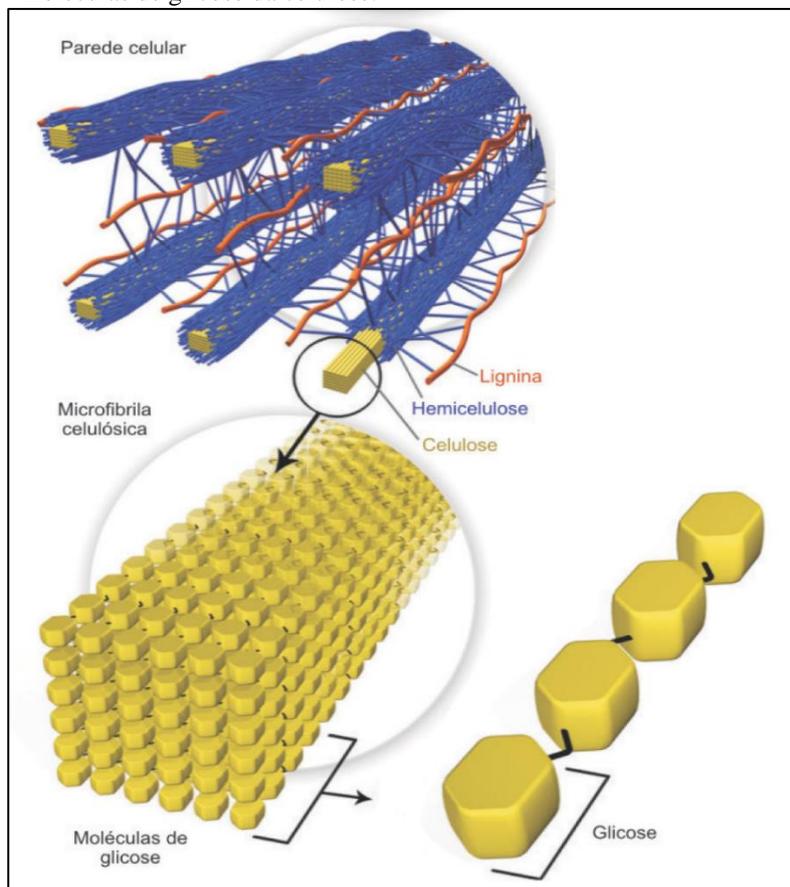
O alburno apresenta coloração branca a rosada e o cerne varia entre bege-rosado a castanho-avermelhado. A superfície da madeira é lustrosa e com reflexos dourados; a textura é grosseira e a grã é direita ou pouco ondulada. A madeira do cedro apresenta resistência natural moderada quanto ao ataque de organismos xilófagos, mas resistente a fatores externos, desde que não esteja em contato direto com o solo ou água. A madeira apresenta baixa permeabilidade aos tratamentos preservantes, sendo uma madeira de secagem fácil, tanto em estufa, quanto ao ar livre, com baixa ocorrência de deformidades (ANGELI et al., 2005).

3.4 Biomassa lignocelulósica

As biomassas lignocelulósicas, incluindo resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais compõem as fontes de carboidratos mais abundantes na natureza, sendo subutilizadas industrialmente e, paralelamente, destacando-se como potenciais matérias-primas capazes de serem convertidas em *commodities* e energia através de processos bioquímicos. Aproximadamente 30 milhões toneladas de resíduos agrícolas são produzidas anualmente no mundo (BIOMASSA BR, 2016).

Na biomassa lignocelulósica encontra-se também outros compostos como: amido, proteínas e óleos, contudo em menores concentrações, além de extrativos e distintos materiais inorgânicos (KNAUF; MONIRUZZAMAN, 2004). A composição exata de cada biomassa varia dependendo da planta e do resíduo recolhido. A composição, por sua vez, determina a facilidade com que a biomassa pode ser convertida em produtos úteis e/ou intermediários e afeta a funcionalidade do produto (KAMM; GRUBER; KAMM, 2006). A lignina, juntamente com a hemicelulose, forma uma matriz que envolve a celulose (Figura 11), fazendo com que estes três componentes majoritários se encontrem estritamente associados em uma estrutura cristalina e complexa (ZHANG, 2008; KESHWANI; CHENG, 2009).

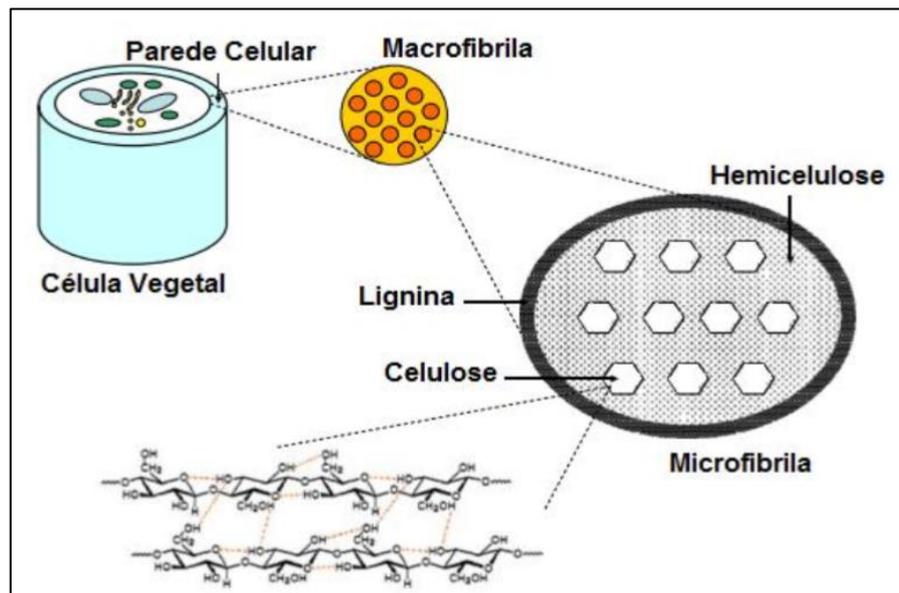
Figura 11 - Celulose rodeada por hemicelulose e lignina. Arranjo das moléculas de glicose da celulose.



Fonte: Adaptada de Kondo (1997).

A separação efetiva de cada um destes constituintes durante o processamento, tem papel essencial na composição de fatores de viabilidade econômica dos múltiplos produtos gerados (MENON; RAO, 2012). Assim como evidenciado por Zhang (2008), a celulose é empacotada em microfibrilas, que são estabilizadas por ligações de hidrogênio (Figura 12); estas microfibrilas são interligadas umas às outras pela hemicelulose, por polímeros amorfos de diferentes açúcares, bem como por polímeros de pectina, sendo, finalmente, cobertos pela lignina. As microfibrilas celulósicas, que estão presentes na matriz hemicelulose-lignina, estão associadas na forma de macrofibrilas. As moléculas individuais de microfibrilas estão empacotadas tão firmemente que, não somente enzimas, mas pequenas moléculas como a água, não conseguem penetrar no complexo (ARANTES; SADDLER, 2010). As regiões cristalinas das microfibrilas são mais resistentes à biodegradação em relação às partes amorfas e, por isso, são ditas pouco reativas (HALLAC; RAGAUSKAS, 2011).

Figura 12 - Estrutura lignocelulósica recalcitrante contendo celulose, hemicelulose e lignina.



Fonte: ZHANG (2008).

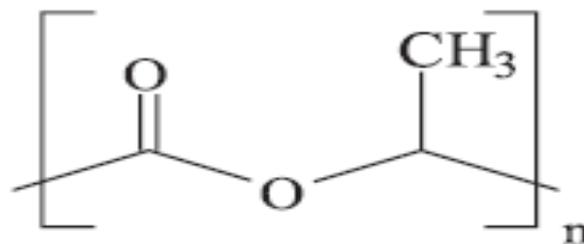
Na natureza, existe uma grande variedade de microrganismos que produzem celulases, um grupo de enzimas capazes de promover a hidrólise do complexo lignocelulósico (CASTRO; PEREIRA JÚNIOR, 2010), embora alguns poucos sejam conhecidos como verdadeiros celulolíticos, isto é, são capazes de degradar a celulose natural (RUEGGER; TAUKE-TORNISIELO, 2004). A hidrólise total da celulose gera apenas glicose, que é considerada a principal matéria-prima para processos biotecnológicos, podendo ser convertida a substâncias químicas, como: etanol, lipídeos (LIAN et al., 2010), ácidos orgânicos, 5 -

hidroximetil - furfural (5 - HMF), furfural (BEVILAQUA, 2010), glicerol, sorbitol, manitol, frutose, enzimas, dentre outras (ANTUNES et al., 2010).

3.5 Ácido láctico (Alac), Fermentação Láctica e Bactérias lácticas (LAB)

O ácido láctico (Alac) (ácido 2-hidroxiopropanóico) (Figura 13) pode ser produzido tanto por síntese química como por fermentação microbiana, sendo que a maior parte do ácido láctico comercial é realizada por fermentação bacteriana, sendo facilmente obtido pelo cultivo de *Lactobacillus* utilizando matérias-primas de baixo custo, como milho, melão de beterraba, cana de açúcar, batata e outras biomassas (GUPTA; KUMAR, 2007).

Figura 13 - Representação da cadeia estrutural do PLA, em que n representa o número de unidades repetitivas.



Fonte: Oliveira (2006).

O ácido láctico foi descoberto pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele, no leite coalhado, é um composto orgânico de função mista, ácido carboxílico e álcool que apresenta fórmula molecular $C_3H_6O_3$. De acordo com a IUPAC, o ácido láctico é conhecido como ácido 2-hidroxiopropanóico ou ácido α -hidroxiopropanóico.

De acordo com Simões (2007), quando o ácido láctico é sintetizado por via de fermentação, esse processo também pode ser chamado de síntese de ácido óticamente ativo. De modo geral, os micro-organismos produtores de ALac, em sua maioria anaeróbios, convertem o ácido pirúvico resultante da rota de Embden-Meyerhof a Ácido Láctico (ALac), sob a ação da enzima lactato-desidrogenase (MONTIPÓ, 2012). De acordo com Montipó (2012), a estereoespecificidade do ALac é dependente do micro-organismo escolhido.

As bactérias lácticas englobam um diverso grupo de bactérias Gram-positivas não formadoras de esporos. Essas bactérias existem nas formas de cocos ou bacilos (WOOD; HOLZAPFEL, 1995).

Lactococcus, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* e *Weisella* são os

gêneros mais estudados entre as bactérias lácticas (DAVIDSON et al., 1995; STILES; HOLZAPFEL, 1997; JAY, 2000; ERCOLINI et al., 2001; HOLZAPFEL et al., 2001; AXELSSON, 2004). *Lactobacillus* é o maior destes gêneros, compreendendo cerca de 80 espécies reconhecidas (AXELSSON, 2004). Os gêneros *Lactobacillus* (L.), *Streptococcus*, *Leuconostoc* e *Enterococcus* são os mais empregados.

Além destes, a produção de ácido láctico também pode ser obtida através do gênero *Trichoderma*. Fungos do gênero *Trichoderma* possuem uma distribuição bastante ampla, uma vez que são encontrados no mundo inteiro, em quase todos os tipos de solos bem como outros habitats naturais, especialmente, naqueles onde a matéria orgânica vegetal está presente (CORABI, 2002). A capacidade de *Trichoderma* spp. em colonizar materiais celulósicos já foi descrita por Simões (2010) e Asran-Amal e Abdel-Mongy (2007), sendo que Ghose e Grosh (1979) sugerem que o sistema enzimático mais promissor para o processo de sacarificação da celulose cristalina é *Trichoderma*.

A síntese de ácido láctico por bactérias lácticas tem como resultado um produto metabólico. As LAB têm a propriedade de produzir ácido láctico através da fermentação de carboidratos e têm sido utilizadas para fermentar alimentos há pelo menos 4.000 anos. Os *Lactobacillus* são estritamente fermentativos, aero-tolerantes ou anaeróbicos, acidófilos e com complexas exigências nutricionais como carboidratos, aminoácidos, peptídeos, ésteres de ácidos graxos, sais, vitaminas e derivados de ácidos nucleicos (LEITE, 2006). As bactérias lácticas podem ser divididas em dois subgrupos bioquímicos de acordo com os produtos formados a partir de glicose (JOHN, NAMPOOTHIRI; PANDEY, 2007; REDDY et al., 2008):

- Bactérias homofermentativas: produzem somente ALac (Ácido láctico).
- Bactérias heterofermentativas: juntamente com ALac, produzem etanol, ácido acético, diacetil, CO₂, dentre outros.

Os principais microrganismos empregados industrialmente para a produção do ácido láctico são as bactérias homoláticas do gênero *Lactobacillus* e *Streptococcus*. A espécie escolhida depende do carboidrato disponível e da temperatura a ser empregada: *Lactobacillus delbrueckie*, *Lactobacillus bulgaricus* necessitam de temperatura na faixa de 45-50°C; *Lactobacillus casei* e *Streptococcus lactis*, temperatura de aproximadamente 30°C, *Lactobacillus pentosis*, *Lactobacillus leishmanii*, temperatura acima de 30°C (CAPELLARI, 2010).

Grande parte das LABs homofermentativas consegue converter somente glicose em ALac. Em contraste, algumas LABs heterofermentativas são capazes de fermentar tanto

hexoses quanto pentoses, como *L. pentosus* ATCC 8041 e *L. bif fermentans* DSM 20003, utilizadas na produção de ALac a partir de espigas de milho e farelo de trigo, respectivamente (GIVRY; PREVOT; DUCHIRON, 2008; ZHU; LEE; ELANDER, 2007). A conversão das matérias-primas lignocelulósicas para a produção de ALac pode ocorrer de maneira convencional, com hidrólise e fermentação em separado (SHF) ou envolver estratégias de sacarificação e fermentação simultâneas (SSF). Esta última não apenas reduz os custos de produção, mas também fornece mais alta produtividade a partir da liberação adequada dos açúcares (JOHN et al., 2009). Entretanto, o sinergismo entre tal integração apenas pode ser atingido quando ambos os processos, hidrólise e fermentação, são compatíveis (KIM et al., 2010).

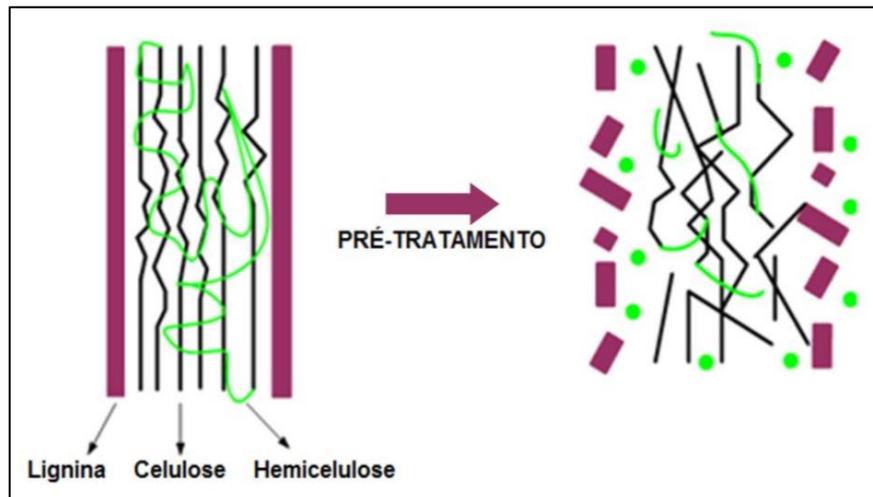
O ALac é comumente produzido em batelada, batelada alimentada e batelada repetida, sendo que o primeiro incorre em inibição do crescimento celular devido à produção do produto de interesse, bem como à formação de inibidores ao final da fermentação (OH et al., 2005; XU et al., 2006; GAO et al., 2012;). Nas culturas contínuas, as células são mantidas em condições estacionárias de crescimento. Sistemas de reciclagem celular com membranas, acoplados com culturas contínuas ou batelada repetida, demonstraram ser muito eficientes na produção de ALac (MIN-TIAN et al., 2005; KIM et al., 2006; WEE et al., 2006; WEE; RYU, 2009).

Neste contexto, pretendeu-se desenvolver uma proposta de processo economicamente viável para a produção de ALac, em escala semimicro, almejando o aproveitamento dos resíduos madeireiros como matéria-prima de baixo custo e, paralelamente, contribuir para a inovação tecnológica e para a solução de problemas ambientais. Contudo, segundo Menon e Rao (2012), os principais impedimentos no que diz respeito ao desenvolvimento de uma tecnologia economicamente viável para a biodegradação da celulose são: a intrínseca associação com a hemicelulose e com a lignina, a cristalinidade da estrutura, o grau de polimerização e a área superficial.

3.6 Pré-tratamento da biomassa lignocelulósica para biotransformação em Ácido láctico (Alac)

Tendo em vista que o pré-tratamento interfere nas etapas posteriores, a seleção por um pré-tratamento efetivo é imprescindível, uma vez que a intenção é desorganizar e provocar o rompimento do complexo lignocelulósico, aumentando a digestibilidade da celulose e tornando-a mais acessível à etapa hidrolítica (MONTIPÓ, 2012) (Figura 14).

Figura 14 - Pré-tratamento em biomassas lignocelulósicas.



Fonte: Adaptado de Hsu, Ladisch e Tsao, (1980).

De acordo com Taherzadeh, Karimi (2008) e Zhang (2008), um pré-tratamento efetivo e econômico deve englobar os seguintes requisitos: (1) tornar as fibras celulósicas acessíveis às hidrólises ácida/enzimática sem que ocorra degradação da celulose; (2) trabalhar em condições brandas de temperatura para evitar a degradação dos açúcares e a formação de possíveis inibidores às enzimas hidrolíticas e aos micro-organismos fermentadores; (3) consumir o mínimo possível de reagentes químicos; (4) reduzir custos relacionados à construção do reator; (5) minimizar a demanda energética; (6) gerar o mínimo de resíduos e (7) diminuir o número de etapas envolvidas.

Os pré-tratamentos podem ser divididos em quatro tipos: físicos, físico-químicos, químicos e biológicos, ou ainda, uma combinação destes que dependerá da natureza do material a ser tratado, do grau de separação requerido e do fim a que se destina o processo (KESHWANI; CHENG, 2009). As técnicas usuais de pré-tratamento envolvem sinergismo entre a ação do calor, do pH do meio e do tempo de exposição da matriz, nas condições do processo (ANTUNES et al., 2010).

Os pré-tratamentos físicos, normalmente, envolvem moagem, irradiação e extrusão; tendo como objetivo aperfeiçoar o processo hidrolítico, reduzindo a cristalinidade das fibras celulósicas, bem como eliminando as limitações de transferências de massa e calor (MENON; RAO, 2012). Os mais importantes pré-tratamentos físico-químicos incluem explosão a vapor (catalisada ou não por CO₂), explosão de fibras com amônia (AFEX) e água líquida quente (LHW) (TAHERZADEH, KARIMI, 2008).

Dentre as categorias de pré-tratamentos existentes, a classe dos químicos tem sido estudada extensivamente, e inclui tratamentos ácidos e alcalinos, principalmente, além da utilização de solventes orgânicos, peróxidos e ozônio (TAHERZADEH; KARIMI, 2008).

Entretanto, sob tais condições de pré-tratamento químico, distintos subprodutos são formados a partir da degradação dos açúcares e da lignina. Estes compostos integram três grupos principais: (1) derivados de furanos, tais como 5-HMF e furfural a partir da degradação de hexoses e pentoses, respectivamente; (2) ácidos orgânicos, principalmente acético, fórmico e levulínico, formados a partir da degradação do 5-HMF e do furfural e (3) compostos fenólicos como vanilina, siringaldeído, 4-hidroxibenzaldeído e fenol, gerados pela degradação parcial da lignina (ALMEIDA et al., 2007; ANTUNES et al., 2010). Tais produtos secundários afetam negativamente a fermentação devido à ação tóxica aos micro-organismos fermentativos (MUSSATTO; ROBERTO, 2004).

O pré-tratamento com micro-organismos é uma técnica sustentável e promissora, que apresenta a vantagem de não exigir o uso de reagentes químicos, operar em condições amenas de temperatura e necessitar baixa demanda energética (SALVACHÚA et al., 2011; KURAKAKE; IDE; KOMAKI, 2007). Todavia, este pré-tratamento é lento e requer um controle cuidadoso do crescimento microbiano (MENON; RAO, 2012). Adicionalmente, a sacarificação enzimática ainda é economicamente inviável, pois o custo das enzimas utilizadas no processo hidrolítico é relativamente alto e, também, requer emprego de pré-tratamentos físicos/químicos para chegar a rendimentos viáveis. Durante o processo hidrolítico, a maioria da hemicelulose e parte da celulose são hidrolisadas, sendo que uma grande quantidade de resíduo sólido (40-50%, m.m⁻¹, da matéria-prima), rico em lignina, fica concentrada (DIZHBITE et al., 2011). Caso este resíduo hidrolítico seja também eficientemente utilizado, a produção de insumos de biomassa lignocelulósica pode tornar-se mais viável economicamente e, paralelamente, o impacto ambiental resultante do descarte de resíduos seria prevenido (HUANG et al., 2012).

