



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**

LUANA MARIA DE QUEIROZ SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CACTÁCEAS PARA
APLICAÇÕES EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS.**

**SUMÉ - PB
2019**

LUANA MARIA DE QUEIROZ SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CACTÁCEAS PARA
APLICAÇÕES EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

Orientador: Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

**SUMÉ - PB
2019**

S586a Silva, Luana Maria de Queiroz.
Avaliação do potencial de cactáceas para aplicação em processos biotecnológicos. / Luana Maria de Queiroz Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

48 f.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

1. Palma forrageira. 2. Mandacaru. 3. Cactácea. 4. Processo biotecnológico. 5. Biotecnologia. 6. Plantas da caatinga – potencial biotecnológico. 7. Biomassa lignocelulósica. 8. Bioprodutos. I. Nunes, Bruno Rafael Pereira. II. Título.

CDU: 60 (043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

LUANA MARIA DE QUEIROZ SILVA

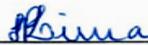
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CACTÁCEAS PARA
APLICAÇÕES EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.
Orientador – UAEB/CDSA/UFCG



Prof.ª Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima
Examinadora I – UAEB/CDSA/UFCG



Ma. Arianne de Freitas Barros Soares
Examinadora II – PPGEQ/UFCG

Trabalho aprovado em: 10 de julho de 2019.

SUMÉ - PB

*“Nada te perturbe, nada te
amedronte.
Tudo passa, a paciência tudo
alcança.
A quem tem Deus nada falta.
Só Deus basta!”*

(Santa Teresa D’Ávila)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, a Deus. Por ter me dado a oportunidade de ter chegado até aqui, por me permitir ser instrumento Dele durante todos esses anos dentro e fora da Universidade juntamente com os cuidados de sempre da Virgem Maria a qual eu entrego minha vida, meus caminhos e decisões todos os dias.

Aos meus Pais, Tenilza e Genildo, minha eterna gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim. Obrigada pela confiança que sempre depositaram em mim, pelo apoio, compreensão, por todo o esforço para que eu tivesse sempre a melhor educação seja ela em casa ou na escola, pela preocupação quando eu estava distante, enfim, por saber que eu posso verdadeiramente contar sempre com vocês em toda e qualquer situação. Essa conquista é nossa! Eu amo vocês!

As minhas Avós Águida e Alaíde, por serem durante toda a minha vida verdadeiros anjos de guarda, refúgio e fortaleza nos dias difíceis.

Ao meu avô Sr. Queiroz (*in memorian*), por saber que eu tenho um anjo e intercessor no céu, o senhor não tá aqui pra tocar sanfona pra comemorar essa conquista, mas eu sei que olha e se orgulha de mim daí.

Minha tia Selma (*in memorian*), sempre presente no meu coração.

À todos os meus familiares pelo carinho, incentivo, apoio, amor nos gestos mais simples e por demonstrarem sempre orgulho de mim. Como também a toda a Família Lêla que também me adotou como família, me faz sentir em casa e a qual eu carrego sempre com muito amor e carinho.

Às minhas madrinhas Tanniery, Aninha e Graziela e também ao meu padrinho Sandro e sua esposa Cristina.

A meu orientador, Prof^o Dr^o Bruno Rafael, o qual tenho grande admiração. Por ser professor e amigo, pelos ensinamentos em sala de aula, pela amizade, a paciência de sempre, a atenção, o cuidado, os conselhos e incentivos, a calma que sempre me passava mesmo nos dias que eu chegava mais desesperada, por me mostrar que independente dos obstáculos, no final, tudo vai dar certo. Pelas contribuições não só neste trabalho, mas também durante o curso. Obrigada por tudo!

À Arianne Barros, pelos ensinamentos durante a graduação, por tão gentilmente ter aceitado fazer parte da banca examinadora, pela amizade e por saber que posso contar não só no ambiente acadêmico, mas também na vida pessoal e também religiosa.

À todos professores da UFCG-CDSA que contribuíram durante todos esses anos com a minha formação acadêmica. Em especial Franklin Nóbrega, Jean Queiroz, Alex Albuquerque, Ana Luiza, Patrício e Ilza, o afeto, a amizade e o carinho com vocês foi além da sala de aula.

Aos meus parceiros de laboratório Davi e Kátia, pela ajuda durante os experimentos, pela nossa união e parceria dentro e fora do laboratório, pela companhia e conversas jogadas fora.

Ao Laboratório de Biotecnologia, Laboratório de Química Experimental e Laboratório de Solos, onde foi possível a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) no campus sede, em especial a professora Líbia Conrado, pela oportunidade de estágio e também a Cecília, pela ajuda nas análises.

Aos técnicos Norma e Denilson pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

À todos os funcionários da UFCG-CDSA. Cristiano pela prontidão de sempre no período de trabalho constante no laboratório e Novinha e João pelo bom humor todos os dias entre uma aula e outra e entre uma central de aulas e outras.

Aos meus amigos e companheiros de apartamento durante o estágio Jéssica Rodrigues e Emanuel, pelas noites em que me fizeram companhia seja estudando, aguentando meu desespero com o tcc, jogando conversa fora inventando comida ou mesmo nas noites de descontração com o #partiupp.

Aos meus amigos Thê, Heverton, Jéssica Vieira, Marcos, Higor e Danyllo simplesmente por serem vocês! Vocês me dão força na caminhada com simples gestos e palavras e sei que torcem para que tudo dê certo na minha vida. É tudo recíproco.