Matérias-primas como amido e açúcar refinado, por exemplo, perfazem a maior porção dos custos da rota fermentativa, representando um sério obstáculo na competição com a síntese química (DATTA et al., 1995). A solução deste impasse encontra-se no uso de biomassas lignocelulósicas que, conforme anteriormente citado, são abundantes, renováveis, de baixo custo e não competem com a produção de alimentos, e, ademais, servindo como fonte de carboidratos e nitrogênio aos micro-organismos (WANG et al., 2010). Sabendo-se da grande demanda por ALac pela indústria, hoje, tais características são fundamentais para a viabilidade da produção biotecnológica do ALac (BUSTOS et al., 2007; JOHN, NAMPOOTHIRI; PANDEY, 2007; WEE; KIM; RYU, 2006).

Bustos et al. (2007); John, Nampoothiri, Pandey, (2007); Wee, Kim e Ryu (2006), enfatizam ainda, que além do custo inferior destas matérias-primas, é desejável que o substrato contenha baixos níveis de contaminantes/compostos tóxicos, que permitam a

fermentação com o mínimo de pré-tratamentos e, paralelamente, com índices superiores de produtividade e rendimento, havendo pouca ou nenhuma formação de subprodutos.

3.7 Materiais poliméricos

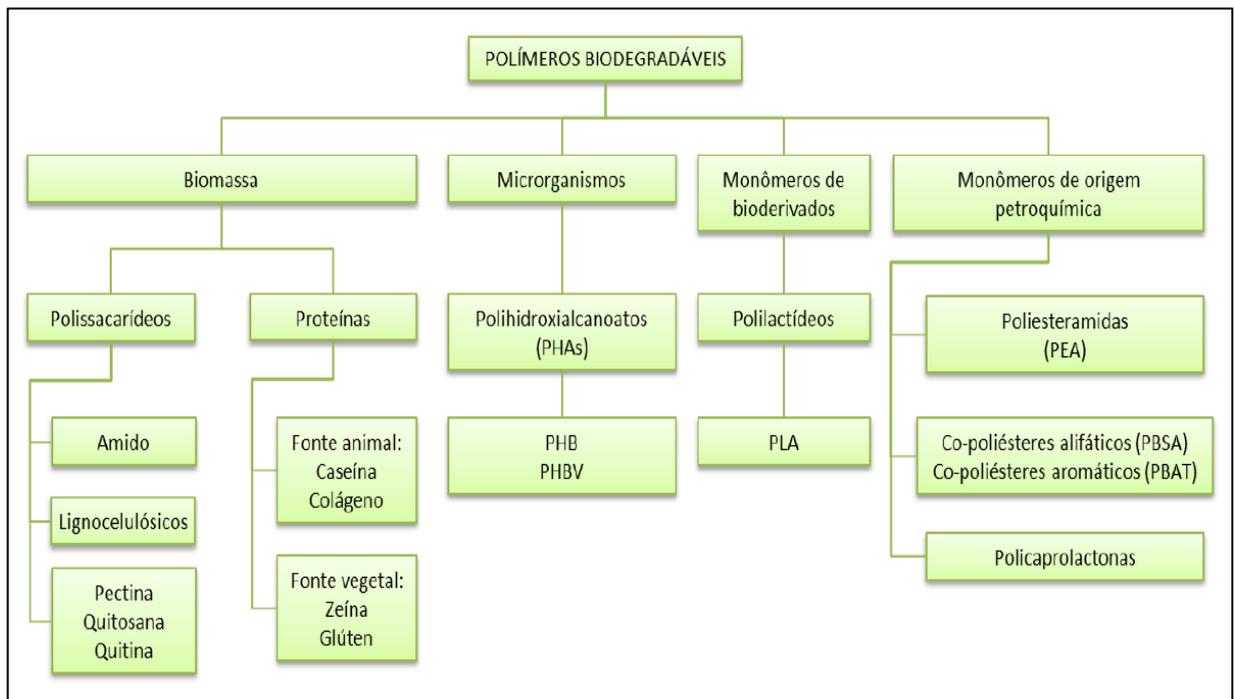
Polímeros são compostos orgânicos quimicamente baseados em carbono, hidrogênio e outros elementos não metálicos como oxigênio, nitrogênio e silício. Além disso, possuem estruturas moleculares grandes, chamadas de macromoléculas, com cadeia principal composta principalmente por átomos de carbono unidos por ligações covalentes (CALLISTER, 2007). De acordo com Callister (2007), estas macromoléculas são formadas pela união de várias unidades repetitivas, chamadas também como meros (de origem no grego que significa “parte”), as quais são formadas a partir de monômeros, moléculas que dão origem ao polímero (que no grego significa “muitos meros”). Para que ocorra a reação de polimerização, os monômeros precisam possuir grupos funcionais reativos ou ligações insaturadas capazes de reagirem e formarem ligações necessárias entre as unidades repetitivas, dando origem ao polímero (KUMAR; GUPTA, 2003).

As propriedades dos polímeros dependem de diversos fatores como natureza química da unidade repetitiva, massa molar, estrutura molecular (linear, ramificada, retificada ou em rede), cristalinidade (amorfo ou semi-cristalino), entre outros (PARIZE, 2016). De modo geral, os polímeros são dúcteis e flexíveis, relativamente inertes quimicamente e possuem baixa condutividade elétrica (CALLISTER, 2007). Existem diversos tipos de polímeros e dentre estes são exemplos o polietileno (PE), o poli (cloreto de vinila) (PVC), policarbonato (PC) e a borracha de silicone (PARIZE, 2016).

Quando se compara os polímeros quanto sua origem, pode-se definir como Polímeros biodegradáveis aqueles cuja degradação ocorre devido à ação de microrganismos, tais como bactérias, fungos e algas (PARIZE, 2016). De acordo com a norma ASTM D6400-12, um polímero para ser classificado como biodegradável deve satisfazer uma taxa de conversão do carbono inicial da biomassa em dióxido de carbono (CO₂) maior ou igual a 90% quando submetido a condições controladas estabelecidas pela norma, após 180 dias de teste.

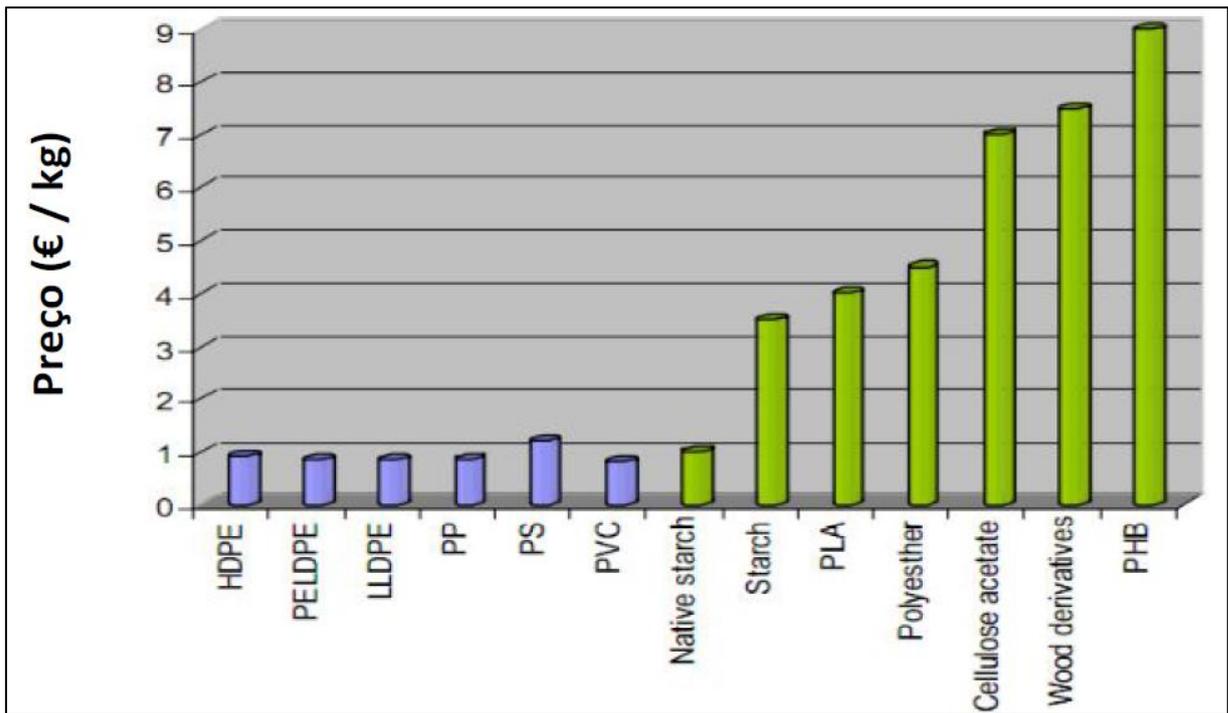
Há diferentes fontes de obtenção de polímeros biodegradáveis (Fluxograma 1), dentre eles existem aqueles obtidos de fontes renováveis (a partir da biomassa, sintetizados por microrganismos e por monômeros obtidos de fontes renováveis), como por exemplo, o amido termoplástico (TPS), os poli (α -hidroxialcanoatos) (PHAs) e o poli (ácido láctico) (PLA); e aqueles obtidos de monômeros de origem petroquímica, como a poli (ϵ -caprolactona) (PCL) e o poli (adipato-co-tereftalato de butileno) (PBAT) (AVÉROUS, 2004).

Fluxograma 1 - Principais fontes de obtenção de polímeros biodegradáveis e alguns exemplos.



Fonte: Adaptado de Avérous (2004).

Alguns polímeros biodegradáveis possuem propriedades comparáveis aos não biodegradáveis e por esta razão, a taxa de crescimento anual de vendas de polímeros biodegradáveis é crescente, aumentando significativamente o mercado para estes produtos (Gráfico 1). No entanto, algumas das suas propriedades, tais como resistência ao impacto, baixa viscosidade, alta permeabilidade a gás e baixa estabilidade térmica, restringe a utilização destes polímeros em uma gama de aplicações (OJJO; SINHA RAY, 2013).

Gráfico 1 - Comparação entre preço (€/kg) de polímeros sintéticos e biodegradáveis.

Fonte: Adaptado de De Barros (2011).

A substituição dos polímeros sintéticos tradicionais por polímeros biodegradáveis tem atraído a atenção de pesquisadores por ser uma das alternativas para reduzir problemas ambientais. De modo geral, os polímeros sintéticos são materiais de rápida descartabilidade e de baixas taxas de degradação, e seu acúmulo gera grandes volumes, reduzindo a vida útil de aterros sanitários e também prejudicando sistemas de drenagem pluvial (CARRASCO et al., 2010). Dentre os polímeros sintéticos (Tabela 1), apenas a policaprolactona (PCL) é biodegradável.

Tabela 1 - Tempos de degradação de alguns polímeros

Polímero	Tempo de Degradação
Politereftalato de etilo, PET	400 a milhares de anos
Polietileno, PE	100 a 400 anos
Polipropileno, PP	> 1000 anos
Ácido poli (lactico), PLA	1 semana a 24 meses
Policaprolactona, PCL	> 24 meses
Poliestireno OS	> 400 anos

Fonte: Oliveira (2006).

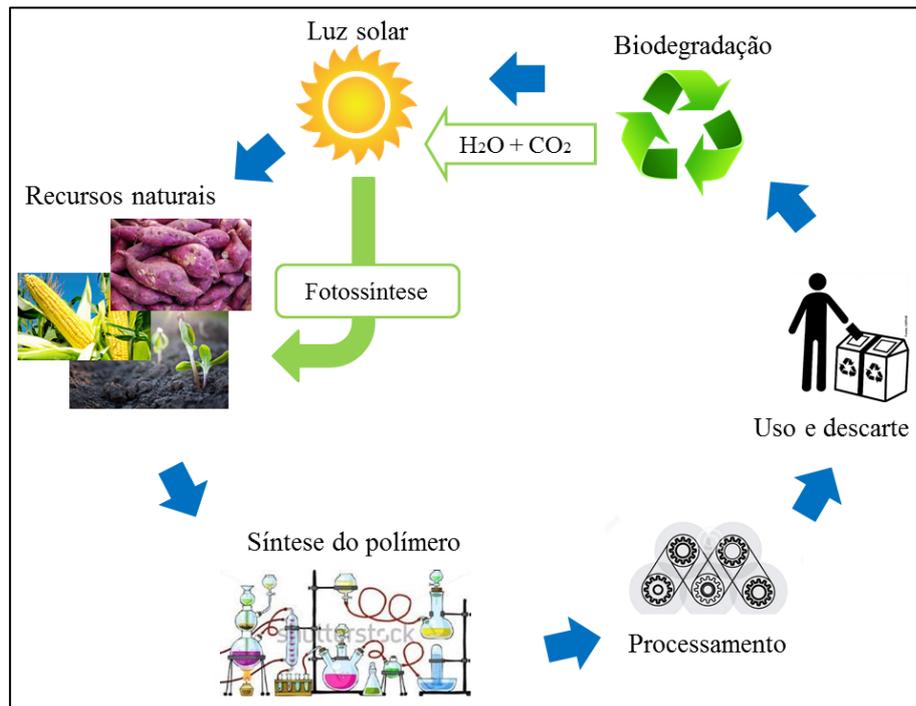
Dentre os polímeros biodegradáveis, o PLA, comercializado em nível mundial, destacam-se por ser utilizado em diversas aplicações. Alguns exemplos de aplicações são: embalagens para produtos alimentícios e de higiene, encapsulamento de sementes, liberação controlada de fármacos e defensivos agrícolas, tubetes para produção de mudas, sacolas, cápsulas para medicamentos, próteses e implantes reabsorvíveis, suporte para crescimento celular, entre outras (LUCKACHAN; PILLAI, 2011; LASPRILLA et al., LOPES et al., 2012).

O processo de biodegradação e bioreabsorção dos biopolímeros como o PLA é descrito na literatura como sendo uma sucessão de eventos. Inicialmente, o material sofre hidratação com a presença das moléculas de água, o processo de degradação ocorre através da hidrólise das ligações ésteres, originando produtos na forma de oligômeros, ou até mesmo monômeros, que são solúveis e não tóxicos. A degradação prossegue através de enzimas ou pela clivagem hidrolítica passiva, sendo caracterizada pela perda de massa e diminuição da massa molar, o que causa perda de suas propriedades mecânicas (MOTTA, 2002; ALI et al., 1993; BARBANTI; ZAVAGLIA; DUEK, 2005).

Para a utilização de polímeros biodegradáveis industrialmente na produção de bens de consumo se faz necessário reunir simultaneamente as características de biodegradabilidade do polímero com uma boa processabilidade, além de se obter um custo competitivo em relação aos polímeros convencionais (DE PAOLI, 2008).

Materiais poliméricos sintéticos não são biodegradáveis, levando anos, talvez séculos para serem absorvidos pelo planeta, e gerando assim um acúmulo de lixo que mesmo com medidas de reciclagem uma hora vai retornar a natureza novamente. As alternativas no mercado em relação a estes materiais, os polímeros biodegradáveis, oriundos de matéria orgânica, inicialmente parecem uma alternativa viável, porém o problema não é somente o descarte, mas sim a fabricação de tais produtos (Figura 15) (ABC do Polímero, 2010). Para fabricação agride-se o meio ambiente, seja para a extração do petróleo (polímeros sintéticos) ou para o cultivo de plantações (polímeros biodegradáveis) e depois de utilizados, vem a fase do descarte, onde os polímeros biodegradáveis em alguns dias serão absorvidos pelo planeta e os sintéticos ficarão anos no meio até serem absorvidos.

Figura 15 - Ciclo de vida ideal dos polímeros biodegradáveis provenientes de fontes renováveis.



Fonte: Adaptado de BRITO et al., 2011.

Em vista disso, utilizar os resíduos florestais como uma fonte natural torna-se uma saída para evitar agredir o meio ambiente com desmatamento com fins de plantação de espécies destinadas apenas a fabricação de polímeros. Com a alta quantidade de resíduos madeireiros que são gerados no processamento da madeira no processamento para a fabricação de móveis e fins industriais matéria prima não falta. Utilizar-se de um rejeito como fonte para um produto com diversas aplicações é uma saída mais que sustentável.

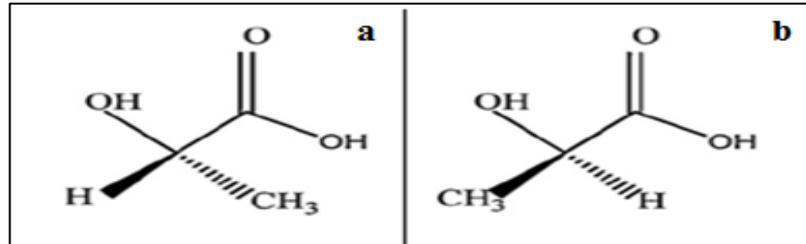
3.8 Polimerização do Poli (Ácido Lático) PLA

O Poli (Ácido Lático) (PLA) é um poliéster termoplástico alifático, biodegradável, compostável e biocompatível, produzido a partir de fontes renováveis (figura 16), o qual pertence à família dos α -hidroxiácidos e são sintetizados pela polimerização do ácido lático (GUPTA et al., 2007; LIM et al., 2008).

Devido à quiralidade do carbono α do ácido lático, é possível a síntese química de compostos enantioméricos (isômeros espaciais opticamente ativos), levógero (L-) e dextrógero (D-) rotatórios, dando origem a polímeros com propriedades distintas, sendo estes o poli(L-ácido lático) (PLLA) e o poli(D-ácido lático) (PDLA) (Figura 16), os quais são imagens especulares um do outro e opticamente ativos, bem como o poli (D,L-ácido lático) (PDLLA), opticamente inativo (SIMOES, 2007). A síntese química geralmente produz misturas racêmicas (PLLA+PDLA), porém a síntese bioquímica produz o isômero

ópticamente puro (GARLOTTA, 2002). Devido à distribuição aleatória das unidades L-e D- na cadeia polimérica, o polímero racêmico não possui domínios cristalinos (amorfo) e possui propriedades mecânicas inferiores quando comparado aos polímeros semicristalinos PLLA ou PDLA, os quais possuem propriedades físicas e químicas similares, diferindo apenas pelo seu efeito na luz polarizada (JEM et al., 2010).

Figura 16 - Estereoisômeros do ácido láctico: (a) ácido L-láctico e (b) ácido D-láctico.



Fonte: Rasal et al., 2010.

O PLLA apresenta uma cristalinidade em torno de 37% aproximadamente, sendo que o grau de cristalinidade depende do peso molecular e da rota de síntese. Possui temperatura de transição vítrea em torno de 60°C-65°C e ponto de fusão em torno de 175°C (MIDDLETON; TIPTON, 2000; NAIR; LAURENCIN, 2007). O PLLA possui baixa taxa de degradação, além de possuir boa resistência à tração, forma peças com grande resistência mecânica, o que o torna um excelente suporte biomédico (OLIVEIRA, 2008). Obteve sua aprovação pelo FDA em 1971, quando foi utilizado para fabricar fios de suturas melhorados para substituir o DEXON® (COOPER et al., 2005; LU et al., 2005; NAIR; LAURENCIN, 2007). Alguns produtos ortopédicos comerciais à base de PLLA são: Phantom Anchor® (DePuy), Full Thread Bio Interference Screw® (Arthrex), BioScrews®, Bio - Anchor®, Meniscal Stingers® e Clearfix Meniscal Dart® (NAIR; LAURENCIN, 2007).

Devido ao seu caráter hidrofóbico, a taxa de degradação do PLLA é muito lenta, podendo levar de 2 a 6 anos para polímeros com altos pesos moleculares. Naturalmente, a taxa de degradação também depende do grau de cristalinidade bem como a porosidade do polímero (NAIR; LAURENCIN, 2007; OLIVEIRA, 2008; UFSM, 2012). Embora o material comece a perder resistência em aproximadamente 6 meses após o início da hidrólise, perdas significativas de massa levam muito mais tempo (PELEIAS JUNIOR, 2013).