À minha amiga Camila Joyce, pelo verdadeiro laço de irmandade. Por ter sido abrigo nas dificuldades, chorado junto comigo a cada fim de período sem fim, pela ajuda seja na vida pessoal quanto acadêmica e por ser instrumento de Deus todos os dias. Nossa amizade vai além dessa graduação.

Não poderia deixar de expressar também meus agradecimentos a Valmir e a Junior, pela paciência todos os dias na van, assim como todos os colegas da universidade que andavam comigo.

Aos amigos que a UFCG me presenteou, vivemos momentos e situações bons e ruins que serão lembrados para sempre, em especial Isadora Fernandes, Eliélson Rafael, Francisco, Maria Barros, Priscila Kelly, Andrezza Larissa, Sabrina, Suenia e a minha turma do 2014.1.

Aos meus amigos de fé e caminhada, que sempre me colocam em oração e são instrumentos de Deus na minha vida: Humberto, Rayane, Dany, Carol, Hugo, Rita, Renan,

Stella, Pedro, Evelyn, minha família EJC e meus irmãos de caminhada da PJ. Assim também como o Padre Claudeci e Padre Rodolfo Lucena.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.
Meu muito obrigada!

RESUMO

A busca por energia limpa, pela utilização de matérias-primas renováveis e que apresentem interesse biotecnológico vem crescendo cada vez mais. A biomassa lignocelulósica é uma fonte economicamente viável na qual a energia química pode ser liberada por meio de processos químicos e termoquímicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade da biomassa de plantas e frutos, oriundos da região do semiárido, como potenciais matérias primas na geração de bioprodutos e biocombustíveis. Para isso, foram utilizados como biomassa o caule e o fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru P.DC.*), raquetes da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) e o fruto do rabo de raposa (*Harrisia adscendens*). A determinação da composição da biomassa seca foi realizada determinando os teores de umidade, cinzas, extrativos, lignina e holocelulose (celulose + hemicelulose), além da determinação da quantidade de açúcares redutores pelo método do DNS (Ácido 3,5-Dinitrosalicílico). A partir dos resultados analisados, foi demonstrado que a palma e o mandacaru apresentam maiores teores de umidade, ou seja, são as duas matérias que apresentaram em sua constituição maior quantidade de água. As maiores frações de extrativos foram encontrados nos frutos de mandacaru e de rabo de raposa, provavelmente devido à grande quantidade de sementes em sua constituição. Em relação a holocelulose, fração composta por celulose e hemicelulose, foi possível verificar valores significativos em todas as biomassas utilizadas, principalmente para palma e mandacaru, com valores superiores a 60%. O maior teor de lignina foi observado para o mandacaru, que apresentou 17,64% deste constituinte. Quanto aos açúcares redutores, os frutos apresentaram os valores mais elevados, possibilitando sua utilização em processos fermentativos, como os aplicados para geração de etanol e de produtos como xilitol. Assim, as cactáceas utilizadas, apresentam-se como uma alternativa importante para produção de produtos biotecnológicos e energia alternativa.

Palavras-Chave: Bioprocessos. Palma forrageira. Mandacaru. Rabo de raposa. Semiárido Brasileiro.

ABSTRACT

The search for clean energy, the use of renewable raw materials and that have a biotechnological interest has been growing more and more. Lignocellulosic biomass is an economically viable source in which chemical energy can be released through chemical and thermochemical processes. The objective of this work was to evaluate the applicability of biomass of plants and fruits from the semiarid region as potential raw materials in the generation of bioproducts and biofuels. For this, the stem and mandacaru fruit (*Cereus jamaru* P.DC.), forage palm rafts (*Opuntia ficus indica* Mill) and the fruit of the foxtail (*Harrisia adscendens*) were used as biomass. The determination of the dry biomass composition was carried out by determining the moisture content, ashes, extractives, lignin and holocellulose (cellulose + hemicellulose), as well as determining the amount of reducing sugars by the DNS (3,5-Dinitrosalicylic acid) method. From the results analyzed, it was demonstrated that the palm and mandacaru present higher moisture contents, that is, they are the two materials that presented in their constitution a greater amount of water. The largest extractive fractions were found in mandacaru and foxtail fruits, probably due to the large amount of seeds in their constitution. In relation to holocellulose, a fraction composed of cellulose and hemicellulose, it was possible to verify significant values in all the biomasses used, mainly for palm and mandacaru, with values higher than 60%. The highest lignin content was observed for mandacaru, which presented 17.64% of this constituent. As for the reducing sugars, the fruits presented the highest values, allowing their use in fermentative processes, such as those applied for the generation of ethanol and products such as xylitol. Thus, the cactaceae used are presented as an important alternative for the production of biotechnological products and alternative energy.

Keywords: Bioprocesses. Forage palm. Mandacaru. Rabo de raposa. Brazilian Semi-Arid.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

μL	Microlitro
AR	Açúcares Redutores
CDSA	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
DNS	Ácido 3,5-Dinitrosalicílico
FES	Fermentação em Estado Sólido
g	Gramas
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IN	In natura
L	Litro
LAPIS	Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites
LEB	Laboratório de Engenharia Bioquímica
MA	Massa da Amostra
MAC	Metabolismo Ácido das Crassuláceas
MAU	Massa da Amostra Úmida
MF	Massa do Papel de Filtro Limpo e Seco
MFL	Massa do Papel de Filtro somada à Massa de Lignina
Min	Minutos
mL	Mililitro
MR	Massa do Recipiente
MRAC	Conjunto Recipiente/Amostra Calcinada
MRAS	Massa do Conjunto Recipiente/Amostra Seca
MRAU	Massa do Conjunto Recipiente/Amostra Úmida
MRE	Massa do Conjunto Recipiente/Extrativos
MRRS	Conjunto Recipiente/Resíduo de Solvente
Nm	Nanômetro
NREL	National Renewable Energy Laboratory
°C	Graus Celsius
Rpm	Rotação por minuto
SST	Sólidos Solúveis Totais
TC%	Teor de Cinzas Totais
TC%	Teor de Cinzas das Amostras
TE%	Teor de extrativos
TLI%	Teor de Lignina Insolúvel
TU%	Teor de Umidade
UAEB	Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
v/v	Volume/volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA	16
3.1.1	Celulose.....	17
3.1.2	Hemicelulose	18
3.1.3	Lignina	20
3.2	POTENCIAL DAS CACTÁCEAS DO SEMIÁRIDO	21
3.2.1	Mandacaru (<i>Cereus Jamacaru</i> P.DC.).....	22
3.2.2	Palma forrageira (<i>Opuntia ficus indica</i> Mill)	23
3.2.3	Rabo de raposa (<i>Harrisia adscendens</i>)	24
3.3	PROCESSOS APLICADOS NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS A PARTIR DA BIOMASSA	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	MATÉRIAS- PRIMAS UTILIZADAS.....	31
4.2	PROCESSAMENTO DO MATERIAL	31
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DOS MATERIAIS.....	32
4.3.1	Determinação do Teor de Umidade	33
4.3.2	Determinação do Teor de Cinzas.....	33
4.3.3	Determinação do Teor de Extrativos	34
4.3.4	Determinação do Teor de Lignina	35
4.4	DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES (AR).....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA	38
5.2	DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES.....	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O setor energético vem apresentando um cenário de limitações e dificuldades no que diz respeito a exploração de novos recursos e a busca por energia limpa, com isso, vem crescendo o uso de rotas alternativas para geração de químicos e obtenção de combustíveis. Nesse sentido, o uso da biomassa surge como uma alternativa no desenvolvimento de produtos químicos, biocombustíveis e energia apresentando grande potencial para indústria química, petroquímica, farmacêutica, entre outras, gerando interesse tanto do ponto de vista tecnológico, quanto aos aspectos econômico e ambiental (CAMELO et al., 2017; VAZ JUNIOR, 2010).

O uso da biomassa lignocelulósica atende às necessidades atuais de buscar novas fontes de energia que não concorram com a produção de alimentos e que possam reduzir o impacto ambiental. Incluindo resíduos agroindustriais ou biomassas vegetais que antes eram descartadas, queimadas ou utilizadas como adubo, e representam hoje uma fonte de oportunidades para produção de biocombustíveis e outros compostos.

O material lignocelulósico apresenta uma baixa acessibilidade à ação de enzimas ou catalisadores devido a presença de lignina e hemicelulose na matriz funcionando como uma barreira, a qual dificultam a degradação do material e diminuem o acesso à celulose, essa propriedade é denominada recalcitrância. Por meio de reações específicas, pré-tratamentos podem ser aplicados para separar as frações e aumentar a acessibilidade à celulose, facilitando o processo de conversão de cada um dos constituintes (SHIMIZU, 2018).

A Caatinga é o bioma característico do Nordeste. A região do Semiárido é caracterizada por apresentar um clima quente e seco, com pouca ocorrência de chuvas. Por esse motivo, a Caatinga é vista muitas vezes como um ambiente escasso e inviável para a pesquisa. No entanto, apresenta muitas espécies vegetais com grandes potenciais biotecnológicos e que são pouco conhecidos. O mandacaru, a palma forrageira e o rabo de raposa fazem parte deste cenário.

O mandacaru e a palma são utilizados principalmente como alimentos para os rebanhos, no entanto, os produtores têm observado uma baixa utilização da matéria seca e fibra pelos animais e os frutos muitas vezes são desperdiçados, por serem muito perecíveis. A cactácea rabo de raposa apesar de não apresentar uso na alimentação animal e não ter tantos estudos de suas propriedades físico-químicas é utilizada para fins ornamentais. São plantas bem adaptadas e apresentam resistência à seca tornando-se relevantes no contexto social e econômico.

A aplicação de processos biotecnológicos surge como uma forma de aproveitar racionalmente as propriedades desses materiais, tendo em vista que ainda encontram poucas aplicações, e que a partir deste emprego podem ganhar valor de mercado. Assim, devido à larga disponibilidade, adaptação à região, fácil obtenção e variedade justifica-se o desenvolvimento

desse trabalho, contribuindo para o desenvolvimento biotecnológico no Cariri paraibano, agregando valor a tais matérias-primas aliado as atuais necessidades do uso de biomassas lignocelulósicas como possíveis fontes de energia e de obtenção de bioprodutos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- O objetivo geral deste trabalho foi a avaliação da aplicabilidade da biomassa do mandacaru (*Cereus jamacaru P.DC.*), fruto do mandacaru, palma forrageira (*Opuntia ficus indica Mill*) e fruto do rabo de raposa (*Harrisia adscendens*) como potenciais matérias primas na geração de produtos e biocombustíveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização das biomassas, determinando os teores de lignina, umidade, extrativos e cinzas;
- Determinar a quantidade de açúcares redutores presentes em cada biomassa;
- Propor possíveis aplicações para cada material utilizado neste estudo, visando a geração de produtos de valor agregado;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

A biomassa é uma fonte de energia renovável, formada pela matéria orgânica vegetal através do processo de fotossíntese na presença de luz solar. O processo de fotossíntese colabora para que a biomassa não acumule dióxido de carbono na atmosfera porque todo o CO₂ liberado durante seu uso é absorvido novamente durante este processo. É considerada uma maneira de estocagem de energia na forma de ligações moleculares orgânicas, ou seja, na forma de energia química que pode ser liberada por processos químicos e termoquímicos. São considerados biomassa todas as matérias e resíduos oriundos de plantas e animais que tem carbono, hidrogênio e oxigênio como composição primária (SOUZA; SORDI; OLIVA, 2002).