O Poli (DL-ácido láctico) (PDLA) é um polímero amorfo devido à distribuição aleatória de unidades monoméricas de L-ácido láctico e D-ácido láctico; ambos possuem temperatura de transição vítrea entre 55 - 60 °C (MIDDLETON; TIPTON, 2000, OLIVEIRA, 2008). Devido à natureza amorfa do polímero, quando comparado ao PLLA, o PDLA perde

a sua resistência dentro de 1-2 meses e, quando hidrolisado, sofre perdas significativas de massa dentro de 12-16 meses (MAURUS; KAEDING, 2004; NAIR; LAURENCIN, 2007). Sendo um polímero com uma taxa mais rápida de degradação comparado ao poli (L-ácido láctico), é um candidato preferencial para administração controlada de medicamentos e materiais de suporte para regeneração de tecidos (NAIR; LAURENCIN, 2007; OLIVEIRA, 2008).

O processo de formação dos materiais poliméricos (polimerização) podem ocorrer por quatro métodos: (1) Polimerização por policondensação direta, (2) policondensação azeotrópica, (3) polimerização em estado sólido (SSP), e (4) polimerização por abertura de anéis (ROP) (GUPTA, KUMAR, 2007). Os principais catalisadores usados na preparação deste polímero são: 2-etil hexanoato de estanho (II), alcóxidos de estanho (II) e isopropóxido de alumínio (ASTETE; SABLIOV, 2006). Dependendo do tipo de rota sintética utilizada podem ser gerados PLAs de alta massa molar ou PLAs amorfos.

O PLA de alta massa molar é um polímero termoplástico com coloração clara, brilhante, duro e com propriedades similares ao poliestireno. O PLA amorfo é solúvel em alguns solventes orgânicos como o tetrahydrofurano (THF), solventes clorados, benzeno, cetonitrila e dioxano. Já o cristalino, é solúvel em solventes clorados e benzeno em altas temperaturas (GARLOTTA, 2002).

O PLA é produzido em escala comercial e pode ser utilizado em diversas aplicações como utensílios domésticos e embalagens (AURAS et al., 2004; RASAL et al., 2010), peças para aplicações biomédicas, como implantes reabsorvíveis e suportes para crescimento celular na engenharia de tecidos (LASPRILLA et al., 2012), microesferas para liberação controlada de fármacos, pesticidas e fertilizantes (GUPTA; KUMAR, 2007), além de poder ser fiado para utilização em suturas e para produção de filmes não tecidos (GUPTA et al., 2007; LIM et al., 2008; MEDEIROS et al., 2009).

3.9 Métodos para síntese de poli(Ácido láctico)

A polimerização pode ocorrer por quatro métodos: (1) Policondensação direta, (2) Policondensação azeotrópica, (3) polimerização em estado sólido (SSP), e (4) polimerização por abertura de anéis (ROP) (GUPTA, A. P. KUMAR, 2007).

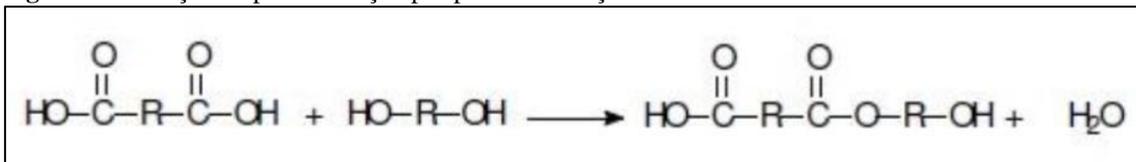
Os polímeros podem ser sintetizados em uma grande faixa de massa molar podendo ser obtidos principalmente por dois processos: (1) Reação de policondensação direta do ácido láctico levando a formação de produto de baixa massa molar e (2) Reação de polimerização por abertura do anel do dímero cíclico do ácido láctico, na presença de um catalisador

metálico gerando polímero de alta massa molar (LUNT, 1998; BENDIX, 1998; OLIVEIRA, 2008); além de polimerização por condensação azeotrópica e polimerização no estado sólido. A descrição de cada método elucida melhor o posicionamento desses autores.

3.9.1 Polimerização por policondensação direta

A polimerização do ácido láctico por policondensação ocorre na presença de um catalisador e em pressão reduzida. O método consiste na condensação sucessiva de grupos funcionais dos materiais iniciais, aumentando conseqüentemente o tamanho das moléculas. Em uma reação de um diácido com um diálcool gera-se um éster e água como subproduto (Figura 17). Quando se repete diversas vezes essa reação tem-se um poliéster gerado pelo processo de policondensação (GUPTA; KUMAR, 2007; OLIVEIRA, 2008).

Figura 17 - Reação de polimerização por policondensação.



Fonte: Oliveira (2008).

Neste método, há eliminação de moléculas de baixa massa molar, como a água, mostrada no exemplo acima. A massa molar aumenta com o tempo, pois grupos pequenos podem reagir com grupos maiores. Em contrapartida, o polímero final obtido possui baixa massa molecular (geralmente não maior que 10.000 Daltons), uma vez que é difícil remover a água gerada na reação da mistura final altamente viscosa (GUPTA; KUMAR, 2007; OLIVEIRA, 2008). Além disso, a estereoregularidade do polímero não pode ser controlada, resultando em um polímero com propriedades mecânicas ruins. Embora não há necessidade de se adicionar iniciadores (os grupos funcionais são reativos entre si), catalisadores são usados para acelerar o processo (GUPTA; KUMAR, 2007).

Para se obter polímeros com massas moleculares mais altas utilizam-se agentes de acoplamento. Entre os fatores que podem alterar a reação estão: tempo e temperatura de reação, catalisadores, adição equimolar de monômeros, funcionalidade dos componentes do sistema reacional e pressão (OLIVEIRA, 2008).

3.9.2 Polimerização por condensação azeotrópica

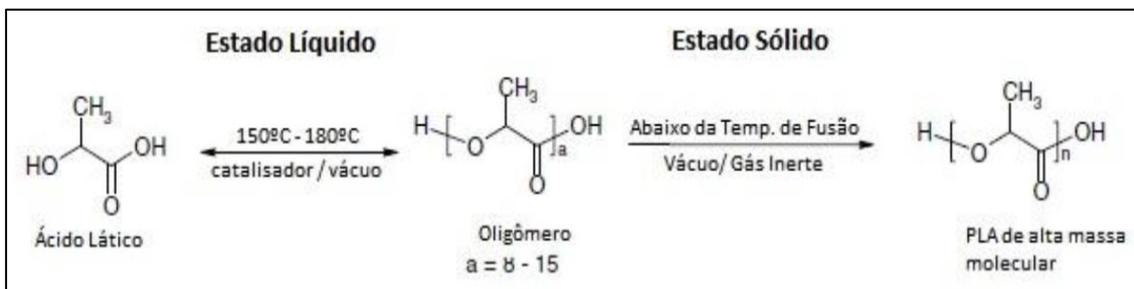
Polimerização por condensação azeotrópica podem produzir polímeros com massas moleculares altas. Neste método, o problema da remoção da água pode ser superado através

do controle do equilíbrio monômero/polímero em um solvente orgânico que forme mistura azeotrópica com a água, como por exemplo, benzeno e tolueno. O solvente também deve ter baixo ponto de ebulição e um catalisador com alta atividade catalítica (GUPTA; KUMAR, 2007; OLIVEIRA, 2008). A água, que é um subproduto da reação, podendo ser removida por destilação azeotrópica, deslocando o equilíbrio monômero/polímero. Há relatos na literatura da produção de poli(α -hidroxiácidos carboxílicos) com até 300.000 Daltons. A principal desvantagem do método é a dificuldade de se obter polímeros de alto teor de pureza e a toxicidade dos solventes utilizados (GUPTA; KUMAR, 2007; AJIOKA et al., 1995).

3.9.3 Polimerização no estado sólido

Neste método (Figura 18), é necessário ter um pré-polímero sólido, semi-cristalino (baixa massa molecular), que pode ser preparado pelo método de policondensação direta descrito acima. O polímero deve então ser aquecido a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de fusão, com a remoção simultânea dos subprodutos da reação, formados na superfície do material, por volatilização sob pressão reduzida ou por arraste com gás inerte (MOON et al., 2001a).

Figura 18 - Polimerização no estado sólido.



Fonte: Gupta; Kumar (2007).

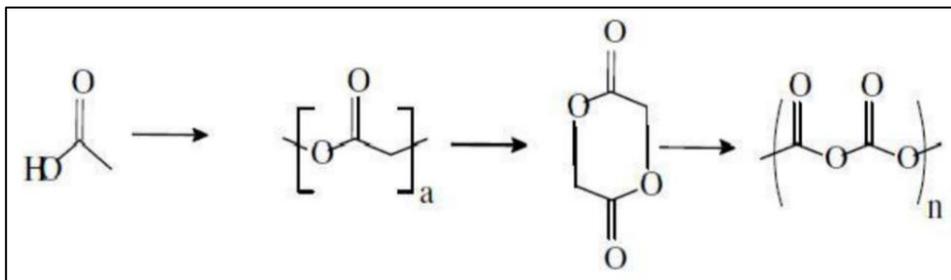
É primordial que a reação seja conduzida a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea, permitindo a mobilidade dos grupos terminais. Todavia, a temperatura não pode ser alta demais, o que poderia causar reações não desejadas. Embora o tempo de reação no estado sólido seja muito maior que no estado fundido, ou em solução, polímeros de altas massas moleculares podem ser produzidos (MOON et al., 2001b).

As vantagens desse método são: reações em temperaturas relativamente baixas, prevenindo degradações térmicas, hidrolíticas e oxidativas, redução da descoloração do polímero, propriedades mecânicas melhoradas e menor impacto ambiental, uma vez que não há necessidade do uso de solventes. As desvantagens são: alto tempo de reação e necessidade do pré-polímero para início da reação (GUPTA; KUMAR, 2007).

3.9.4 Polimerização por abertura de anel

Neste tipo de polimerização, parte-se de um dímero cíclico, que forma um anel e funciona como uma unidade monomérica. Através da abertura deste anel, tem-se a geração de uma bifuncionalidade, que ao reagir com outras unidades monoméricas, forma uma cadeia polimérica. Evidentemente, neste tipo de polimerização não há a formação de subprodutos durante a reação. Os dímeros cíclicos são produzidos a partir da despolimerização de polímeros de baixa massa molecular obtidos por policondensação (NAIR; LAURENCIN, 2007; GUPTA; KUMAR, 2007; OLIVEIRA, 2008). A figura 19 mostra, de um modo simplificado, as principais reações envolvidas para síntese de um polímero por abertura de anel.

Figura 19 - Reação de polimerização por abertura de anel.



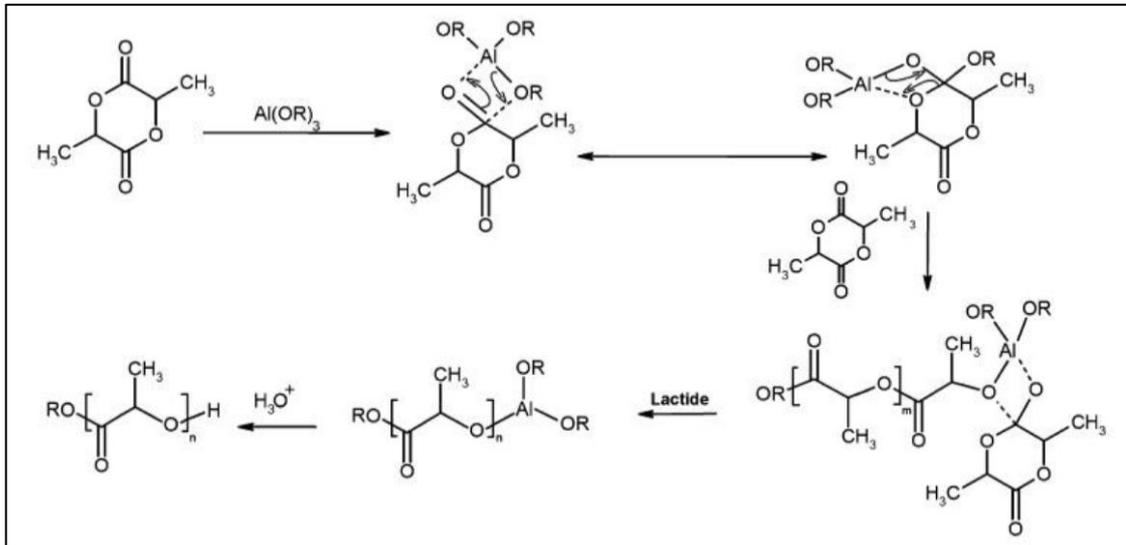
Fonte: Oliveira (2008).

A síntese de polímeros por abertura de anel é o método mais comumente estudado devido a possibilidade de variar as propriedades dos polímeros resultantes de forma mais controlada, ampliando o seu campo de aplicação. Como os dímeros cíclicos, lactídeo e glicolídeo podem apresentar impurezas, como a água, ou até mesmo os monômeros que não reagiram, é de extrema importância que um processo cuidadoso de purificação desses dímeros seja realizado (GUPTA; KUMAR, 2007).

A polimerização por abertura de anel pode ser classificada, de acordo com o mecanismo de reação, em: polimerização aniônica, polimerização catiônica e polimerização por coordenação - inserção. Os dois primeiros são pouco utilizados, uma vez que é muito difícil a obtenção de polímeros com alta massa molecular através desses mecanismos. Já o método que utiliza o mecanismo por coordenação - inserção é o mais estudado e permite a obtenção de materiais com alta massa molecular (GUPTA; KUMAR, 2007). Em estudo realizado por Gupta e Kumar (2007), o mecanismo de coordenação inserção, através da

polimerização do lactídeo, pode ocorrer utilizando-se alcóxido de alumínio como catalisador (Figura 20).

Figura 20 - Demonstração do mecanismo de coordenação - inserção na polimerização em PLA.



Fonte: Gupta e Kumar, (2007).

O primeiro passo do mecanismo ocorre quando o oxigênio exocíclico do dímero forma temporariamente um composto de coordenação com o metal presente no catalisador. Essa ligação aumenta a nucleofilicidade do catalisador (no exemplo acima, o alcóxido de alumínio), assim como a eletrofilicidade do grupo carbonila presente no dímero. No segundo passo, a ligação acila – oxigênio é quebrada e o lactídeo já aberto, é inserido no ligação metal-oxigênio do catalisador (STOLT; MARCRO, 1999; KRICHELDORF, 2001; GUPTA; KUMAR, 2007). A reação continua conforme os anéis de outras moléculas de lactídeo são abertos e inseridos no catalisador entre o átomo do metal e oxigênio adjacente (KRICHELDORF, 2001; STOLT; MARCRO, 1999).

Variando-se condições da reação (tempo, temperatura e concentração do catalisador), polímeros de diferentes massas moleculares são obtidos. O mecanismo de reação do glicolídeo é o mesmo, pois a única diferença é a ausência dos radicais metila. Embora uma grande variedade de catalisadores já ter sido pesquisada, o 2-etilhexanoato de estanho (octanoato de estanho—Sn(Oct) 2) é o mais utilizado em aplicações biomédicas. Entre suas principais vantagens, destaca-se: Alta eficiência, baixa risco de racemização, baixa toxicidade e boa solubilidade em solventes orgânicos, além de ser aprovado pelo FDA (MOTTA, 2002; EDLUNG; ALBERTSSON, 2003; GUPTA; KUMAR, 2007).

As vantagens da polimerização por abertura de anel são: menor tempo de reação e maiores taxas de conversão do monômero. Como desvantagens, destacam-se: custos mais

altos de produção e dificuldades técnicas para obtenção de os dímeros cíclicos com elevada pureza (MOTTA, 2002; EDLUNG; ALBERTSSON, 2003).

Dentre as rotas de síntese citadas a de mais fácil de se trabalhar e reproduzir é a polimerização por policondensação direta. O interesse na obtenção de PLA por esse método se deve a viabilidade desse processo ser mais simples e por ser um método onde também pode-se obter polímeros de massa molar alta, segundo Gogolewski (2000) massas molares elevadas garantem melhores propriedades mecânicas nos polímeros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental deste trabalho, referente a síntese de materiais, foi desenvolvida nos laboratórios: Laboratório de Química da biomassa Florestal – QuiBioFlo, da Universidade Federal do Pará, Campus de Altamira, sob orientação da Profa. Dra. Patrícia Bilhava; e parte realizada Laboratório de Química Aplicada do Instituto de Ciência e Tecnologia das Águas – ICTA, da Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Santarém.

4.1 Coleta do material vegetal e preparo da amostra

Os resíduos florestais das espécies *A. lecointei* e *C. odorata* foram coletados de uma das marcenarias utilizadas na pesquisa, sendo que esta encontra-se situada na Travessa Duque de Caxias, Bairro Amparo Conquista, no município de Santarém-Pa, coordenadas: S 02° 45'25.94" W 054° 74'79.32".

As amostras de cada espécie madeireira foram colhidas, separadamente, ambas no mesmo dia e acondicionadas logo após o processamento da madeira em sacos de volume aproximado de 20 litros cada. A preparação do resíduo se deu por meio de moagem em moinho de facas (Figura 21) onde foram separados para uso posterior o resíduo moído com granulometria entre 40 e 60 mesh. A moagem se deu até obter-se uma quantidade de 1 quilo de cada espécie.

Figura 21 - Maravalha colida após processamento da madeira a esquerda e após moagem em moinho de facas.



Fonte: A autora.

4.2 Caracterização de matéria prima

A matéria prima, moída, de cada uma das espécies foi caracterizada quimicamente de acordo com método padrão estabelecido TAPPI (2007): teor de umidade (NBR 7190 (ABNT,1996)), teor de cinzas (TAPPI 211 om-93), extrativos etanol-tolueno (TAPPI 204 om-97), lignina Klason (TAPPI 222 om-98), holocelulose (TAPPI T09), α -celulose (TAPPI 203 om-93) e Teor de hemicelulose por diferença (Holocelulose – Celulose). Esses dados foram analisados estatisticamente pela análise de variância ANOVA, teste de Tukey 95% de confiança. No software Statigraphic Centurión.

4.3 Separação dos componentes lignocelulósicos por Hidrólise Ácida

A produção de ácido láctico inicia no processo da extração da celulose e hemicelulose da biomassa por hidrólise ácida. Para o processo de hidrólise ácida da biomassa foram utilizados 30 g do resíduo e adicionados à 300 mL de solução de ácido clorídrico (3,2 mol/L) em béquer. A solução foi colocada em banho-maria em temperaturas entre 44 a 60 °C, com agitação constante. A cada 2 horas, uma alíquota de 37,5 mL foi retirada e teve seu pH ajustado para 5,5 com 36 mL de solução de hidróxido de sódio (1 mol/L). O processo ocorreu até se completar 8 horas de hidrólise (adaptado de THYS et al, 2013).

4.4 Obtenção do Ácido láctico

Os processos metodológicos descritos para obtenção do Ácido láctico, por via fermentativa foram baseados em estudo desenvolvido por THYS et al. (2013). Os microrganismos utilizados neste estudo para esta etapa foram: *Saccharomyces cerevisiae*, obtido

comercialmente em supermercado na cidade de Altamira, e *Lactobacillus casei*, obtido em farmácia de manipulação na cidade de Santarém.

Utilizou-se uma mistura de 200 mL do meio hidrolisado (o que pode conter até 15% de glicose convertida, ou seja, 30 mL); 3 g de carbonato de cálcio (CaCO₃) (o que equivale a 10% de glicose convertida), e 0,5 g de fosfato de amônio e 10 g de extrato de levedura. A fermentação durou entre 24 à 72 horas sob uma temperatura de 45 a 60°C. No final de cada tempo de fermentação, o meio foi ajustado para pH 10 e aquecido para solubilizar o lactato de cálcio e coagular as proteínas presentes. Após concentração por evaporação, o ácido láctico livre obtido foi separado da cultura fermentável (por centrifugação) e purificado antes da polimerização para remoção do sulfato de cálcio formado.

4.5 Síntese do poli(ácido láctico) (PLA)

A obtenção do PLA ocorre em dois estágios consecutivos: o primeiro a síntese de ácido láctico e a segunda polimerização. A rota de síntese escolhida nesse trabalho foi a polimerização por policondensação direta. A polimerização ocorreu de acordo com estudo desenvolvido por Thys et al. (2013). A polimerização se dá pela adição de ácido sulfúrico nos ácidos lácticos obtidos, onde partículas de granulometria esféricas (sólido regular) ou cristalográfica (sólido amorfo) formam-se pela peletização do ácido láctico. Foi adicionado ao meio convertido de ácido láctico, por gotejamento, ácido sulfúrico até o meio ficar translúcido, o que indica remoção total do carbonato. Posteriormente o concentrado foi deixado em repouso por 24 horas para que ocorra a formação do polímero através da cristalização do ácido láctico.