Os materiais lignocelulósicos representam a maior e mais barata fonte de matéria orgânica da biosfera. Sua constituição rica em carboidratos permite que subprodutos das indústrias florestais e agroindustriais sejam fontes de açúcares fermentescíveis, matéria prima em processos biológicos que visam a produção de substâncias com alto valor comercial como, por exemplo, xilitol, etanol, hidroximetilfurfural e outros (FERRAZ, 2010).

A utilização de materiais lignocelulósicos como matéria prima em bioprocessos é significativamente influenciada pela sua constituição química. São formados por celulose e hemicelulose intercalados por outra macromolécula formada por álcoois aromáticos, a lignina, aos quais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio. Dependendo da origem do vegetal podem ser encontrados resinas, ácidos graxos, fenóis, taninos, compostos nitrogenados e sais minerais (SILVA, 2010). A Tabela 1 mostra algumas fontes de materiais lignocelulósicos e sua composição básica aproximada.

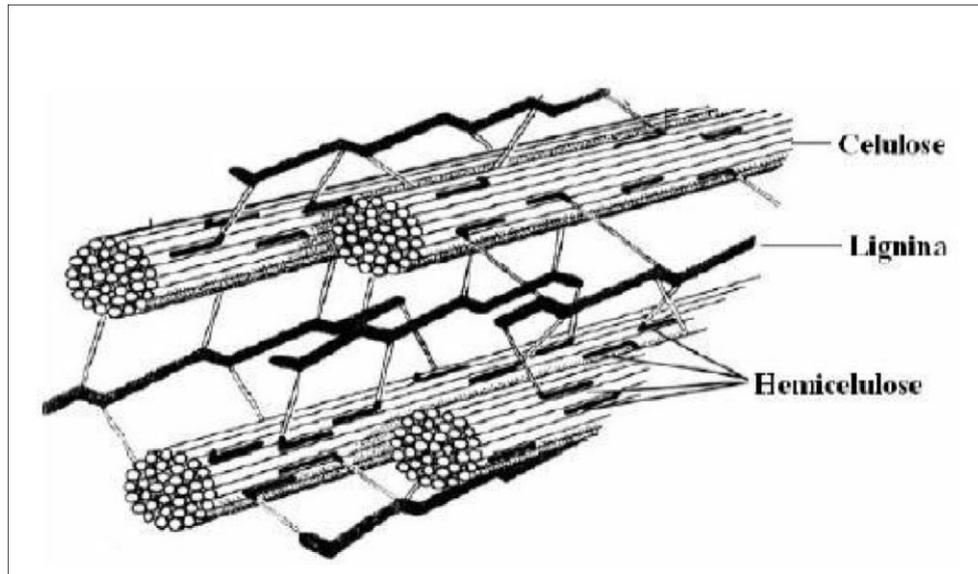
Tabela 1 - Composição Química de alguns Materiais Lignocelulósicos

Material Lignocelulósico	Componentes (%)			
	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Cinzas
Bagaço de Cana	33-36	28-30	18-20	2-5
Palha de Arroz	32-37	19-24	9-13	12-18
Palha de Trigo	30-33	22-28	14-18	3-7
Sabugo de Milho	34-36	16-24	15-19	
Madeira	50	20	10	5

Fonte: (OLSSON E HAHN-HAGERDAL, 1996; LEE, 1997).

Esses materiais são formados por estruturas duras e fibrosas, compostas pelos polissacarídeos celulose e hemicelulose, entremeados por outra macromolécula formada por alcoóis aromáticos, a lignina, aos quais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio, como mostra a figura 1:

Figura 1 - Esquema Estrutural das Fibras de um Material Lignocelulósico



Fonte: (LEE, 1997).

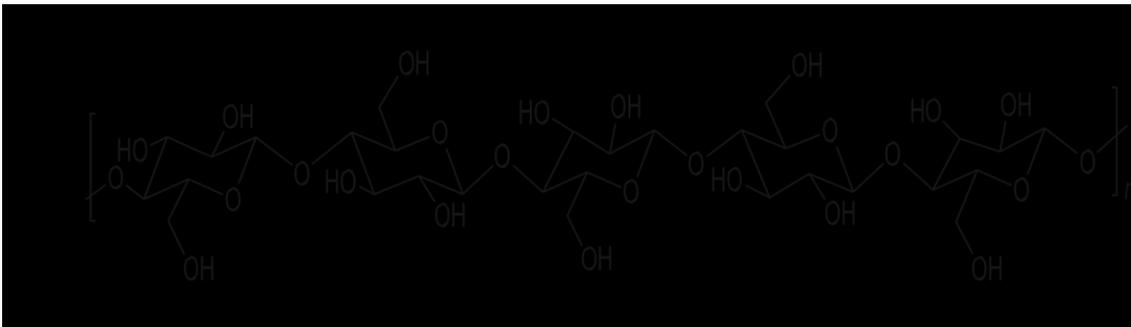
Essa composição depende do vegetal de origem, da espécie da planta, da região de cultivo, idade e período do ano em que se realiza a colheita do material (HASSUANI, 2005). A partir desses materiais é possível produzir: compostos aromáticos leves e combustível sólido sem enxofre a partir da lignina. Espessantes, emulsificantes, estabilizantes e outros produtos químicos como precursores de polímeros a partir da hemicelulose. Ácido levulínico, nanocristais para preparo de compósitos, preparo de géis e espumas, lubrificantes e glicose, incluindo seus derivados (etanol, ácidos orgânicos e solventes orgânicos) a partir da celulose (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

3.1.1 Celulose

É considerada a fonte de carbono mais abundante disponível na biosfera, seu conteúdo está presente em todas as plantas desde organismos primitivos até árvores mais desenvolvidas (RABELO, 2007). Constitui de 20 a 30% das paredes celulares primárias e 40% das paredes celulares secundárias, sendo o composto mais abundante do mundo (NASCIMENTO, 2011).

A celulose é um polímero linear com ligações glicosídicas β -1,4 entre unidades Dglicopirranose que se ligam através dos carbonos 1-4. Nos vegetais, as moléculas de celulose se unem paralelamente por meio de pontes de hidrogênio arranjando-se em fibrilas que se encontram ligadas a hemicelulose e a lignina resultando em um material bastante resistente à tensão, à degradação microbiana e insolúvel a diversos solventes (DING, HIMMEL, 2006).

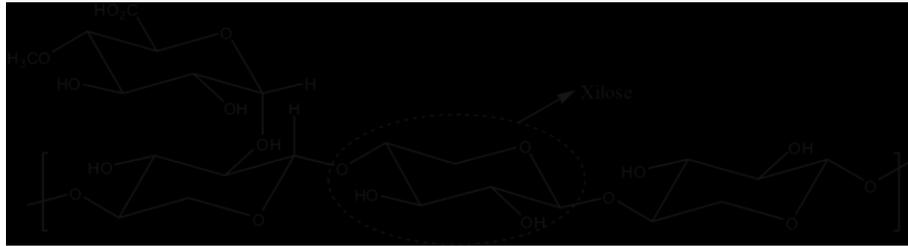
Possuem um alto grau de polimerização e uma elevada massa molecular, podendo ser classificada de acordo com seu grau de polimerização e seu índice de cristalinidade. O grau de polimerização corresponde a frequência de ligações glicosídicas disponíveis para a ação das celulases e é definida de acordo com o número médio de monômeros e peso molecular do polímero. A cristalinidade está relacionada à reatividade do substrato. Junto com a lignina, essas características formam uma macromolécula altamente resistente a hidrólise, podendo dificultar o uso dessas biomassas lignocelulósicas nas aplicações biotecnológicas (D' ALMEIDA, 1998 apud ESTEVES, 2011).



A celulose vem sendo um resíduo bastante utilizado na produção de etanol de segunda geração e de produtos químicos, entre eles: tensoativos, adesivos, corantes, solventes, produtos farmacêuticos (KUMAR, R.; SINGH, S.; SINGH, O. V., 2008).

3.1.2 Hemicelulose

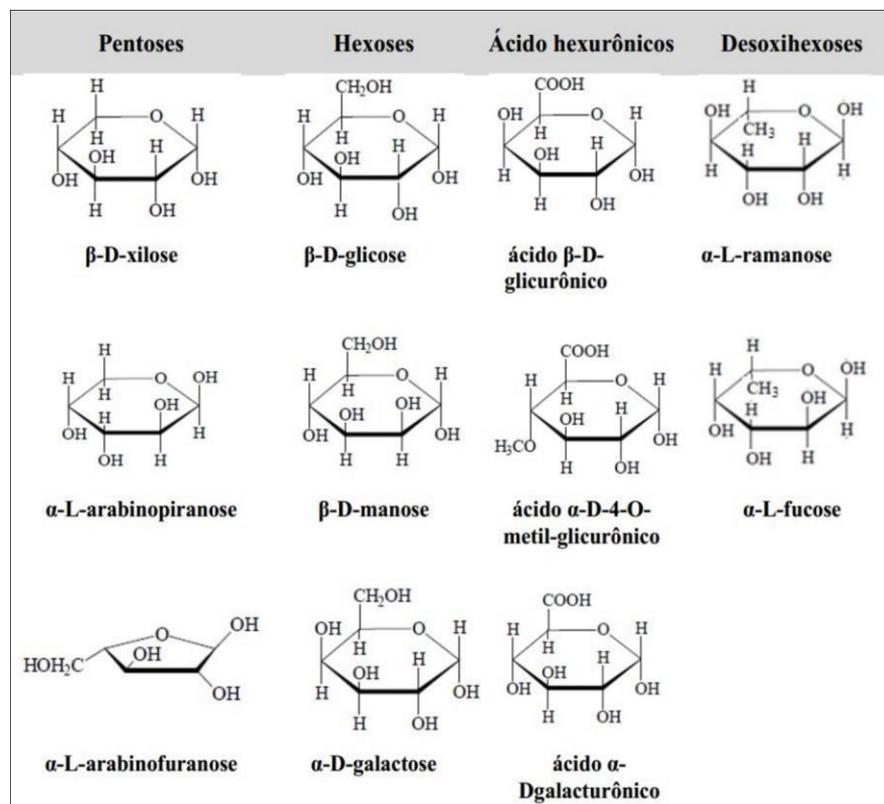
Corresponde a cerca de 15 a 30% da composição da parede celular. Definido como uma classe heterogênea de polissacarídeos de baixa massa molecular composta por pentoses, hexoses e ácidos urônicos (GÍRIO et al., 2010). Tem o grau de polimerização menor que a celulose e devido a seu caráter relativamente amorfo apresentam uma maior susceptibilidade à processos de hidrólise ácida (FENGEL; WEGENER, 1989).