4.6 Análise dos polímeros obtidos

A matéria prima foi caracterizada segundo os seguintes ensaios: Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios X (DRX).

Os polímeros sintetizados foram analisados estruturalmente por meio de espectroscopia na região do infravermelho na região de 4000cm⁻¹ a 500cm⁻¹. Os programas computacionais utilizados para a análise dos espectros de FT-IR e para os difratogramas foram o OPUS (Bruker, versão 3.1) e Origin (OriginLabversão 9.0). Para o tratamento das curvas de análises térmicas foi também utilizado o programa Origin (OriginLabversão 9.0). Para a

execução do DRX foi utilizado o aparelho espectrômetro com ensaio de espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) e variação de 10° a 80°.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 mostra os percentuais da caracterização química dos resíduos de cedro e muiracatiara, sendo estes importantes para identificar a taxa de produção de ácido lático para cada espécie.

Tabela 2 - Propriedades químicas das madeiras utilizadas no estudo.

Análise (%)	Cedro	Muiracatiara
Teor de umidade	10,0735±0,2020a	9,7762±0,0345a
Teor de extrativos	6,3795±0,4725b	14,9395±0,6446a
Teor de lignina insolúvel	31,9912 ±2,04054a	25,8581±3,78196b
Teor de holocelulose	61,0934 ±1,8650a	58,5649±4,2153b
Teor de α-celulose	45,4553±1,38761a	39,4897±2,84232b
Teor de hemiceluloses	15,6381±0,4773b	19,0753±1,3730a
Teor de cinzas	0,5359±0,0285b	0,6374±0,0318a

*Médias seguidas de *mesma letra na linha* não diferem estatisticamente entre si. Entre parenteses as análises de desvio padrão.

Fonte: A autora.

De acordo com Lobão et. al (2011), os valores encontrados para teor de extrativos (5,8 %), lignina (31,39%) e holocelulose (62,81) de *C. odorata* correspondem aos dados encontrados neste estudo. Do mesmo modo, Longui (2009) encontrou valores próximos para a caracterização química de *A. leicontei*, nos mesmos parâmetros avaliados neste estudo, extrativos totais, (14±6,7%), lignina (30,5±1,4) e holocelulose (54,5±5,6). Esses valores ligam-se diretamente a produção dos biopolímeros, uma etapa que desde o início propõe uma metodologia que vai de encontro ao uso de polímeros sintéticos. Mas, para tanto, se faz necessário o desenvolvimento de várias etapas, desde o preparo do material lignocelulósico, a síntese de Ácido lático e a produção dos polímeros de PLA.

Segundo Santos et al. (2012), várias metodologias de pré-tratamento para as biomassas lignocelulósicas são estudadas. No entanto, nenhuma dessas pode ser declarada a mais eficaz devido a cada uma tem suas vantagens e desvantagens intrínsecas. Em trabalho realizado por De Oliveira, Buzato e Haully (2005) sobre “Produção contínua de ácido lático por

Lactobacillus curvatus a partir de melaço de cana-de-açúcar suplementado”, concluíram que as menores taxas de diluição do meio favorecem o rendimento e produtividade do Ácido láctico, porém consomem moderadamente mais açúcares e necessitam de um maior tempo de fermentação.

Em trabalho desenvolvido por Guilherme, Pinto e Rodrigues (2009), “Avaliação da produção de Ácido láctico por *Leuconostoc mesenteroides* B512F em xarope de caju”, os autores concluíram que um meio rico em minerais e açúcares, é um bom substrato para a produção de produtos obtidos por processos fermentativos. Contudo dependendo do meio este deve ser enriquecido com fonte externa para suprir as necessidades nutricionais do microrganismo fermentador. Neste estudo as melhores taxas de produção de ácido láctico se deram em 24 horas e de polimerização se deram em 48 horas (Tabela 3), e que no processo de otimização deve-se atentar as taxas de pH para que este seja controlado. No caso deste estudo, níveis de pH abaixo de 5,0 não são satisfatórios, pois se observou uma redução das taxas metabólicas da linhagem estudada para valores de pH em torno de 4,3. Capellari (2010), em estudo sobre “Biossíntese de ácido láctico por *Lactobacillus amylovorus* a partir de resíduos agroindustriais”, também verificou que houve um decréscimo no consumo de substrato a partir de 24 horas de processo, prosseguindo até 56 horas de cultivo, sendo totalmente consumido, enquanto o pH diminuiu a partir de 16 horas de cultivo, passando de um pH de 6,42 no tempo inicial para pH de 4,28 no término do processo fermentativo, o que evidencia novamente que valores de pH não adequados prejudicam o processo fermentativo.

Tabela 3 - Rendimentos em gramas da polimerização do Ac. Láctico.

	Tempo	<i>L. casei</i>	<i>S. cerevisiae</i>
CEDRO	24 h	0,757	1,5046
	48 h	1,2175	1,1988
	72 h	0,3537	1,1893
MUIRACATIARA	24 h	0,6467	1,7685
	48 h	1,0785	1,2033
	72 h	0,2942	1,0043

Fonte: A autora.

5.1 Produção de ácido láctico

A fermentação direta como proposto pela metodologia de Thys (2013) visa a obtenção do ácido láctico via fermentação direta do material, onde o resíduo sofre hidrólise ácida e posteriormente passa pela fermentação para geração do ácido. O rendimento deste é diretamente proporcional a taxa de conversão da glicose obtida da fonte do resíduo,

holocelulose (que é composta de celulose e hemicelulose). Tendo em vista que a hemicelulose tem peso molecular mais baixo que a celulose, é mais fácil a quebra de sua molécula e consequente transformação em ácido láctico, sendo esta uma conversão quase total. Assim o percentual de obtenção do ácido láctico total, conversão de hemicelulose+celulose, está ligado a modificações na técnica de fermentação que visam otimizar essa conversão para sua totalidade.

Assim quanto mais eficaz, mais este percentual se aproximara dos valores de holocelulose das espécies estudadas. Neste estudo os valores de holocelulose obtidos são de 61,0934% para *C. odorata* e 58,5649% para *A. leicontei*. Quanto mais os valores de ácido láctico se aproximarem destes, mais eficaz foi a técnica empregada. Os valores de hemicelulose para *C. odorata* e para *A. leicontei* são 15,6381% e 19,0753% o que indica que este é o valor mínimo que se espera de produção de ácido láctico.

A avaliação foi realizada a partir do ácido láctico separado na fermentação (Figura 22). O ácido obtido nos 3 tempos (24, 48 e 72h) de fermentação, foi avaliado quanto a melhor taxa de produção de ácido láctico e melhor taxa de conversão em PLA. Foram avaliados os dois resíduos madeireiros de cedro (1) e muiracatiara (2) submetidos a fermentação com dois microrganismos: *Saccharomyces cerevisiae* e *Lactobacillus casei*.

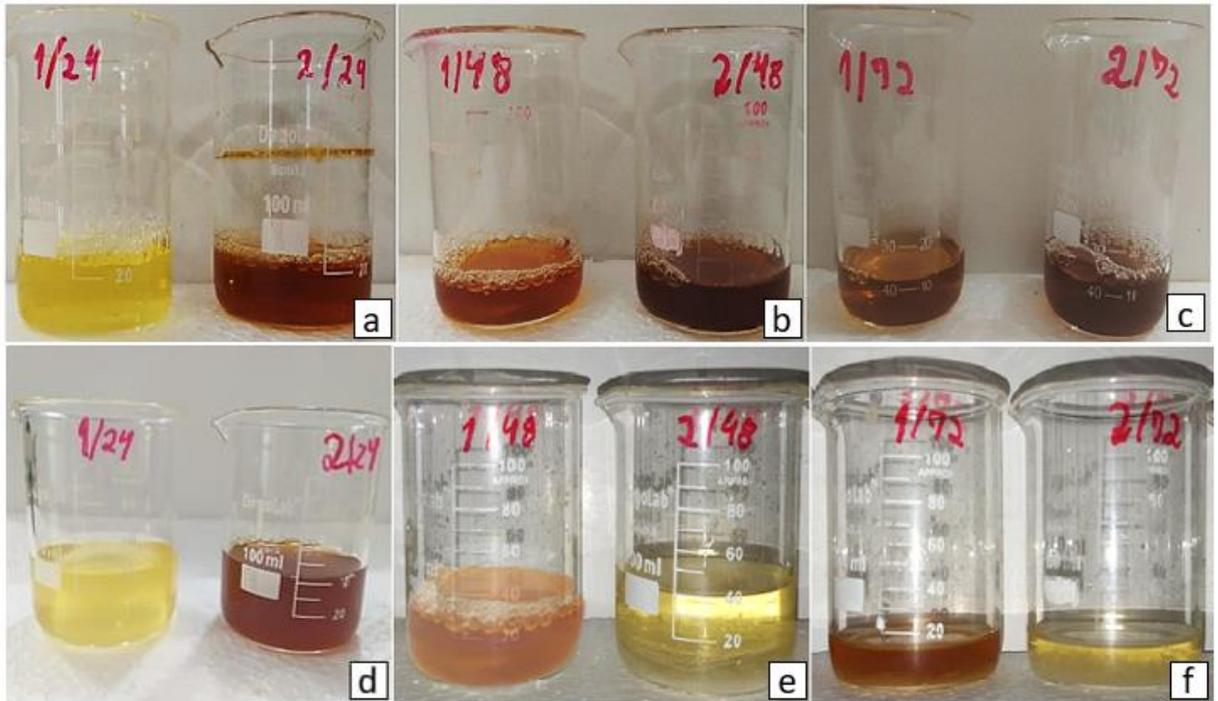
Figura 22 - Ácido láctico no final da fermentação, antes da correção de pH (a esquerda) e com as proteínas coaguladas (a direita), obtidos após 24 horas de fermentação.



Fonte: A autora

Com relação ao rendimento do Ácido Láctico este apresentou quantidades semelhantes para os tempos 24 e 48 horas, e um rendimento menor no tempo de 72 horas (Figura 23). Este rendimento foi tanto para o Ac. Láctico obtido a partir de *S. cerevisiae* quanto para *L. casei*.

Figura 23 - Ácido lático proveniente das fermentações com *S. cerevisiae* nos tempos de 24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas e com *L. casei*. 24 (d), 48 (e) e 72 (f) horas.



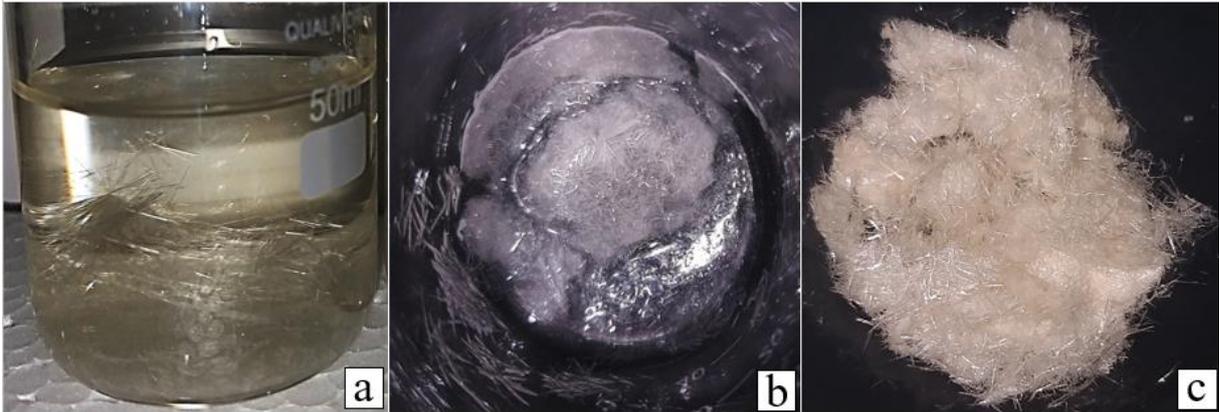
Fonte: A autora

Segundo pesquisa desenvolvida por Jahno (2005), a síntese do Poli(L-ácido lático) (PLA) como biomaterial gerada através do método policondensação direta possui potencial uso clínico como utilização em materiais de implante.

5.2 Obtenção dos polímeros gerados

Os polímeros, PLA, formados apresentaram estrutura cristalográfica (Figura 24a e 24b). O método utilizado neste estudo gerou no processo de polimerização cristais, o que visa uma empregabilidade com ingrediente para inserção em outros materiais como gessos e tintas. Os cristais formados, já secos, foram macerados em grau de água e posteriormente levados para análise do material (Figura 24c).

Figura 24 - Processo de polimerização do Ac. Láctico: cristais no meio líquido (a), cristais (b), cristais secos (c).



Fonte: A autora.

5.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

De acordo com Peleias Jr. et al. (2015), em relação aos processos de caracterização a técnica de espectroscopia IV é eficiente no processo de análise da estrutura da molécula esperada. Neste estudo todos os polímeros obtidos apresentaram as mesmas bandas de absorção em regiões muito próximas, em torno de 1.600, 1.100 e 600 cm^{-1} .

Os sinais característicos são mostrados em ambos; para os comprimentos de onda são dados em: 3427 cm^{-1} (estiramento OH), 2989 e 2925 cm^{-1} (estiramentos-CH alcano), 1213 e 1120 $^{-1}$ (estiramentos de -C- do grupo ácido). Para as bandas 1454 e 1376 cm^{-1} , flexões simétricas dos grupos CH e CH3 aumentam, o sinal em 1090 cm^{-1} (estiramento-CO-) aumenta pela formação das ligações éster. De acordo com trabalho realizado por Francisco (2017), as bandas observadas no espectro de infravermelho do filamento de PLA encontradas em sua pesquisa correspondem as transmitâncias: 2993; 2944; 2918; 2850 para -C-H estiramento assimétrico/simétrico (-CH- e - CH3); 1749 para -C=O estiramento de carbonila; 1448 para -CH3 dobramento assimétrico; 1381; 1363 para -CH- dobramento assimétrico/simétrico (-CH- e - CH3); 1267 para -C-H dobramento + -C-O estiramento; 1178 para -C-O-C- estiramento; 1106 para -CH3 balanço; 1080 para -C-O-C- estiramento; 1039 para -C-CH3 estiramento; 955 para -CH3 balanço; 865 para -C-C- estiramento da fase amorfa; 755 para -C=O dobramento da fase cristalina.

Para melhor análise dos polímeros, estes foram identificados por números de acordo com a espécie, tempo e microrganismo utilizado na fermentação como mostra a tabela 4.

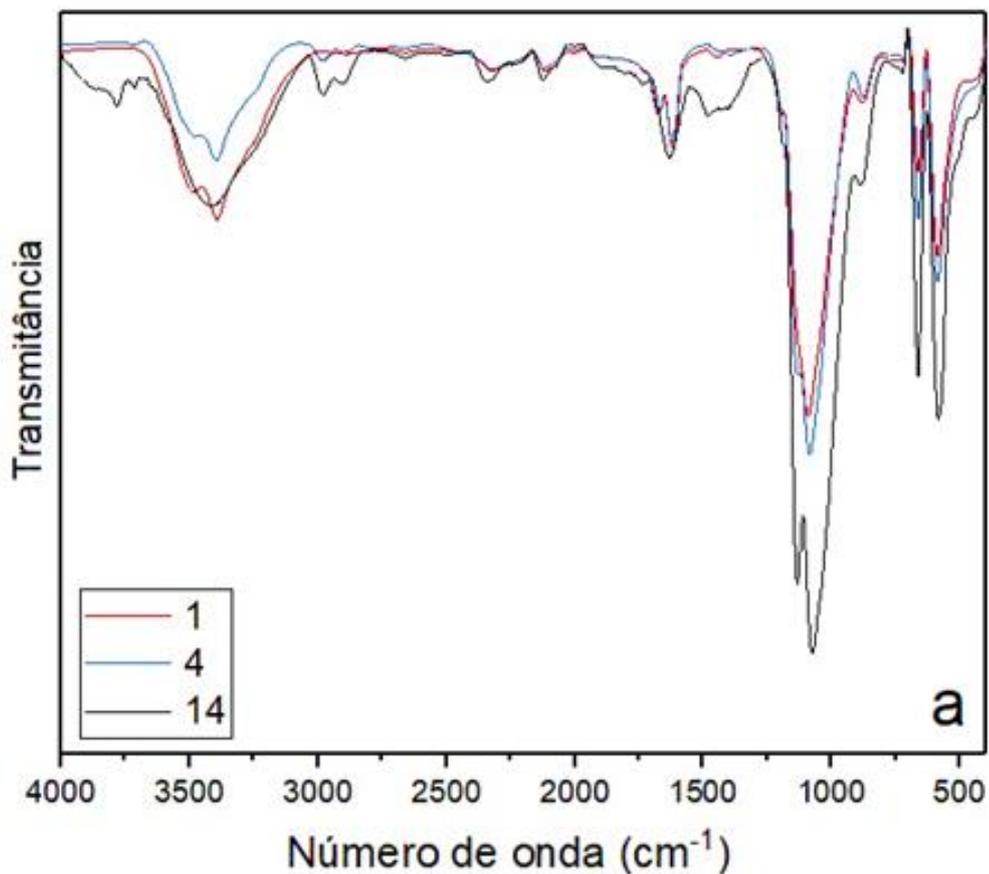
Tabela 4 - Identificação usada para os tempos de fermentação.

	Fermentação	<i>L. casei</i>	<i>S. cerevisiae</i>
CEDRO	24 h	1	11
	48 h	2	12
	72 h	3	13
MUIRACATIARA	24 h	4	14
	48 h	5	15
	72 h	6	16

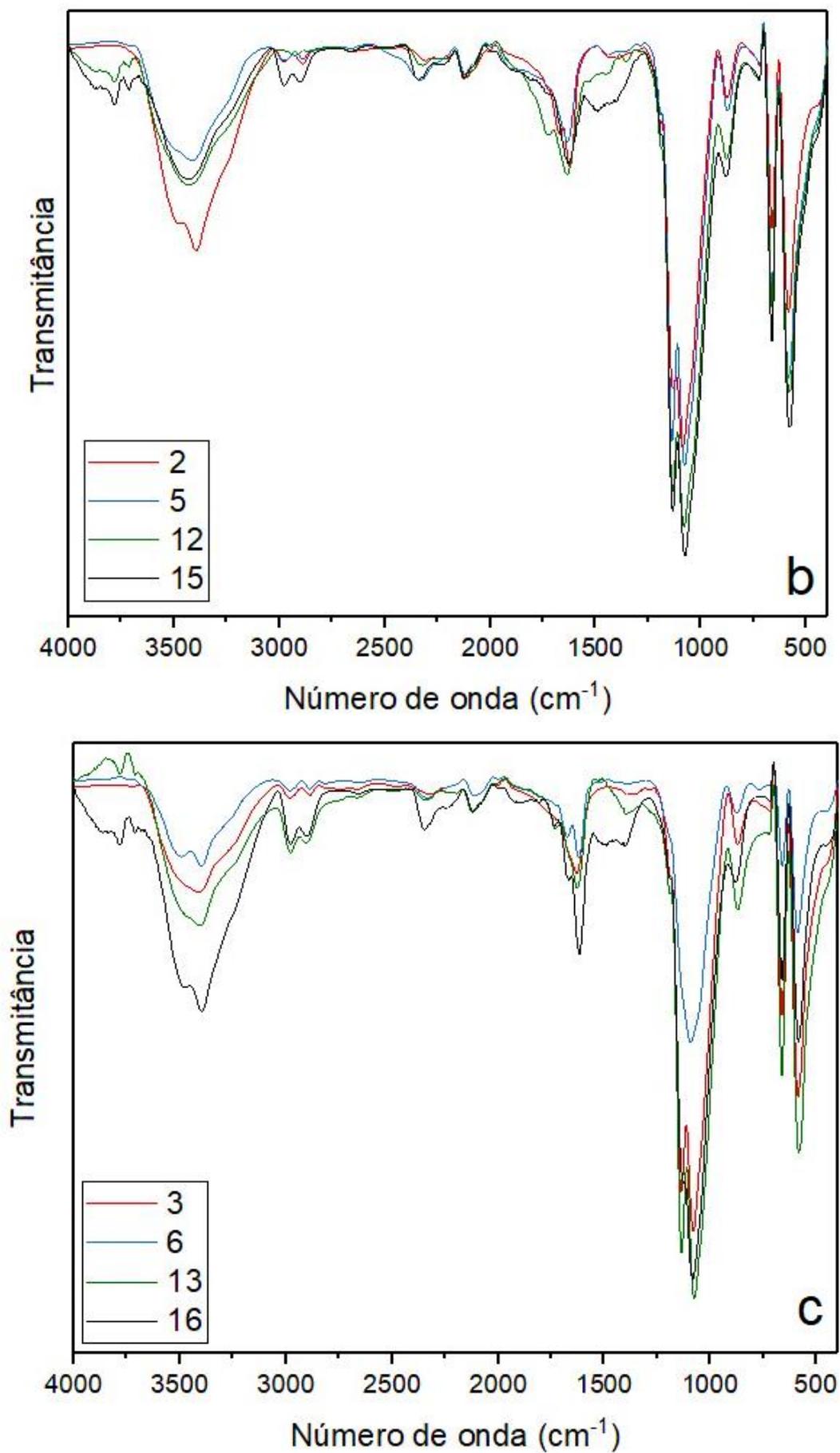
Fonte: A autora

A figura 25 mostra o espectro de transmitância dos cristais formados, indicando os principais picos formados ao longo dos intervalos de tempo (24, 48 e 72 horas) e as principais faixas de absorção $1600-1650\text{ cm}^{-1}$, $1140-1100\text{ cm}^{-1}$ e $670-580\text{ cm}^{-1}$. A amostra 11 estava inviável para análise e por isso foi retirada desta parte experimental da pesquisa

Figura 25 – Espectros de Transmitância no IV formados para os tempos: 24 horas (a), 48 horas (b) e 72 horas (c).