Figura 3 - Representação esquemática da molécula de hemicelulose

Fonte: Santos (2012)

A diferença entre a celulose e hemicelulose está em sua composição química. Na celulose, são utilizadas apenas unidades de glicose para formação de polímero. Já na hemicelulose, podem aparecer porções variadas dos seguintes açúcares mostrados na Figura 4. Os quais tem a capacidade de estabilizar a parede celular por meio das pontes de hidrogênio com a celulose e por meio de ligações covalentes com a lignina. Servindo também como mecanismo de retenção de água em sementes (WIMAN et al., 2010).

A hemicelulose é considerada um carboidrato abundante, por constituir cerca de Cerca de 30% dos polissacarídeos que constituem a parede celular dos vegetais (RABELO, 2010).

Figura 4 - Representação dos açúcares presentes na hemicelulose

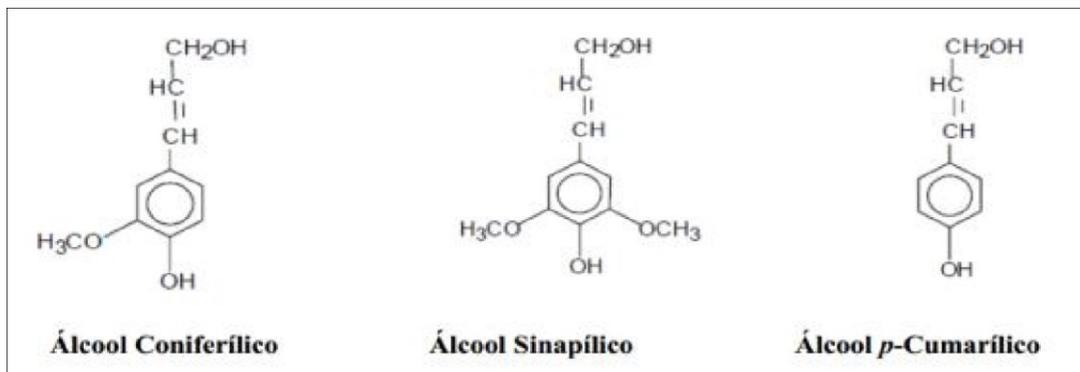
Fonte: CHRISTOFOLETTI, (2010).

3.1.3 Lignina

A lignina é composta de unidades de fenilpropano formando uma macromolécula tridimensional que vai sendo agrupada durante o crescimento do vegetal, representa de 20 a 30% do mesmo. Devido ao mecanismo de biossíntese da lignina, o agrupamento das unidades de fenilpropano não ocorre de forma regular e repetitiva. É processada via radicalar a partir de álcoois cinâmicos precursores: álcool *p*-cumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico

(Figura 3), gerando unidades phidroxibenzílicas, guaiacílicas e siringílicas, respectivamente (MARQUES, 2010).

Figura 5 - Álcoois precursores da formação de lignina



Fonte: CHRISTOFOLETTI, (2010)

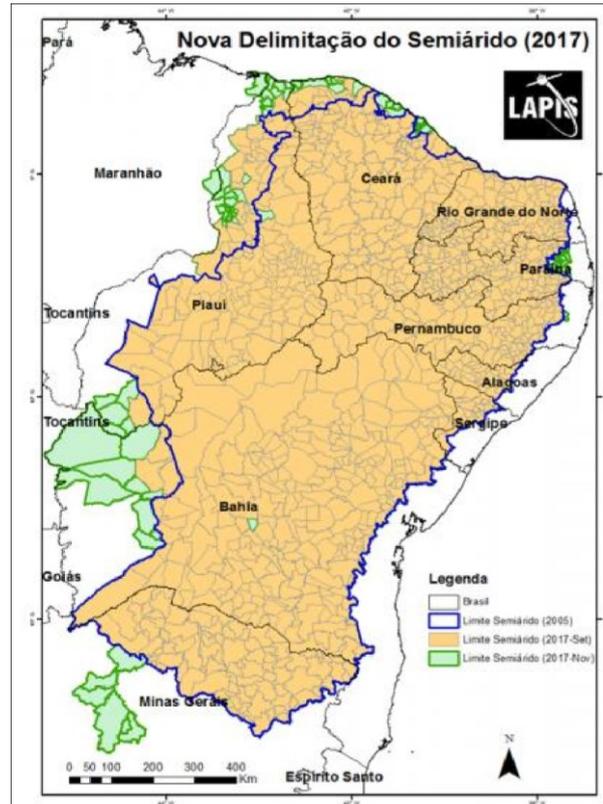
No processo de desenvolvimento do vegetal, a lignina é agrupada como último componente da parede celular e tem as funções de transporte de água, nutrientes e metabólitos, podendo interferir com o uma barreira no processo de conversão de biomassa em alguns materiais lignocelulósicos (MARABEZI, 2009). Quanto maior a proporção de lignina, maior a resistência à degradação química e enzimática, por esse motivo, é considerada o componente mais recalcitrante da parede da célula da planta. Na fermentação, a presença da lignina pode apresentar desvantagens, pois torna a biomassa lignocelulósica resistente a degradação química e biológica, consequentemente dificultando o acesso a outros componentes da planta (TAHERZADEH & KARIMI, 2008).

A lignina não é muito aproveitada em processos de conversão da celulose porque bloqueia o acesso à celulose, no entanto, pode ser utilizada na produção de aditivos de cimento, antioxidantes, nano tubos de carbono, resinas, aditivos de combustíveis, lubrificantes, emulsificantes, floculantes, dispersantes, tintas, corantes e graxas (GUERRIERO et al., 2016).

3.2 POTENCIAL DAS CACTÁCEAS DO SEMIÁRIDO

O semiárido concentra-se na região Nordeste, abrangendo os estados: Paraíba, Pernambuco, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e Bahia. Forma a Caatinga, um dos maiores biomas brasileiros. Possui um clima quente com baixo índice de pluviosidade.

Figura 6 - Mapa representando os locais abrangentes do semiárido



Fonte: LAPIs (Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites)

A vegetação da Caatinga apresenta características resistentes à seca. Segundo Nobel (1995), as cactáceas apresentam uma boa adaptação às condições do Semiárido brasileiro por serem vegetais classificados no grupo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas). Esse mecanismo confere alta eficiência no uso d'água. Os estômatos permanecem fechados durante o dia, para evitar a perda de água, e abertos durante a noite, para permitir a entrada de CO₂.

É possível encontrar espécies desse gênero de vegetais em todas as regiões do Brasil, sendo mais adaptadas ao semiárido, sendo classificadas como xerófitas. Geralmente apresentam espinhos, são suculentas e de hábitos diversificados. Os caules são chamados cladódios e os espinhos são modificações foliares que podem se apresentar de diversas formas (NECCHI, 2011).

De acordo com SANTOS *et al* (2013), a família *Cactaceae* possui cerca de 130 gêneros e 1.500 espécies. Destes gêneros a palma forrageira se destaca apresentando utilidade para o homem, sendo cultivada em diversos continentes do mundo e utilizada para diferentes fins, como planta frutífera, produção de bebidas e cosméticos.

3.2.1 Mandacaru (*Cereus Jamacaru* P.DC.)

O mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) é uma espécie nativa da vegetação da caatinga, pertencendo à família Cactácea. Pode crescer em solos pedregosos e, junto a outras espécies, forma a paisagem típica da região semiárida do Nordeste, sendo encontrado nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais (SILVA, 2009).

É uma planta dividida em duas espécies: *Cereus peruvianus* e *Cereus jamacaru*. A primeira é nativa do Peru e do Brasil. A segunda, encontrada apenas no Brasil sendo uma espécie típica do bioma caatinga. Ambas as espécies podem atingir cerca de cinco metros de altura e recebem outros nomes como jamacaru, cardeiro, cardeiro-rajado e mandacaru-de-boi (LIMA *et al.*, 2014).

Imagem 1 - Cultivo de mandacaru na cidade de Sumé- PB



Fonte: Pesquisa de campo (2019)

O fruto do mandacaru é uma baga, ovoide, com aproximadamente 12cm de comprimento, vermelho, carnoso, de polpa branca, com inúmeras sementes pretas e bem pequenas, como mostra a Imagem 2. Estudos químicos e farmacológicos nos frutos do mandacaru observaram presença de esteroides ergosterol e colesterol. A qualidade dos frutos se dá devido aos caracteres físicos que respondem pela aparência externa, entre os quais destacam-se o tamanho, a forma do fruto e a cor da casca apresentando assim, um grande potencial de aproveitamento industrial (BAHIA, et al., 2010).

Imagem 2- Frutos de mandacaru in natura;



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Segundo estudos realizados por Almeida *et al* (2005), o fruto apresenta teores de sólidos solúveis totais (SST) e de açúcares redutores (AR) relativamente elevados, com isso, um dos processos biotecnológicos que pode ser realizado com o fruto do mandacaru é a fermentação alcoólica.

3.2.2 Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill)

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) é uma cactácea originária do México que devido à suas características fisiológicas, apresentaram uma boa adaptação nas zonas áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro. Isso pode ser explicado devido à sua cutícula impermeável garantindo a manutenção do equilíbrio hídrico e regulando a entrada e saída de oxigênio e gás carbônico (ROCHA, 2012).

Vem se tornando um das cultivares mais estudadas no semiárido brasileiro. Suas características têm grande relevância no Nordeste por apresentar uma grande resistência à seca e um grande potencial energético, sendo considerada um grande “potencial energético aquoso” sendo, dessa forma, uma possível fonte de biomassa para possíveis estudos e caracterizações (ALVES et al., 2007).

Estudos realizados por Santos e Medeiros (2013) utilizando Cromatografia de extrato aquoso de palma indica a presença de glicose, arabinose, galactose e manose em sua biomassa. A galactose e a manose indicam a existência de polímeros de galactomanana podendo produzir soluções com alta viscosidade. A galactose, juntamente com a arabinose, também pode estar relacionada a polissacarídeos ricos em ácido galacturônico (pectinas). Já a glicose pode ser originada de oligossacarídeos (sacarose, lactose e maltose) ou até mesmo da fração mais solúvel de polímeros como o amido.