Continuação Figura 25



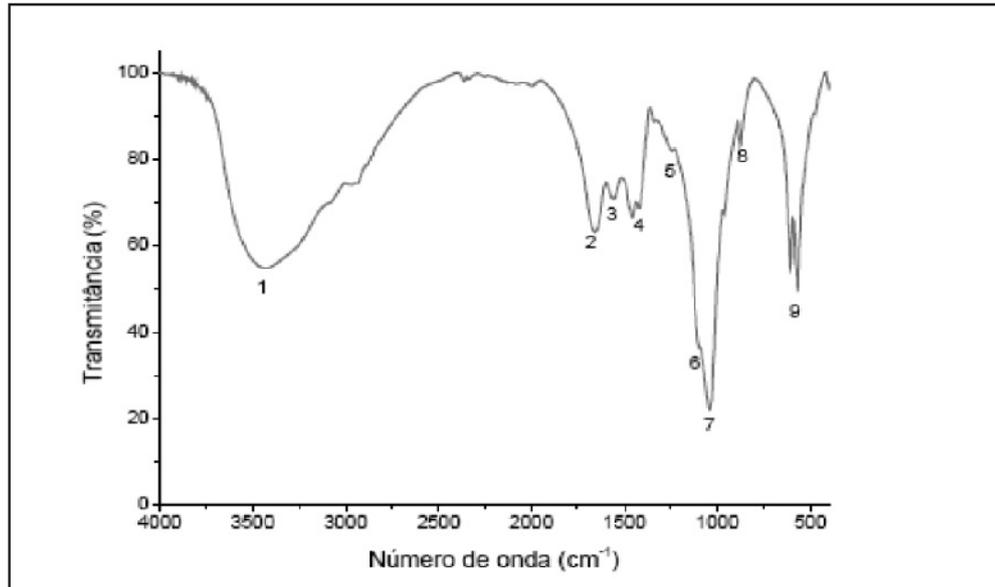
Fonte: A autora.

Com relação as bandas obtidas nos resultados dessa pesquisa, esses espectros apresentam picos e bandas transmitância semelhante àquela obtida por Jiménez et al. 2012, que sintetizaram e caracterizaram poli (ácido láctico) por policondensação direto do ácido láctico produzido a partir de a fermentação de resíduos agroindustriais, no caso de seu trabalho utilizando resíduos de banana. Com proximidade para os picos em torno de 3.400, 1600, 1100 e 600 cm^{-1} . Contudo não havendo transmitância na região em torno de 1.750, principal pico característico do PLA.

Em estudo realizado por Santos et al. (2019), em desenvolvimento de biomaterial por composto de hidroxiapatita (HAp), a análise do espectro de Infravermelho da HAp pura mostrou a presença de uma banda em 3.400 cm^{-1} referente às vibrações de estiramento de grupos OH presentes na HAp como também a de grupos OH provenientes de água fissorvida sobre a superfície do material. Uma banda na região entre 845 e 725 cm^{-1} foi relacionada ao estiramento do grupamento P-O(H). A banda presente na região de 1050 cm^{-1} correspondeu à deformação assimétrica dos grupos fosfatos (PO_4^{3-}). Sobre o fosfato também se pode destacar a banda em 611 cm^{-1} referente à deformação assimétrica P-O. Sobre o grupamento P-O(H), verificou-se a presença de bandas em 566 e 470 cm^{-1} correspondendo à deformação assimétrica do grupamento HPO_4^{2-} (SILVERSTEIN, 2006 e RAMAKRISHNAN, 1986). Esses espectros muito se assemelham com os encontrados nessa pesquisa, indicando que o composto formado se aproxima mais de uma hidroxiapatita do que de um PLA.

Em trabalho realizado por Caracterização físico-química do enxerto de osso bovino liofilizado por Galia et al. (2011), mostra também picos em comprimentos de onda semelhantes (Figura 26) aos encontrados nessa pesquisa: 3.427 moléculas de água estruturais ou absorvidas, 1.654 deformação axial da ligação C=O, 1.100 íons fosfato, 1.037 íons fosfato, 872 íons OH da ligação P-OH, 564 íons fosfato. Em pesquisa realizada por Eden (2010), Produção de Nanocompositos de celulose bacteriana e hidroxiapatita como rota para valorização de resíduos agroindustriais, a banda na região de 3.350 cm^{-1} é característica do estiramento dos grupos hidroxila presentes na celulose tipo I. Além desta, as principais atribuições que caracterizam o polímero de celulose são 2.900 cm^{-1} : estiramento CH e estiramento assimétrico CH_2 ; 1.637 cm^{-1} : deformação OH; 1.427 cm^{-1} : deformação CH_2 ; 1.336 cm^{-1} : deformação OH. Esses comprimentos também se assemelham ao achado nesse trabalho, o que pode indicar que houve preservação de celulose e formação de um possível composto com mistura dela (celulose) e hidroxiapatita.

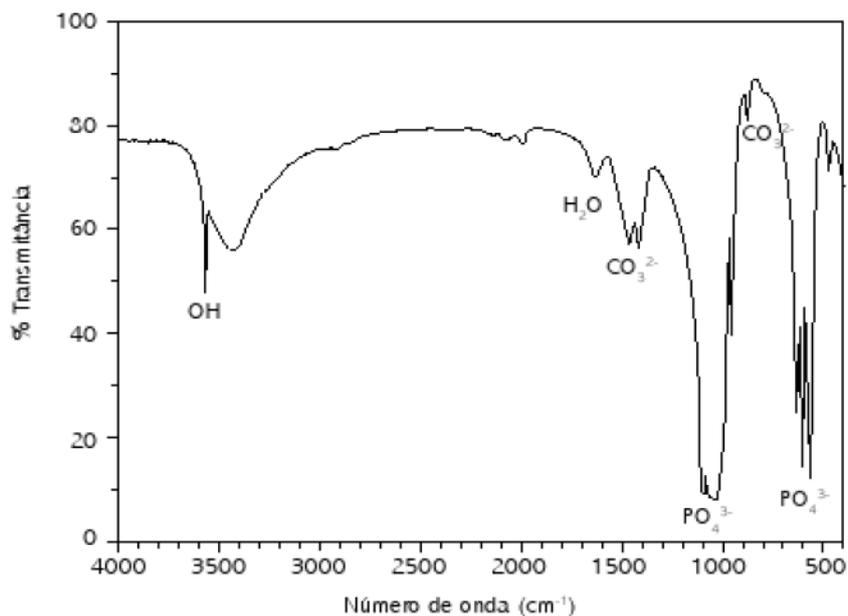
Figura 26 - Espectro de FT-IR indicando as principais bandas observadas.



Fonte: Galia et al. (2011).

Em trabalho intitulado Síntese e Caracterização de Hidroxiapatita obtida pelo método de precipitação, os autores Rigo, Gehrke e Carbonari (2007) obtiveram como resultado do espectro de absorção no IV (Figura 27) as bandas que caracterizam a fase da HA; em 491 cm^{-1} , 563 cm^{-1} , 603 cm^{-1} , 1043 cm^{-1} e 1088 cm^{-1} tem-se os picos referentes ao grupamento PO_4^{3-} , 636 cm^{-1} e 3574 cm^{-1} , referentes ao grupamento OH^- . A banda em 871 cm^{-1} representa vibrações moleculares do grupo CO_3^{2-} , o que indica a presença deste grupo na fase, sendo hidroxiapatita carbonata devido a substituição iônica do carbonato na estrutura da HA.

Figura 27 – Espectroscopia no infravermelho do pó de hidroxiapatita

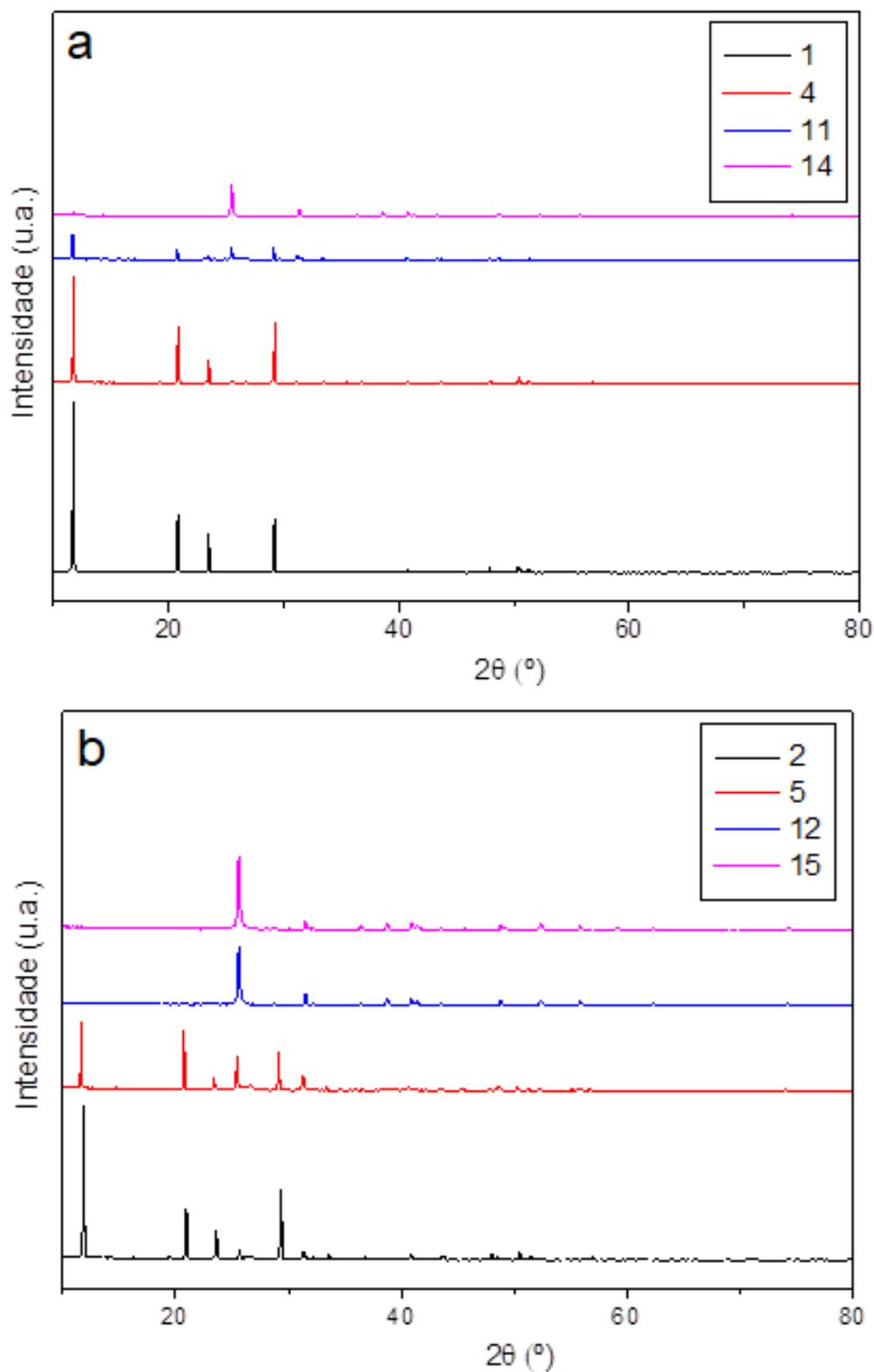


Fonte: Rigo, Gehrke e Carbonari (2007).

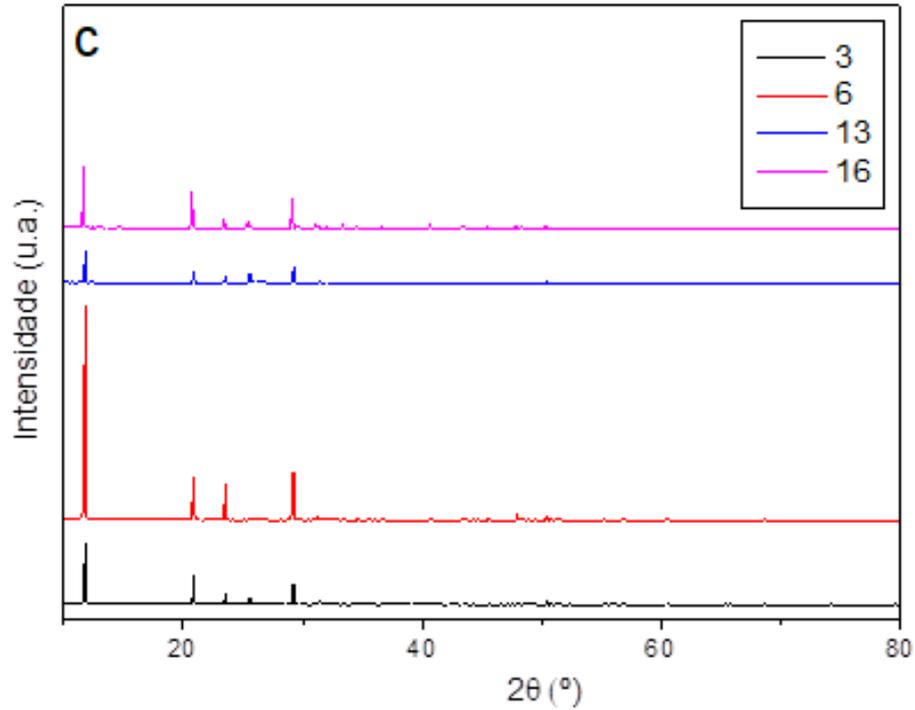
5.4 Difração por Raios-X (DRX)

A figura 28 mostra o difratograma obtido pela difração de raios-X das amostras sintetizadas, indicando os principais picos produzidos nos intervalos de tempo (24, 48 e 72 horas) para as espécies analisadas.

Figura 28 – Difratograma obtido por DRX para os tempos: 24 horas (a), 48 horas (b) e 72 horas (c).



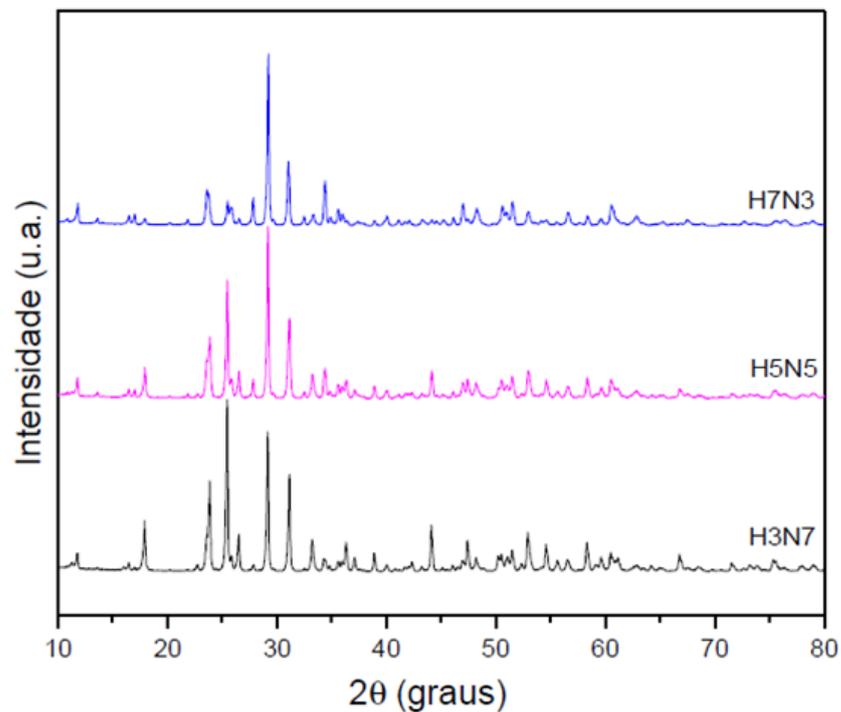
Continuação Figura 26



Fonte: A autora.

Os difratogramas obtidos nessa pesquisa apresentam curvas semelhantes as descritas por Cunha (2017) em estudo de compósitos para o desenvolvimento de biomateriais, faixa de 20° a 30° . Em seu estudo ele utilizou cerâmica de hidroxiapatita como base e pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) como reforço no desenvolvimento de biocompósitos. Na Figura 29 são apresentados os difratogramas de raios-X das amostras obtidas em suas misturas: H7N3, H5N5 e H3N7.

Figura 29 - Difratogramas das amostras H3N7, H5N5 e H7N3.

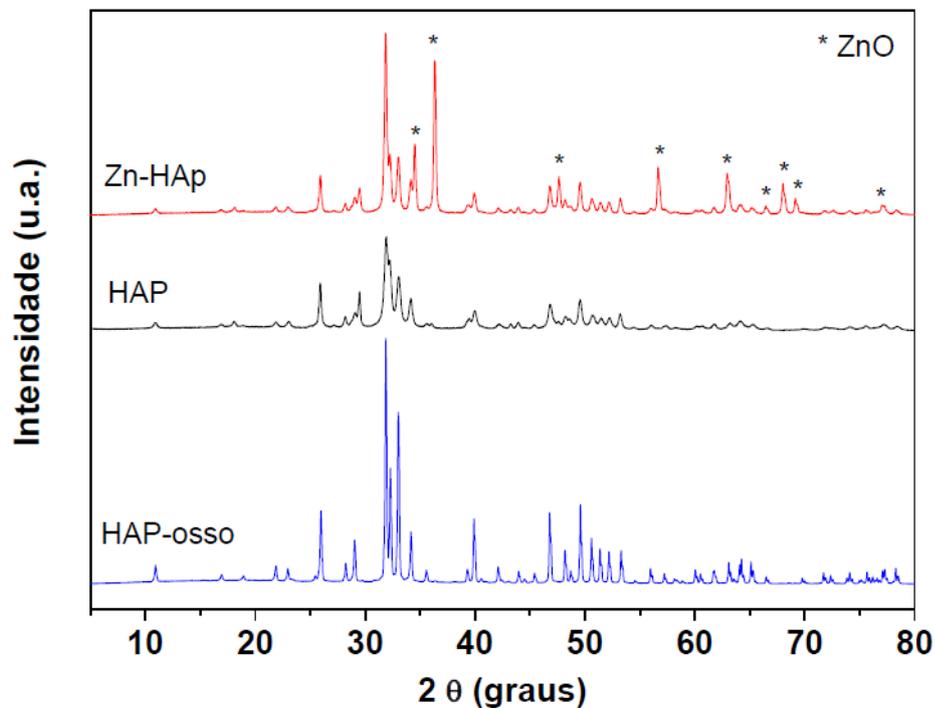


Fonte: Cunha (2017).

Observa-se a decomposição completa dos precursores HAp e Nb_2O_5 e o surgimento de novas fases, ou seja, β -TCP ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), fersmita (CaNb_2O_6) e óxido de fósforo nióbio ($\text{PNb}_9\text{O}_{25}$) correspondentes às fichas padrão JCPDS 9-0169, 39-1392 e 81-1304, respectivamente, os quais se assemelham ao padrão de espectro encontrados nessa pesquisa.

Souza et al. (2019), em trabalho realizado por síntese, modificação e caracterização da hidroxiapatita para aplicação como catalisador em reação de esterificação, obtiveram hidroxiapatita pelo método de precipitação, a qual depois foi modificada por troca iônica no estado sólido, utilizando $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ como precursor. As cerâmicas resultantes deste trabalho apresentam-se na figura 30, que mostra os padrões de Raios-X das HAP, Zn-HAP e HAP osso e destaca os picos referentes ao ZnO de acordo com as fichas JCPDS número 36-1451.

Figura 30 - Padrões de difração para o Zn-HAP, HAP e HPA-osso.



Fonte: Souza et al (2017).

Através da análise comparativa do padrão de Raios-X da HAP padrão disponível no banco de dados JCPDS (ficha 9-432) verifica-se a presença de picos característicos da hidroxiapatita nas amostras. De acordo com Cavalcante et al. (2016) os espectros de hidroxiapatita apresentam picos estreitos e bem definidos, característica normalmente atribuída a um alto índice de cristalinidade. Em sua pesquisa com biopatitas, composto de estrutura química semelhante a hidroxiapatita, os picos apresentaram alto grau de correlação com os picos característicos de hidroxiapatita encontrados na base de dados PDF-2 do Internacional Center for Diffraction Data (ICDD), tendo como padrão a ficha 01-082-1943. Estes picos

descritos também são como os encontrados com o composto formado pelos resíduos madeireiros desta pesquisa.

5.5 Polímeros obtidos de resíduos Madeireiros

Os polímeros obtidos neste estudo, quanto a forma de cristalização se apresentaram melhor para o tempo de fermentação de 48 horas, frente a uma menor cristalização em 24 horas e uma cristalização muito amorfa e arenosa para 72 horas. A diferença se dá devido a submissão do fermentado a uma temperatura, ainda que continua, por um período maior de interação. Esta submissão concentra mais o meio líquido, tornando-o denso para o processo de cristalização que ocorre na última etapa do processo de obtenção dos biopolímeros.

O espectro das amostras 1, 2, 3, 11, 12, 13 para cedro e 4, 5, 6, 14, 15, 16 para muiracatiara dentro do mesmo tempo, de modo geral comportaram-se similarmente, ainda que submetidas a espécies distintas de microrganismos fermentadores. A diferença se deu no período de 48 horas onde *S. cerevisiae* apresentou melhor desempenho para a difratometria em DRX.

Em ambas as análises, IV e DRX utilizadas nesta pesquisa o composto obtido mostrou características de picos semelhantes a hidroxiapatita, divergindo da pretensão inicial ao PLA. A rota de síntese contudo se deu por meio da via do Alac, com formação de um biopolímero com potencial para enxerto ósseo em aplicações dentárias conforme em trabalho realizado por Galia (2010).

Dentre os tempos e fermentações avaliados para comparação de melhor espectro, este ocorreu no tempo de 48 horas. Para IV nesse tempo de fermentação as amostras mostraram-se com curva mais próximas entre si, tanto para fermentação com *S. cerevisiae* e com *L. casei*. Como melhor rendimento entre as amostras, tanto em IV como DRX o tempo de 48 horas mostrou mais eficácia e maior cristalização, assim como picos mais definidos e centrados.

Para o tempo de 48 horas a melhor apresentação de espectros foi com a fermentação de *S. cerevisiae* para as amostras 12 (sintetizado do cedro) e 15 (sintetizado da muiracatiara), as quais foram melhor visualizadas tanto para IV como DRX. Para DRX os picos das amostras 12 e 15 mostraram pico mais centralizado e com intervalo mais bem definido do que para fermentação com *L. casei* no mesmo tempo, 48 horas.

6 CONCLUSÃO

A hidrólise ácida, as correções de pH e formação de ácido lático apresentaram as mesmas características descritas no método utilizado, apenas na etapa final não houve a cristalização do PLA como esperado, seguindo uma rota diversa gerando outro composto. Embora o material buscado não tenha sido o esperado, a rota de síntese gerou um outro produto, que se assemelha em espectroscopia a hidroxiapatita.

Não há dados na literatura para a produção de ácido lático e sua polimerização para PLA provenientes de resíduos madeireiros, apenas dados de processo fermentativo de ácido lático em silagem ou de sua produção mediante processos fermentativos de resíduos agroindustriais como bagaço de cana, casca de café e arroz, dentre outros. Dados sobre o processo de polimerização do ácido lático decorreram-se sobre ácidos lácticos adquiridos comercialmente ou mesmo sobre a inserção de PLAs já prontos como agente de resistência em polímeros compostos, formados por PLA juntamente com outro polímero.

Nesse estudo, a não obtenção de polímeros referentes ao PLA pode ter ocorrido por temperatura e pressão inadequados no experimento para que ocorresse a conversão do polímero, mesmo havendo potencial para formação desse tipo de compósito por resíduos madeireiros. Apesar disso, o processo de síntese desenvolvido nesta pesquisa pode ser útil para o beneficiamento dos resíduos, embora careça de alguns aperfeiçoamentos na técnica aplicada, como purificação inicial da amostra. Contudo, com a preservação de celulose e formação de cristais com bom arranjo estrutural e com os picos de transmitância obtidos, estes são indicativos de material semelhante a hidroxiapatita, que apresenta bom potencial para aplicabilidade em enxertos ósseos, não diferindo muito da finalidade do produto que seria obtido com a formação PLA.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABC do Polímero. **Polímeros Sintéticos x Polímeros Biodegradáveis**. De 27 de março de 2010. Disponível em: <https://abcdopolimero.wordpress.com/2010/03/27/polimeros-sinteticos-x-polimeros-biodegradaveis/>. Acesso em: 29, jan. 2019.

ABDELGALEIL, S.; OKAMURA, H.; IWAGAWA, T., SATO, A.; MIYAHARA, I.; DOE, M.; NAKATINI, M. Khayanolides, rearranged phragmalin limonoid antifeedants from *Kraya senegalensis*. **Tetrahedron, Oxford**, v. 57, p. 119-126, 2001.

ABOUTABL, E. A.; EI-SAKHAWY, F. S.; FATHY, M. M.; MEGID, R. M. Composition and antimicrobial activity of the leaf and fruit oils from *Amoora rohituka* Wight et Arn. **Journal of Essential Oil Research, Oregon**, v. 12, p. 635-638, 2000.

ABRAF - Associação Brasileira De Produtores De Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico 2013 - ano base 2012**. – Brasília: ABRAF 2013.

AJIOKA, M.; ENOMOTO, K.; SUZUKI, K.; YAMAGUCHI, A. Basic properties of polylactic acid produced by the direct polycondensation polymerization of lactic acid. **Bulletin of the Chemical Society of Japan**. vol. 68, pag. 2125 – 2131, 1995.

ALI, S. A. M.; ZHONG S. P.; DOHERTY P. J.; WILLIAMS D. F. **Polymer degradation in implantable devices: Biomaterials**. v. 14, n. 9, pag. 648 - 656, 1993.

ALMEIDA, J. R. M.; MODIG, T.; PETERSSON, A.; HÄHN - HÄGERDAL, B.; LIDÉN, G.; GORWA - GRAUSLUND, M. F. Increased tolerance and conversion of inhibitors in lignocellulosic hydrolysates by *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 82, p. 340 - 349, 2007.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L. E. G. e MÜLLER, P. H. **Cedrela fissilis**. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cedrella.fissilis.asp>>. Acesso em: 05, jan. 2019.

ANPM – Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira. Madeiras. Disponível em: <<http://www.anpm.org.br/?S=48&L=1>>. Acesso em 05, jun. 2018.

ANTUNES, A. M. DE S.; GUSMÃO, A.; RABELLO, C. R. K.; HOEFL, D.; SOUSA-AGUIAR, E. F.; MENDES, F. M. L. ; PIMENTEL, F. A.; CARIOCA, J. O. B.; MARTINS, J. V. B.; PAIVA, L. B.; APPEL, L. G.; DE ALMEIDA, M. F. L.; LEAL, M. R. L. V.; AZPIAZU, M.; BEZERRA, M. A.; PEREIRA JÚNIOR, N.; GALERA, P.; ALCÂNTARA, P.; CRAVEIRO, P. M.; SEIDL, P.; CORRÊA, R. G. C.; LAGO, R. C. A.; CARTAXO, R.; MACAMBIRA, S. **Química Verde no Brasil: 2010 - 2030**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, p. 434. 2010.

ARANTES, V.; SADDLER, J. N. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: The role of amorphogenesis. **Biotechnol Biofuels**, v. 3. p. 1 - 11, 2010.

ASRAN-AMAL; ABDEL-MONGY. Effect of *Trichoderma* isolates delivery systems and host genotype on biological control of cotton seedlings disease. **Journal of Plant Protection Research**, v. 47, n. 3, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento-especificação e métodos de ensaios/ Rio de Janeiro, 1997. ASTM, **American Society for Testing and Materials**, ASTMG 154, Operação de Equipamento de Luz Fluorescente para exposição UV de Materiais não Metálicos, 2004.

ASTETE, C. E. SABLIOV, C. M. Synthesis and characterization of PLGA nanoparticles. **Journal of Biomaterials Science - Polymer Edition**, 2006 n.17 247–289.

AURAS, R.; HARTE, B.; SELKE, S. An overview of polylactides as packaging materials. **Macromol Biosci**. 2004; 4(9): 835–64.

AVÉROUS, L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A Review. **J Macromol Sci Part C Polym Rev**. 2004; 44(3): 231–74.

AXELSSON L. Lactic acid bacteria: classification and physiology. In: Salminen S, von right A, Ouwehand A, editors. **Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects**. 1-66, 2004.

BARBANTI, S. H. ZAVAGLIA, C. A. C. DUEK, E. A. R. Polímeros bioreabsorvíveis na engenharia de tecidos. **Polímeros** vol.15 no.1. São Carlos Jan./Mar. 2005.

BENDIX, D. Chemical synthesis of polylactide and its copolymers for medical applications, *Polym.Degrad. Stab*, 59, p. 129-135, (1998).

BENENCIA, F.; COURREGES, M. C.; COULOMBIE, F. C. *In vivo* and *in vitro* immunomodulatory activities of *Trichilia glabra* aqueous leaf extracts. **Journal of Ethnopharmacology, Lausanne**, v. 69, p. 199-205, 2000.

BENOSMAN, A.; RICHOMME, P.; ROUSSAKS, C.; SEVENET, T.; HADI, A.; BRUNETON, J. Effects os triter penes from the stem bark of *Dysoxylum cauliflorum* on a non-small-cell bronchopulmonary carcinoma cell line. **Anticancer Research**, Attiki, GR, v. 20, p. 1855-1859, 2000.

BEVILAQUA, D. B. **Produção de ácido levulínico por meio de hidrólise ácida da casca de arroz**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

BIOMASSA BR. Biomassa&energia - Madeira. **Os resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil são estimados em 30 milhões de toneladas**. De 11 de janeiro de 2016. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/os-residuos-de-madeira-gerados-anualmente-no-brasil-sao-estimados-em-30-milhoes/20160211-103419-x618>. Acesso em: 30, jan. 2019.

BONJAR, G. H. S. Inhibition of Three Isolates of *Staphylococcus aureus* Mediated by Plants used by Iranian Native People. **Journal of Medical Sciences**, v. 4, p. 136-141. 2004.

BOTELHO G. **Apontamentos da Unidade curricular Métodos Instrumentais de Análise**. Universidade do Minho, 2006.

BOURDY, G.; S. J. DEWALT; C. MICHEL; A. ROCA; E. DEHARO; V. MUNÕZ; L. BALDERRAMA; C. QUENEVO & A. GIMENEZ. Medicinal plants uses of the Tacana, an Amazonian Bolivian ethnic group. **J. Ethnopharm.** 70: 87-109. 2000.

BRANTNER, A. *et al.* Antimicrobial activity of *Paliurus spina-christi* mill. **Journal of Ethnopharmacology, Elsevier Ireland**, v. 52, p. 119-122, 1996.

BRASIL 2000. **Lei Federal Nº 9.985 de 18/07/2000. Regulamenta o artigo 225 da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e de outras providências.** Disponível em: chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/https://uc.socioambiental.org/sites/uc.socioambiental.org/files/snuc_sistema%20nacional%20de%20unidades%20de%20conservacao.pdf. Acesso em: 25, jan. 2019.

BRAZ-FILHO, R. Química de Produtos Naturais: Importância, Interdisciplinaridade, Dificuldades e Perspectivas. A Peregrinação de um Pacatubano. **Química Nova**, v. 17, p. 405. 1994.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e processos**. Campina-Grande, PB, v. 6, n. 2, p. 127-139, set. 2011.

BUSTOS, G.; DE LA TORRE, N.; MOLDES, A. B.; CRUZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, J. M. Revalorization of hemicellulosic trimming vine shoots hydrolyzates trough continuous production of lactic acid and biosurfactants by *L. pentosus*. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 405-412, 2007.

BUTTERWORT, J.H. & E.D. MORGAN. Isolation of a substance that suppresses feeding in locust. **J. Chem. Soc. Commun.** 1: 23-24. 1968.

CALDEIRA JUNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Capacidade de recuperação de área degradada pelo *Gonçalo-alves* (*Astronium fraxinifolium* Schott) sob adubação com lodo de esgoto e silicato. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 480-482. 2007.

CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering - An Introduction. 7th ed. **New York: John Wiley & Sons, Inc.**; 2007.

CAPELLARI, J. B. **Biossíntese de ácido láctico por *Lactobacillus amylovorus* a partir de resíduos agroindustriais.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville. JOINVILLE 2010.

CAPONERO J., TENÓRIO, J. A. S. **Técnicas de Análise Térmica.** Universidade de São Paulo, 2006.

CARRASCO, F.; PAGÈS, P.; GÁMEZ-PÉREZ, J.; SANTANA, O. O.; MASPOCH, M. L. Processing of poly(lactic acid): Characterization of chemical structure, thermal stability and mechanical properties. **Polym Degrad Stab.** 2010; 95(2): 116–25.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JÚNIOR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Revista Química Nova**, Vol. 33, No. 1, 181-188, 2010.

CASTRO, E. M. R. de; SILVA, R. N. M. da. Setor madeireiro, dinâmica de atores e política florestal. In: VENTURIERI, A. (Ed.). Zoneamento ecológico-econômico da área de influência da rodovia BR 163 (Cuiabá-Santarém) diagnóstico do meio socioeconômico, jurídico e arqueologia. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2007. Cap. 8.

CAVALCANTE, F. L.; PINHEIRO, P. B. V.; DUARTE, E. B.; LIMA, J. P. O.; FILHO, M. S.; ROSA, M. F. Obtenção E Caracterização De Hidroxiapatita Extraída De Resíduo Ósseo De Frango. 9 **COLOAB Foz do Iguacu** – PR. 2016.

CECHINEL FILHO, V.; YUNES, R. A. Estratégias para obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais. Conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. **Química Nova**, v. 21, p. 99-105, 1998.

CERQUEIRA, P. H. A; VIEIRA, G. C.; BARBERENA, I. M.; MELO, L. C.; FREITAS, L. C. Análise dos Resíduos Madeireiros Gerados Pelas Serrarias do Município de Eunápolis-BA. *Floresta e Ambiente*, **Seropédica**, v. 19, n. 4, p. 506-510, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.051>.

CERVELIN, J. E. **Estudo teórico-experimental das forças de corte no processo de torneamento**. Dissertação (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo), 2009.

CHAMPAGNE, D. E.; KOUL, O.; ISMAN, M. B.; SCUDDER, G. G. E.; TOWERS, G. H. N. Biological activity of limonoids from the Rutales. **Phytochemistry**, 31: 377, 1992.

CHEN, G.; KIM, H.; KIM, E.; YOON, J. Synthesis of high-molecular-weight poly (Llactic acid through the direct condensation polymerization of lactic acid in bulk state. **European polymer journal** v.42, p.468-472 (2006).

CHEROBINI, E. A. I.; MUNIZ, M. F. B.; BLUME, E. Avaliação da Qualidade de Sementes e Mudas de Cedro. *Ciência Florestal*, **Santa Maria**, v. 18, n. 1, p. 65- 73, jan-mar. 2008.

CHOI, Y. M. *et al.* Antioxidant and antimicrobial activities of propolis from several regions of Korea. **LWT – Food Science and Technology**, Elsevier, v. 39, n. 7, p. 756-761, 2006.

COLNAGO, L.A., ALMEIDA, F.C.L., VALENTE, A.P. Espectrometria de massa e RMN multidimensional e multinuclear: revolução no estudo de macromoléculas biológicas. **Química Nova na Escola**, v.16, p. 9-14, nov, 2002.

CONNOLLY, J. D. Chemistry of the limonoids of the Meliaceae and Cneoraceae. In: **Chemistry and Chemical Taxonomy of the Rutales**.

CONSTANTINO, M. G. Curso básico universitário – **Química orgânica. Vol. 3.** Universidade de São Paulo. 2006.

COOPER, J. A. JR; LU, H. H.; KO, F. K.; FREEMAN, J. W. LAURENCIN, C. T. Fiber - based tissue - engineered scaffold for ligament replacement: design considerations and in vitro evaluation. **Biomaterials**, vol.26, issue 13, pag.1523 – 1532, 2005.

CORABI-ADELL, C. M. M; LUCON, C. M. M. & KOIKE, C. M. Biodiversidade do gênero *Trichoderma* no estado de São Paulo - Aspectos enzimáticos e potencial biocontrolador. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.69, p.188-191, 2002.

CORREIA, D. P. **Espectroscopia de RMN**. Monografia. Universidade da Madeira, Departamento de Química, Funchal. Abril de 2002.

CORREIA, S. J.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Metabólitos secundários de espécies de Anacardiaceae. Universidade Federal da Bahia. **Química Nova**. v. 29, n. 6, p. 1287-1300, 2006.

COSTA. J. A. Disponível em: <https://docplayer.com.br/73013824-Joelma-araujo-costa-classificacao-de-madeiras-da-amazonia-para-composicao-de-instrumento-musical-de-corda-por-meio-da-tecnica-de-excitacao-por-impulso.html>. Acesso em: 14, jun. 2018.

COSTA, J. R.; MORAIS, R. R.; CAMPOS, L. S. Cultivo e manejo do mogno (*Swietenia macrophylla* King). Manaus: **Embrapa Amazônica Ocidental**, 2013. 36 p. (Documentos, 114).

CUCA, J. Espectroscopia de absorção de IV por transformada de Fourier. **Revista Química e Derivados**, editora QD. Disponível em: <http://www.quimicaederivados.com.br>. Acessado em: em 01, jan. 2019.

CUNHA, N. M. **Estudo e caracterização da hidroxiapatita e de compósitos de hidroxiapatita por difratometria de raiosx e refinamento estrutural pelo método de rietveld. 26º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior, 2017**. Universidade Estadual de Maringá/ Centro de Tecnologia, Centro de Ciências Exatas/ Maringá, PR. 2017.

DA SILVA, M. F. G. F.; GOTTLIEB, O. R. DREYER, D. L. Evolution of limonoids in the Meliaceae. **Biochem. Syst. Ecol.**,12: 299, 1984.

DATTA, R.; TSAI, S. P.; BONSIGNORE, P.; MOON, S. H.; FRANK, J. R. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives. **FEMS Microbiology. Reviews**, v. 16, p. 221 - 231, 1995.

DAVIDSON B.E., LLANOS R.M., CANCELLA M.R., REDMAN N.C., HILLIER A.J. Current research on the genetics of lactic acid production in lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**. 5:763–84, 1995.

DE BARROS, A. M. P. CARIDADE. **Síntese e Caracterização de um Polímero Biodegradável**. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade do Minho – Campus de Gualtar, Braga. Portugal, 2011.

DE OLIVEIRA, A. R.; BUZATO, J. B.; HAULY, M. C. O. Produção contínua de ácido láctico por *Lactobacillus curvatus* a partir de melaço de cana-de-açúcar suplementado.

Semina: **Ciências Agrárias**, vol. 26, núm. 1, enero-marzo, 2005, pp. 53-59. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Brasil.

DE PAOLI, M.-A. Degradação e estabilização de polímeros. 2nd ed. Andrade JC de editor. **Chemkeys**; 2008.

DIAS, J. A.; SANTOS, C. M. L.; CONDÉ, T. M. **A Contabilidade Ambiental no aproveitamento de resíduos madeireiros em Rorainópolis-RR**. In: V Mostra Acadêmica do Campus Rorainópolis, Universidade Estadual de Roraima – UERR, p. 16-21, 2015.

DISCOVER LIFE. **Global Mapper: Astronium lecointe**. Disponível em: <http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Astronium+lecointe>. Acesso em: 04, jan. 2019a.

DISCOVER LIFE. **Global Mapper: Astronium**. Disponível em: <http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Astronium>. Acesso em: 04, jan. 2019b.

DISCOVER LIFE. **Global Mapper: Cedrela**. Disponível em: <https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Cedrela>. Acesso em: 05, jan. 2019c.

DIZHBITE, T.; TELYSHEVA, G.; DOBELE, G.; ARSHANITSA, A.; BIKOVENS, O.; ANDERSONE, A.; KAMPARS, V. Py-GC/MS for characterization of non-hydrolyzed residues from bioethanol production from softwood. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 90, p. 126-132, 2011.

DOHERTY, W. O. S.; MOUSAVIOUN, P.; FELLOWS, C. M.: Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. **Industrial Crops and Products** 2011, v. 33, p. 259-276.

DUARTE, E. B. **Produção de Nanocompositos de celulose bacteriana e hidroxiapatita como rota para valorização de resíduos agroindustriais**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Materiais da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia e Ciências de Materiais. Área de Concentração: Propriedades Físicas e Mecânicas dos Materiais. Fortaleza, 2014.

DURIGAN, G.; FIGLIOLIA, M. B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M. A. de O.; BAITELLO, J. B. Sementes e mudas de árvores tropicais. **São Paulo: Páginas & Letras**, 2º Ed. 2002.

ECO MADEIRAS. **Madeira Muiracatiara**. Muiracatiara. Disponível em: <http://ecomadeiras.blogspot.com.br/2013/12/madeira-muiracatiara.html>. Acesso em: 12, jan. 2019.

EDLUNG, U. ALBERTSSON, A. C. Polyesters based on diacid monomers. **Advanced Drug Delivery Reviews**, 2003, 55, 585 - 609.

ENGELMEIER, D.; HADACEK, F.; PACHER, T.; VAJRODAYA, S.; GREGER, H. Cyclopenta [b] benzofurans from *Aglaia* species with pronounced antifungal activity against rice blast fungus (*Pyricularia grisea*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, p. 1400-1404, 2000.

ERCOLINI D., MOSCHETTI G., BLAIOTTA G., COPPOLA S. Behavior of variable V3 region from 16S rDNA of lactic acid bacteria in denaturing gradient gel electrophoresis. **Current Microbiology**. 42:199–202, 2001.

FENG, L.; ZHOU, Z.; DUFRESNE, A.; HUANG, J.; WEI, M. & AN, L. Structure and properties of new thermoforming bionanocomposites based on chitin whisker-graft-polycaprolactone. **Appl. Polym. Sci.**, 112, p.2830 (2009). <http://dx.doi.org/10.1002/app.29731>.

FIGUEIREDO, H. **Reutilização Catalítica de Biossorventes Suportados em Zeólitos**. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2007.

FLORES, T. B. **Meliaceae. In Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB44>. Acesso em: 27, nov. 2018.

FRANCISCO, N. M. M. **Produção e Caracterização de Peças de Poli (Ácido Láctico) Por Impressão 3d Para Possível Aplicação Na Engenharia De Tecido Ósseo**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais. Belo Horizonte, 2017.

FRAGMAQ. **Marravalha de Madeira: uma alternativa sustentável**. Disponível em: <http://www.fragmaq.com.br/blog/maravalha-de-madeira/>. Acesso em: 12, jan. 2018.

G1 PA – Belém. **Pará é o estado com maior índice de desmatamento da Amazônia Legal, aponta Imazon**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/para-e-o-estado-com-maior-indice-de-desmatamento-da-amazonia-legal-aponta-imazon.ghtml>. Acesso em: 09, jan. 2019.

GALIA, C. R.; LOURENÇO, A. L.; ROSITO, R.; MACEDO, C. A. S.; CAMARGO, L. M. A. Q. **Caracterização físico-química do enxerto de osso bovino liofilizado**. Trabalho realizado no Hospital de Clínicas de Porto Alegre – RS, Brasil. Porto Alegre, RS. 2010.

GAO, T; WONG, Y; NG, C; HO, K. L-lactic acid production by *Bacillus subtilis* MUR1. **Bioresource Technology**, v. 121, p. 105 - 110, 2012.

GARLOTTA, D. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). **J Polym Environ**. 2002; 9(2): 63–84.

GHIOTTO, A.; YOGUIM, M.; ZULIANI, S. R. Q. A. **Hidrólise de celulose para produção de bioetanol: estudo em bagaço de cana de açúcar dos pré-tratamentos ácido e alcalino diluídos**. FEPROQUIM - Feira de Projetos de Química. 51º Congresso Brasileiro de Química: Meio Ambiente e Energia. São Luís – Maranhão. 2011. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/14/14-491-11476.htm>. Acesso em: 03, fev. 2019.

GHOSE, T.K.; GHOSH, P. Cellulose production and cellulose hydrolysis. **Process Biochemistry**, London, v. 1, p. 14, 1979.

GIL, V. M.S., GERALDES, C. F. G. C. **Ressonância Magnética Nuclear – Fundamentos, métodos e Aplicações**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1987.

GIVRY, S.; PREVOT, V. & DUCHIRON, F. Lactic acid production from hemicellulosic hydrolyzate by cells of *Lactobacillus bifementans* immobilized in Ca - alginate using response surface methodology. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 24, p. 745 - 752, 2008.

GOETZ L.; MATHEW, A.; OKSMAN, K.; GATENHOLM, P.; RAGAUSKAS, A. J. **Carbohydrates. Polymers**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.06.017>. Vol. **75**, Issue 1., p.85. 2009.

GOGOLEWSKI, S. Bioresorbable polymers in trauma and bone surgery. **Injury Int. J. Care Injured**, 31, p. S-D28-32, 2000.

GREGER, H.; PACHER, T.; BREM, B.; BACHER, M.; HOFER, O. Insecticidal flavaglines and other compounds from Fijan *Aglaia* species. **Phytochemistry, Oxford**, v. 57, p. 57-64, 2001.

GUILHERME, A. A.; PINTO, G. A. S.; RODRIGUES, S. Avaliação da produção de ácido láctico por *Leuconostoc mesenteroides* B512F em xarope de caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 29(4): 738-747, out.-dez. 2009.

GUPTA, A. P. KUMAR, V. New emerging trends in synthetic biodegradable polymers – Poly lactide: A critique. **European Polymer Journal**. vol.43, n.10, pag. 4053 – 4074, 2007.

GUPTA, B.; REVAGADE, N.; HILBORN, J. Poly(lactic acid) fiber: An overview. **Prog Polym Sci**. 2007; 32(4): 455–82.

HALLAC, B. B. & RAGAUSKAS, A. J. Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, p. 215 - 225, 2011.

HOLLAND, S. J. et al. Polymers for biodegradable medical devices. 1. The potencial of polyesters as controlled macromolecular release systems. **J. Controlled Rel.**, 1986. v.4, p.155-180.

HOLZAPFEL W.H., HABERER P., GEISEN R., BJÖRKROTH J., SCHILLINGER U. Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**.73:365S–373S, 2001.

HSU, T. A.; LADISCH, M. R.; TSAO, G. T. Alcohol from cellulose. **Chemical Technology**, v. 10, p. 315-319, 1980.

HUANG, Y.; WEI, Z.; QIU, Z.; YIN, X.; WU, C. Study on structure and pyrolysis behavior of lignin derived from corncob acid hydrolysis residue. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 93, p. 153 - 159, 2012.

IBGE. PNAD continua 2016-2017. **Características gerais dos domicílios**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?edicao=20915&t=resultados>. Acesso em: 21, jun de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) – Série Histórica completa 1996-2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2017>. Acesso em: 03 de outubro de 2019.

ICMBIO. **Floresta Nacional do Tapajós**. ICMBIO. MMA. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/flonatapajos/destaques/60-comunitarios-da-floresta-nacional-do-tapajos-poderao-fabricar-moveis-com-sobras-de-madeira-manejada.html>. Acesso em: 25, jan. 2019.

IMAZON. Imazon: **Desmatamento na Amazônia aumentou 406% em novembro de 2018**. Disponível em: <http://amazonia.org.br/2019/01/imazon-desmatamento-na-amazonia-aumentou-406-em-novembro-de-2018/>. Acesso em: 09, jan. 2019.

Indústria Brasileira de Árvores (2019). **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 12, Jan. 2020.

INPE. **A estimativa da taxa de desmatamento por corte raso para a Amazônia Legal em 2019 é de 9.762 km²**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 23, jan. 2020.

INPE. **Coordenação Geral de Observação da Terra. INPE estima 6.624 Km2 de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2017**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/INPE-estima-desmatamento-por-corte-raso-na-Amazonia-em-2017>. Acesso em: 12, jan. 2019b.

INPE. **Coordenação Geral de Observação da Terra. INPE estima 7.900 Km2 de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2018**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/inpe-estima-7-900-km2-de-desmatamento-por-corte-raso-na-amazonia-em-2018>. Acesso em: 09, jan. 2019a.

IONASHIRO, M., GIOLITO, I. **Fundamentos da. Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial**. Giz, São. Paulo, 2005.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Informações sobre madeiras. Cedro**. Disponível em: http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/29.htm. Acesso em: 11, jan. 2019.

ITTO. **CEDRO, CIGARBOX CEDAR (Cedrela odorata)**. Disponível em: http://www.tropicaltimber.info/wp-content/uploads/species_images/Photomaps/Totalphotos/Cedrela%20odorata/Cedrela%20odorata_LG_SINCHI.JPG. Acesso em: 14, jun. 2018.

ITTO/REMADE. **Crescem exportações brasileiras de produtos derivados de madeira.** Disponível em: <http://www.remade.com.br/noticias/14898/crescem-exportacoes-brasileiras-de-produtos-derivados-de-madeira>. Acesso em: 09, jan. 2019.

JAHNO, V. D. **Síntese e caracterização do poli (l-ácido láctico) para uso como biomaterial.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM. Porto Alegre 2005.

JALMO, D. V. **Síntese e caracterização do poli (L-ácido láctico) para uso como biomaterial.** Dissertação de Mestrado em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2005.

JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J.P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras Brasileiras.** Caxias do Sul: Spectrum, 1990. p. 172.

JAY J.M. Fermentation and fermented dairy products. **Modern food microbiology.** 6: 113–130, 2000.

JEM, K. J.; POL, J. F. VAN DER; VOS, S. DE. Industrial Production of PHA. In: Chen G-Q, editor. *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications.* **Heidelberg: Springer;** 2010. p. 323–46.

P. Jiménez, M. Sibaja, y J. Vega. Síntesis y caracterización de poli(ácido l-láctico) por policondensación directa, obtenido del fermento de desechos agroindustriales de banano (*musa acuminata* aaa variedad cavendish cultivar gran naine) en Costa Rica. **Revista Iberoamericana de Polímeros,** 13(2):52–59, 2012.

JOHN, R. P.; ANISHA, G. S.; NAMPOOTHIRI, K. M.; PANDEY, A. Direct lactic acid fermentation: Focus on simultaneous saccharification and lactic acid production. **Biotechnology Advances,** v. 27, p. 145 - 153, 2009.

JOHN, R. P.; NAMPOOTHIRI, K. M.; PANDEY, A. Fermentative production of lactic acid from biomass: an overview on process developments and future perspectives. **Applied Microbiology and Biotechnology,** v. 74, p. 524 - 34, 2007.

KESHWANI, D. R.; CHENG, J. J. Switchgrass for bioethanol and other value - added applications: A review. **Bioresource Technology,** v. 100, p. 1515 - 1523, 2009.

KIM, H. O.; WEE, Y. J.; KIM, J. N.; YUN, J. S.; RYU, H. W. Production of lactic acid from cheese whey by batch and repeated batch cultures of *Lactobacillus* sp. RKY2. **Applied Biochemistry and Biotechnology,** v. 131, p. 694-704, 2006.

KIM, J.; BLOCK, D. E.; SHOEMAKER, S. P.; MILLS, D. A. Conversion of rice straw to bio - based chemicals: an integrated process using *Lactobacillus brevis*. **Applied Microbiology and Biotechnology,** v. 86, p.1375 - 1385, 2010.

KNAUF, M.; MONIRUZZAMAN, M. Lignocellulosic biomass processing: A perspective. **International Sugar Journal,** v. 106, p. 147-150, 2004.

KOENIG, J.L. Spectroscopy of Polymers. **Elsevier Science Inc., New York**, 1999, p.208-215.

KOMURA, R. K. **Investigação dos métodos de separação, uso e aplicação da Lignina proveniente da Biomassa Lignocelulósica**. Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. São Paulo, 2015.

KONDO, T. **Journal of Polymer. Science.: Part B: Polymer Physics**. Vol. 35, n. 4, p. 717. 1997.

KOPECEK, J; ULBRICH, K. Biodegradation on biomedical polymers. **Prog. Polym.Sci.**,1983. v.9, p.1-58.

KRICHELDORF, H. R. Syn theses and application of poly lactides. **Chemosphere**. vol. 43. pag. 49 – 54, 2001.

KUMAR, A.; GUPTA, R. K. Introduction. In: **Fundamentals of Polymer Engineering**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.; 2003. p. 1–44.

KURAKAKE, M.; IDE, N; KOMAKI, T. Biological pretreatment with two bacterial strains for enzymatic hydrolysis of office paper. **Current Microbiology**, v. 54, p. 424-428, 2007.

LASPRILLA, A. J. R. **Síntese do poli-ácido láctico a partir do ácido láctico para aplicação biomédica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Campinas - São Paulo. 2011.

LASPRILLA, A. J. R.; MARTINEZ, G. A. R.; LUNELLI, B. H.; JARDINI, A. L.; FILHO, R. M. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices - A review. **Biotechnol Adv.** 2012; 30(1): 321–8.

LEE, S. M.; KLOCKE, J. A.; BARNABI, M. A.; YAMASAKI, R. B.; BALANDRIN, M. F. **Insecticidal constituents of Azadirachta indica and Melia azedarach (Meliaceae)**. In: Naturally Occurring Pest Bioregulators, ACS Symposium Series 449. HEDIN, P. H. (Eds.). Washington, ACS, 1991. p. 293.

LEITE, M. T. **Otimização da produção do ácido láctico através da fermentação do soro de queijo por *lactobacillus helveticus***. Tese de doutorado.179p. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2006.

LIAN, J.; CHEN, S.; ZHOU, S.; WANG, Z.; O’FALLON, J.; LI, C.; GARCIA - PEREZ, M. Separation, hydrolysis and fermentation of pyrolytic sugars to produce ethanol and lipids. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 9688 - 9699, 2010.

LIM, L.-T.; AURAS, R.; RUBINO, M. Processing technologies for poly(lactic acid). **Prog Polym Sci.** 2008; 33(8): 820–52.

LOPES, M. S.; JARDINI, A. L.; FILHO, R. M. Poly(lactic acid) production for tissue engineering applications. **Procedia Eng.** 2012; 42: 1402–13.

- LORENZI, H. Árvores Brasileiras – **Editora Plantarum Ltda, Nova Odessa, SP, 384p.il.** 2002.
- LU, H. H.; COOPER, J. A. JR.; MANUEL, S.; FREEMAN, J. W.; ATTAWIA, M. A.; KO, F. K.; LAURENCIN, C. T. Anterior cruciate ligament regeneration using braided biodegradable scaffolds: in vitro optimization studies. **Biomaterials** vol.26, pag. 4805 – 4816, 2005.
- LUCKACHAN, G. E.; PILLAI, C. K. S. Biodegradable Polymers- A Review on recent trends and emerging perspectives. **J Polym Environ.** 2011; **19**(3): 637–76.
- LUNELLI, C. E. **Síntese e Caracterização de formas encapsuladas de Heparina e derivados em Poli (Ácido Láctico).** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Departamento de Química, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- LUNT, J. Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. **Polym Degrad Stab.**; 59(1–3): p.145–152. 1998.
- LUZ, C. L. S.; PIRANI, J. R.; VALENTE, A. S. M.; FERNANDEZ, E. P.; PENEDO, T. S. A.; BORGES, R. A. X. **Anacardiaceae; In: Livro vermelho da flora do Brasil; Martinelli, G.; Moraes, M. A. (Orgs.).** Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 140. 2013.
- MABBERLEY, D. J.; PANNELL, C. M.; SING, A. M. Meliaceae. Flora Malesiana. **Series I, Leiden**, n. 12, p. 1-407, 1995.
- MARCHESAN. R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2012.
- MARTINEZ, S. S. (ed) **O Nim Azadirachta indica: Natureza, usos múltiplos, produção.** Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, 142p. 2002.
- MAURUS, P.B. KAEDING, C. C. Bioabsorbable implant material review. **Operative techniques in sports medicine**, vol.12, pag. 158 – 160, 2004.
- MEDEIROS, E. S.; GLENN, G. M.; KLAMCZYNSKI, A. P.; ORTS, W. J.; MATTOSO, L. H. C. Solution Blow Spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. **J Appl Polym Sci.** 2009; 113: 2322–30.
- MELLONI, M.N.G. **Determinação do número cromossômico de espécies arbóreas nativas com potencial madeireiro.** Dissertação (UNESP) Jaboticabal, SP, 2010.
- MELO L.E.L.; SILVA C.J.; LOPES K.V.; BRITO P.G.M.; SANTOS I.S. Resíduos de serraria no Estado do Pará: caracterização, quantificação e utilização adequada. **Floresta e Ambiente.** v. 19, n. 1, p.113-116, 2012.
- MELO, F. C.; JAHNO, V. D.; LIGABUE, R.; SANDRA EINLOFT. Síntese e caracterização do poli (ácido láctico) por polimerização de abertura de anel. **Anais do 8º Congresso**

Brasileiro de Polímeros. Faculdade de Química da PUCRS, P. 12B s.223, 90619-900 Porto Alegre/RS -2 PPGEM da UFRGS. 2005.

MENON, V.; RAO, M. Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 38, p. 522 - 550, 2012.

MIDDLETON, J. C. TIPTON, A. J. Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices. **Biomaterials**. V.20, p.2335 - 2346, 2000.

MIN - TIAN, G.; KOIDE, M.; GOTOU, R.; TAKANASHI, H.; HIRATA, M.; HANO, T. Development of a continuous electro dialysis fermentation system for production of lactic acid by *Lactobacillus rhamnosus*. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 1033 - 1036, 2005.

MIRANDA, D. L. C. Porcentagem de cerne, alborno e casca de cinco espécies madeireiras da Amazônia. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil. Pesquisas Agrárias e Ambientais. **Nativa, Sinop**, v.5, esp., p. 619-627, dez. 2017.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos Florestais, alternativas tecnológicas e Propostas de políticas ao uso de resíduos Florestais para fins energéticos.** Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental, Curitiba-PR, 2009. 40p.

MOHRIG J. R.; HAMMOND, C. N.; MORRILL, T. C.; NECKERS, D. C. *Experimental Organic Chemistry - A balanced Approach: Macroscale and Microscale.* **W. H. Freeman and Company**, New York, 1998.

MONTIPÓ, S. **Produção De Ácido Láctico A Partir Da Casca De Arroz.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2012.

MOON, S.I.; LEE, C-W.; TANIGUCH, I.; MIYAMOTO, M.; KIMURA, Y. Melt/solid polycondensation of L - lactic acid: an alternative route to poly(L - lactic acid) with high molecular weight. **Polymer**. vol.42 pag. 5059 – 5062, 2001a.

MOON, S-I.; TANIGUCH, I.; MIYAMOTO, M.; KIMURA, Y.; LEE, C-W. Synthesis and properties of high molecular weight poly(L–lactic acid) by melt/solid polycondensation under different reaction conditions. **High Performance Polymers**. vol.13, pag.189 – 196, 2001b.

MOREIRA, J. et al. Determinação das constantes K e α da equação de Mark-Houwink de poli(p-acetóxiestireno). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2004. v.14, nº2, p.80-82.

MOTTA, A. C. **Síntese e Caracterização do Poli(L-ácido lático) - PLLA e Poli(L - ácido láctico-co-ácido glicólico) - PGLA e Estudo da degradação “in vitro”.** Tese de mestrado. UNICAMP, 2002.

MOTTA, A.; DUEK, E.A.R. Síntese, caracterização e degradação “in vitro” do Poli(L-ácido láctico). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 16, n.º 1, pag 26-32, 2006.

- MUELLNER, A. N.; SAMUEL, R.; JOHNSON, S. A.; CHEEK, M.; PENNINGTON, T. D.; CHASE, M. W. Molecular Phylogenetics of Meliaceae (Sapindales) based on nuclear and plastid DNA sequences. **American Journal of Botany**, New York, v. 90, n. 3, p. 471-480, 2003.
- MUNÓZ, V.; M. SAUVAIN; G. BOURDY; J. CALLAPA; S. BERGERON; I. ROJAS; BRAVO, J. A.; BALDERRAMA, L.; ORTIZ, B.; GIMENEZ, G.; DEHARO, E. A search for natural bioactive compounds in Bolivia through a multidisciplinary approach. Part I. Evaluation of the antimalarial activity of plants used by the Chacobo Indians. **J. Ethnopharm.** 69: 127-137. 2000.
- MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. Alternatives for detoxification of diluted acid lignocellulosic hydrolysates for use in fermentative processes: A review. **Bioresource Technology**, v. 93, p. 1 - 10, 2004.
- NAHUZ. M. A. R. **Madeiras brasileiras e exóticas**. Caxias do Sul: Lettech Editora e Gráfica, 2007.
- NAIR, L. S. LAURENCIN, C.T. Biodegradable polymers as biomaterials. **Progress in Polymer Science**, vol. 32, pag. 762 – 798, 2007.
- NAKAGAITO, A. N.; IWAMOTO, S.; YANO, H. Applied Physics A: **Materials Science & Processing**. Vol. 80, p.93. 2005.
- NEPOMUCENO, D. C.; YOUNES, R. N.; VARELLA A. D.; SUFFREDINI, I. B. Atividade antibacteriana e fracionamento direcionado do extrato orgânico obtido de *Tovomita* sp. **Revista Brasileira de Farmacognosia** v. 13, p. 3-4. 2003.
- NEWTIMBER - Agency and Export. **Muiracatiara-rajada**. Disponível em: http://www.newtimber.com.br/wood_species/muiracatiara.php. Acesso em: 07 de janeiro de 2018.
- NIJENHUIS, A. J. – **Synthesis and Properties of Lactide Polymers**, Thesis, Netherlands, 1995.
- NOLASCO, A. M. & ULIANA, L. R. **Livro Gerenciamento de Resíduos na Indústria de Pisos de Madeira (Cap. 2 páginas 15 á 19)**. Projeto piso de madeira sustentável. Piracicaba: ANPM, 2014.
- OH, H.; WEE, Y.; YUN, J.; HAN, S. H.; JUNG, S.; RYU, H. Lactic acid production from agricultural resources as cheap raw materials. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1492 - 1498, 2005.
- OJJO, V.; SINHA RAY, S. Processing strategies in bionanocomposites. **Prog Polym Sci.** 2013; 38(10–11): 1543–89.

OLIVEIRA, J.A. **Síntese e caracterização de nanocompósitos poliméricos reforçados com whiskers de celulose da fibra de lucuri. Dissertação (mestrado).** Universidade Federal da Bahia – Salvador, BA. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handler/18597>
Acesso em: 26, jun. 2021.

OLIVEIRA, J. M. G. C. de. **Expansão urbana e periferação de Santarém-PA: Questões para o planejamento urbano. In: X Coloquio Internacional de Geocrítica: Diez años de cambio en el mundo, en la geografía y en las ciencias sociales, 1999-2008; 2008;** Barcelona: universitat de Barcelona, 2008.

OLIVEIRA, L. F. **Síntese de poli (ácido lático - co - ácido glicólico) através de policondensação catalisada por resina de troca iônica contendo óxido de estanho como co-catalisador.** Tese de mestrado. UFG, Goiás 2008.

OLIVEIRA, N.S. **Solubilidade de gases em membranas poliméricas.** Tese de Doutorado em Engenharia Química, Universidade de Aveiro. Departamento de Química, 2006.

PARIZE, D. D. DA S. **Estudo de filmes de Poli (Ácido Lático) obtidos por fiação por sopro em solução reforçados com nanocristais de celulose.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2016.

PAULINO, D. N.; JUNIOR, L. C.; BELTRAME, T. P.; OLIVEIRA, E. B. de. **Rentabilidade econômica de cedro-australiano em plantios puros e consorciados com café.** Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2015. 52 p. (Documento 284).

PELEIAS JUNIOR, F S. **Desenvolvimento da metodologia para síntese do Poli(Ácido Lático-Co-Ácido Glicólico) para utilização na produção de fontes radioativas.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações. São Paulo, 2013.

PELEIAS JUNIOR, F. S.; ZEITUNI, C. A.; ROSTELATO, M. E. C. M.; FECHINE, G. J. M.; DE SOUZA, C. D.; MATTOS, F. R.; MOURA, E. S.; MOURA, J. A.; BENEGA, M. A. G.; FEHER, A.; COSTA, O. L.; RODRIGUES, B. T. Desenvolvimento da metodologia para síntese do poli(ácido lático-co-ácido glicólico) para utilização na produção de fontes radioativas. *Polímeros*, 25(3), 317-325, 2015. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1428>.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia.** 2010. Belém: IMAZON, 2010.

PETERSSON, L.; MATHEW, A. P.; OKSMAN, K. J. **Applied Polymer Science.** <http://dx.doi.org/10.1002/app.29661>. Vol. 112, p. 2001. 2009.

PETRAUSKI, S. M. F. C.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L.; CORDEIRO, S. A.; SOARES, N. S. Competitividade do Brasil no mercado internacional de madeira serrada. *Cerne*, v. 18, n. 1, p. 99-104, 2012.

PINTO, Cristiana da Purificação. **Atividade antimicrobiana e perfil químico de espécies do gênero Lippia do Semi-árido da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – UEFS, Feira de Santana, Bahia, f. 118. 2008.

PIRRAGLIA, A.; GONZALEZ, R.; DENIG, J.; SALONI, D.; WRIGHT, J. Assessment of the most adequate pretreatments and woody biomass sources intended for direct co firing in the U.S. **BioResources**, v. 7, n. 4, p. 4817-4842, 2012.

PROMAPMADEIRAS. **Muiracatiara**. Disponível em: <http://www.promapmadeiras.com.br/muiracatiara.htm>. Acesso em: 12, jun. 2018.

PÖYRY Consultoria em Gestão e Negócios Ltda (2018). **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/ibarelatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 12, Jan. 2020.

RAQUEZ, J.-M.; HABIBI, Y.; MURARIU, M.; DUBOIS, P. Polylactide (PLA)-based nanocomposites. **Prog Polym Sci**. 2013; **38**(10–11): 1504–42.

RAMAKRISSHNAN, V.; NAYAR, V.U.; ARULDHAS, G. **Infrared Phys**. 26, 6 (1986) 353.

RASAL, R. M.; JANORKAR, A. V.; HIRT, D. E. Poly(lactic acid) modifications. **Prog Polym Sci**. 2010; **35**(3): 338–56.

RATES, S. M. K. **Plants as source of drugs**. **Toxicon**, v. 39, p. 603-613. 2001.

REDDY, G.; ALTAF, Md; NAVEENA, B. J.; VENKATESHWAR, M.; KUMAR, E. V. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation – A review. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 22 – 34, 2008.

REMADE – Revista da Madeira. **A retomada das exportações brasileiras de produtos da madeira**. REMADE, Rio Grande do Sul. Ano: 26; edição 147, Disponível em: www.remade.com.br. Acesso em: 14, jan. 2019.

REMADE. **Madeiras Brasileiras e Exóticas**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/215/madeiras-brasileiras-e-exoticas/muiracatiara>. Acesso em: 04, jan. 2019a.

REMADE. **Madeiras Paraguias e Exóticas**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/1072/madeiras-paraguias-e-exoticas/cedro>. Acesso em: 05, jan. 2019b.

REMADE. Revista da Madeira - Edição n° 137. **Potencial da madeira de eucalipto**. De outubro de 2013. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1727&subject=E. Acesso em: 01, fev. 2019.

REMBOLD, H. **Azadirachtins**. In: **Insecticides of Plant Origin, ACS Symposium Series 387**. ARNASON, J. T.; PHILÓGENE, B.; MORAND, P. (Eds.) Washington, ACS, 1989, p. 150.

Representação do funcionamento de um difratômetro de Raios-X. Disponível em: https://images.slideplayer.com/40/11121349/slides/slide_7.jpg. Acesso em: 10, jan. 2019.

Representação do funcionamento de um MEV. Disponível em: <http://3.bp.blogspot.com/-LS-OGzdnLBQ/Th131Qa0jI/AAAAAAAAAAw/vUacIh20Ufo/s320/MEV.jpg>. Acesso em: 10, jan. 2019.

Representação esquemática de um cromatógrafo de permeação em gel. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/363803/2/images/37/Representa%C3%A7%C3%A3o+esquem%C3%A1tica+de+um+cromat%C3%B3grafo+de+permea%C3%A7%C3%A3o+em+gel.jpg>. Acesso em: 10, jan. 2019.

RESEARCHGATE. **Cedrela fissilis**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-78-Cedrela-fissilis-A-aspecto-geral-da-arvore-B-detalhe-do-ramo-fertil-C_fig36_317290939. Acesso em: 11, jun. 2018a.

RESEARCHGATE. **Fotomicrografias. Cedrela fissilis**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Fotomicrografias-nas-tres-superficies-de-observacao-da-madeira-de-Cedrela_fig1_320809750. Acesso em: 11, jun. 2018b.

REZA BARZEGARI, M.; ALEMDAR, A.; ZHANG, Y.; RODRIGUE, D. Mechanical and rheological behavior of highly filled polystyrene with lignin. **Polymer Composites**, v. 33, p. 353-361. 2012.

RIBEIRO, R. B. DA S. **Quantificação e valoração de resíduos da colheita florestal na floresta nacional do tapajós, Pará**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae. VIÇOSA MINAS GERAIS – BRASIL. 2013.

RIBEIRO, F. A.; CORREIA, T. R.; FERNANDES, J. I.; MELO, R. M. P. S.; VIEIRA, V. P. D. A. C.; BEZERRA, L. L.; SCOTT, F. B. Atividade do Extrato de Nim sobre o desenvolvimento embrionário de *Ctenocephalides felis felis* (Buché, 1835) (Siphonaptera: Pulicidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, 17, supl. 1, 87-91 (Brazil, J. Vet. Parasitol.). 2008.

RIBEIRO, JOSE & J. G. HOPKINS, MICHAEL & VICENTINI, ALBERTO & SOTHERS, CYNTHIA & AUXILIADORA DA S. COSTA, MARIA & M. DE BRITO, JONEIDE & SOUZA, MARIA & HELENA P. MARTINS, LUCIA & LOHMANN, LUCIA & APOSTOLO C. L. ASSUNCAO, PAULO & DA C. PEREIRA, EVERALDO & FERNANDES DA SILVA, COSMO & MESQUITA, MARIANA & PROCOPIO, LILIAN. **Flora da Reserva Ducke. Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazonia Central**. DOI: 10.2307/4110841. Manaus: INPA, p. 816. 2002.

RIGO, E. C. da S.; GEHRKE, A. S.; CARBONARI, M. Síntese e Caracterização de Hidroxiapatita Obtida pelo Método de Precipitação. Reeditado a partir do artigo original da **Revista Dental Press Periodontia Implantologia**, Maringá, volume 1, número 3, páginas 39-50, em julho/agosto/setembro de 2007.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONJE, J. A.; WOOD, D. F.; MATTOSO, L. H. C.; ORTS, W. J.; IMAM, S. H. **Extração e Caracterização de Whiskers de Celulose de Fibra de Coco**. In: Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto de Galinhas- PE, nov (2008).

RUEGGER, M. J. S; TAUKE-TORNISIELO, S. M. **Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil**. *Revista Brasileira de Botânica.*, V.27, n.2, p.205-211, abr.-jun. 2004.

SAD. **Sistema de Alerta de Desmatamento**. Novembro de 2018. Disponível em: <https://amazon.org.br/wp-content/uploads/2019/01/SAD-novembro-2018.jpg>. Acesso em: 26, jan. 2019.

SALVACHÚA, D.; PRIETO, A.; LÓPEZ - ABELAIRAS, M.; LU - CHAU, T.; MARTÍNEZ, A. T.; MARTÍNEZ, M. J. Fungal pretreatment: an alternative in second - generation ethanol from wheat straw. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 7500 - 7506, 2011.

SAMIR, M. A. S. A.; ALLOIN, F.; DUFRESNE, A. **Biomacromolecules**, V.6, p. 612 (2005).

SANAGUA. **Árvores fornecem informações sobre o histórico do clima**. Disponível em: <http://sanagua.com.br/noticias/arvores-fornecem-informacoes-sobre-o-historico-do-clima-151.html>. Acesso em: 11, jun. 2018.

SANTIN, D. A. **Revisão taxonômica do gênero *Astronium* Jacq. e revalidação do gênero *Myracrodruon* Fr. Allem. (Anacardiaceae)**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1989.

SANTOS, F. A.; DE QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000 Viçosa – MG, Brasil. **Quim. Nova**, Vol. 35, No. 5, 1004-1010, 2012.

SANTOS, M. V. B.; FEITOSA, G. T.; OSAJIMA, J. A.; SANTOS R. L. P.; SILVA FILHOE. C. **Desenvolvimento de biomaterial composto por hidroxiapatita e clorexidina para aplicação na cavidade oral**. Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Teresina, PI, Brasil. 2019.

SCHWEDT, G. **The Essential Guide to Analytical Chemistry**. **John Wiley & Sons**, 1999.

SENNA, A. M.; MENEZES, J. B.; BATISTA, F. V. S.; RIBEIRO, G. S.; DE GODOY, M. O. Obtenção de Celulose e Produção de Papel Branqueado a partir do Capim *Brachiaria (Brachiaria decubens)*. **Quím. nova esc. – São Paulo-SP, BR**. Vol. 40, N° 2, p. 116-120, mai. 2018.

SFB - Serviço Florestal Brasileiro. **Plano Anual de Outorga Florestal 2019**. Brasília DF. v.12, n. 1, jul. 2018.

SHYAMROY, S. **Synthesis of Biodegradable Poly (Lactic Acid), Polymers**, The doctor University of Poona, India, 2003.

SILVA, A. **Resíduos de exploração florestal viram móveis na Flona do Tapajós**. Em 19 de março de 2017 Disponível em: <https://empreendimentosflorestaemadeira.blog/2017/03/19/aproveitamento-residuos-exploracao-moveis-flona-tapajos-coomflona/>. Acesso em: 25, jan. 2019.

SILVA, B. T. B. **Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de Mogno africano**. Monografia (UFRRJ), 2010.

SILVA, G. I. R.C. 2017. **Análise da viabilidade de produção de madeira-plástica utilizando poliestireno (ps) e madeiras da amazônia**. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5874>. Acesso em: 17/12/2019.

SILVA, J. R. M. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**. V.29, n.3, p.479-487, 2005.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne, Lavras**, v. 15, p. 75 - 83, 2009.

SILVA, M.A.P. **Cinética de Cristalização e variações microestruturais do poli (fluoreto de vinilideno) nas fases α e γ** . Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2007.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**, 7 ed., LTC, Rio de Janeiro (2006) 70.

SIMMONDS, M. S. J.; STEVENSON. P. C.; PORTER, E. A.; VEITCH, N. C. **Insect antifeedant activity of three new tetranortriterpenoids from *Trichilia pallida***. **Journal of Natural Products, Pittsburg**, v. 64, p. 1117-1120, 2001.

SIMÕES, M. L. G. **Controle biológico de *Moniliophthora perniciosa*, agente causal da vassoura de bruxa do cacaueteiro, por diferentes espécies e linhagens de *Trichoderma* spp.** Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada). 220 f. 2010. Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho, Rio Claro- SP.

SIMOES, M. S. **Desenvolvimento e estudo *in vitro* de implante biorreabsorvível em poli (l-lactídeo) (plla) para artrodese de coluna lombar**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SINGH, A. K.; SINGH, M. Antiviral activity and physical properties of the extracts of *Azadirachta indica* L. **Indian Journal of Virology**, Hisar-Haryana, v. 4, p. 76-81, 1988.

SOUZA, T. S.; RANGEL, F. C.; TOKUMOTO, M. S.; LÔBO, I. P.; CRUZ, R. S. Síntese, caracterização e modificação da hidroxiapatita com zinco para aplicação na reação de esterificação. **ResearchGate**. Article in *Matéria* (Rio de Janeiro) · May 2019 DOI: 10.1590/s1517-707620190001.0659.

STILES M.E., HOLZAPFEL W.H. Review article: lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. **International Journal of Food Microbiology**.36:1-29, 1997.

STOLT, M.; MARCRO, A. S. Use of monocarboxylic iron derivatives in the ring opening polymerization of L - lactide. **Macromolecules**. vol. 32, issue 20. pag. 6412 – 6417, 1999.

SUB100. **Filtros e Bombas – Ôfuro. Cedro.** Disponível em: <http://www.sub100.com.br/empresas/fornecedores/alcro2/ofuros.php>. Acesso em: 05, jan. 2019.

SURYANEGARA, L.; NAKAGAITO, A. N.; YANO H. **Composites Science and Technology**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.02.022>. Vol. 69, p.1187. 2009.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, p. 1621-1651, 2008.

TAPPI Press Standards, TAPPI Test Methods. Atlanta, GA, 2007.

- TAPPI T09: Holocellulose in wood, 1973.
- TAPPI T203: Alpha- beta- and gamma-cellulose in pulp, 2002.
- TAPPI T 204: Solvent extractives of wood and pulp, 2007.
- TAPPI T211: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C, 2002.
- TAPPI T222: Acid-insoluble lignin in wood and pulp, 2002.

TEIXEIRA, A. B. **A relevância da indústria de transformação, locus do design industrial, e os condicionantes para o alcance de um produto de classe mundial na indústria do móvel residencial de madeira maciça.** Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da PUC. Rio de Janeiro Abril de 2017.

THYS, R. C, S. et al. The effect of acid hydrolysis on the technological functional properties of pinhão (*Araucaria brasiliensis*) starch. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, v. 33, supl. 1, p. 89-94, Feb. 2013.

TURI, E. A. Thermal Characterization of Polymeric Materials. **Academic Press**, Inc, 1981.

UC. **Unidades de Conservação.** Florestas. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/uso-sustent%C3%A1vel/florestas>. Acesso em: 25, jan. 2019.

UFSM. **Suturas - Cap. 05.** Universidade Federal de Santa Maria - Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <http://www.ufsm.br/tiellercab/HVfwork/apoptcv/cap5.htm>. Acesso em: 20, jan. 2019.

UHL, C.; NEPSTAD, D. C.; SILVA, J. M. C. da; VIEIRA, I. Restauração da floresta empastagens degradadas. **Ciência Hoje**, v.13, p.22-31, 1991.

VIEGAS JR., C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Quim. Nova**, 26: 390, 2003.

WANG, L.; ZHAO, B.; LIU, B.; YU, B.; MA, C.; SU, F.; HUA, D.; LI, Q.; MA, Y.; XU, P. Efficient production of L-lactic acid from corncob molasses, a waste by-product in xylitol production, by a newly isolated xylose utilizing *Bacillus* sp. strain. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 7908 - 7915, 2010.

WANG, Z.; XIAONA, H.; MAO, Z.; YE, R.; MO, Y.; FINLOW, D. E. Synthesis and Characterization of Biodegradable Poly(lactic acid-co-glycine) via Direct Melt Copolymerization. **Iranian Polymer Journal** v.17, p.791–798 (2008).

WATERMAN, P. G.; GRUNDON, M. F. (Eds.). **Londres, Academic Press**. 1983. p. 175-213.

WEE, Y. J.; KIM, J. N. & RYU, H. W. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. **Food Technology and Biotechnology**, v. 44, p. 163 - 172, 2006.

WEE, Y. J.; YUN, J. S.; KIM, D.; RYU, H. W. Batch and repeated batch production of L(+) - lactic acid by *Enterococcus faecalis* RKY1 using wood hydrolyzate and corn steep liquor. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 33, p. 431 - 435, 2006.

WEE, Y.; RYU, H. Lactic acid production by *Lactobacillus* sp. RKY2 in a cell-recycle continuous fermentation using lignocellulosic hydrolyzates as inexpensive raw materials. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4262-4270, 2009.

WELLS, M. J. M. e YU, L. Z. (2000). Solid - phase extraction of acidic herbicides. **Journal of Chromatography A**, v. 885, p. 237 - 250.

WENDHAUSEN, P. A. P.; RODRIGUES, G. V.; MARCHETTO, O. **Apostila de Análises Térmicas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 2002.

WOOD, B.J., HOLZAPFEL, W.H. The genera of lactic acid bacteria. **Glasgow: Blackie academic & Professional**. 6-15, 1995.

XU, G. Q.; CHU, J.; WANG, Y. H.; ZHUANG, Y. P.; ZHANG, S. L.; PENG, H. Q. Development of a continuous cell - recycle fermentation system for production of lactic acid by *Lactobacillus paracasei*. **Process Biochemistry**, v. 41, p. 2458 - 2463, 2006.

YAMANE, H.; SASAI, K; **Effect of the addition of poly (d-lactic acid) on thermal property of poly (L-lactic acid)**, Kyoto, 2003.

ZHANG, Y. P. Reviving the carbohydrate economy via multi - product lignocellulose biorefineries. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 35, p. 367– 375, 2008.

ZHU, Y.; LEE, Y. Y.; ELANDER, R. T. **Conversion of aqueous ammonia - treated corn stover to lactic acid by simultaneous saccharification and cofermentation**. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 136 - 140, p. 721 - 738, 2007.