A composição química da palma apresenta uma considerável quantidade de carboidratos não fibrosos e cinzas, porém, sua composição pode variar de acordo com a espécie, idade e época do ano. Em média, pode conter 90% de água, variando o teor de umidade de acordo com a época do ano, cerca de 76% de água na época da estiagem e até 95% no período chuvoso (LIMA, 2013).

No Brasil, o uso da palma é em grande parte para forragem, no entanto o gênero *Opuntia ficus indica* Mill produz fruto comestível, conhecido como figo da Índia. Em outros países, é cultivada para alimentação humana, fins medicinais, matéria-prima de cosméticos e para uso como cerca viva (ROCHA, 2012). Sua exploração industrial apresenta um baixo custo devido a ecofisiologia da planta, podendo ser cultivada em áreas degradadas e, com isso, não compete com outras culturas como milho, soja e trigo que também possuem um grande interesse econômico (MENEZES et al., 2011)

3.2.3 Rabo de raposa (*Harrisia adscendens*)

A espécie *Harrisia adscendens* conhecida popularmente como rabo de raposa é usada no sertão da Paraíba para tratamento de problemas renais e odontológicos. O gênero *Harrisia* é um cacto colunar que compreende um total de 18 espécies nativas da América do Sul e Caribe, encontrado em zonas sazonais secas (LEMOS, 2015). A espécie é encontrada em todos os estados do nordeste, com exceção do Rio Grande do Norte e Maranhão (ZAPPI, et. al., 2011).

Figura 7 - Distribuição de Rabo de raposa (*Harrisia adscendens*) no Brasil



Fonte: (ZAPPI, *et al.* 2011)

Os estudos fitoquímicos da planta ainda são pouco abrangentes, sendo mais estudados os aspectos botânicos. Alguns pesquisadores conseguiram identificar a presença de antraquinonas, fenóis, alcalóides, cumarinas e saponinas no extrato bruto obtido da parte central do cladódio da planta, que é representado pela parte aérea do vegetal (GOMES *et al* 2009).

Imagem 3 - Plantio de Rabo-de- Raposa localizado na cidade de Sumé



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

3.3 PROCESSOS APLICADOS NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS A PARTIR DA BIOMASSA

De acordo com o Decreto nº 6041, de 08 de fevereiro de 2007, foi estabelecida a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia no País que apresenta como diretriz o estímulo à geração de bioprodutos que viabilizem a conquista de novos mercados. As características de qualidade de produtos associados à boas práticas agrícolas e biotecnologia são temas presentes no setor agroindustrial (SALES, 2013).

Nesse contexto, é possível destacar o conceito de biorrefinaria. A biorrefinaria, segundo HORTA NOGUEIRA, et al., (2008) é definida como um conjunto de processos capazes de gerar produtos de natureza química, petroquímica ou energética a partir de diferentes tipos de biomassas. Também pode ser definida como o processamento sustentável de biomassa afim de gerar produtos ou energia (IEA BIOENERGY, 2010).

O principal objetivo das biorrefinarias é a obtenção de diversos produtos a partir de operações unitárias. Essas operações são utilizadas para maximizar a extração de compostos de interesse e minimizar a geração de resíduos e gases nocivos (NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL, 2004). Podem ser classificadas de acordo com os tipos de produtos a serem produzidos, a matéria-prima e processos de conversão. Os produtos podem ser energéticos incluindo por exemplo o bioetanol e o biodiesel, ou químicos. A matéria prima está relacionada a biomassa obtida de culturas energéticas ou de resíduos agroindustriais, florestais ou de indústrias. E a conversão é realizada por meio de processos químicos, bioquímicos, enzimáticos ou mecânicos (ALVIM, et al 2014).

O aproveitamento da biomassa pode trazer grandes benefícios para uma série de indústrias, permitindo, por exemplo, extrair adesivos e produzir compostos aromáticos leves e combustível sólido sem enxofre. Com a aplicação de processos de separação dos principais constituintes da biomassa, também é possível, a partir da celulose, obter glicose, com todos os seus derivados (etanol, ácidos orgânicos e solventes orgânicos) e também podem ser extraídos nanocristais, utilizáveis no preparo de compósitos, como plásticos, filmes, membranas e implantes médicos; no preparo de géis e espumas e no reforço de papéis e derivados. A partir da hemicelulose, é possível obter ácido levulínico, um precursor de solventes, lubrificantes, entre outros produtos químicos. Pode-se obter da lignina gomas vegetais para a produção de espessantes, adesivos, emulsificantes, estabilizantes e outros produtos químicos, como precursores de polímeros (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010)

No entanto, o uso efetivo dos materiais lignocelulósicos apresenta duas barreiras: a estrutura cristalina da celulose, apresentando uma alta resistência a hidrólise; e a associação lignina-celulose, que apresenta uma barreira capaz de impedir o acesso enzimático ao substrato. Além disso, a hidrólise ácida requer o uso de elevada temperatura e pressão, podendo destruir parte dos carboidratos e obter produtos que degradam os microorganismos. Para atingir rendimentos viáveis, é possível utilizar a sacarificação enzimática, que necessita de pré-tratamentos físicos, como: moagem, aquecimento e irradiação ou pré- tratamentos químicos, como: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, álcalis. (ASSUNÇÃO, CARIOCA, et al., 2010).

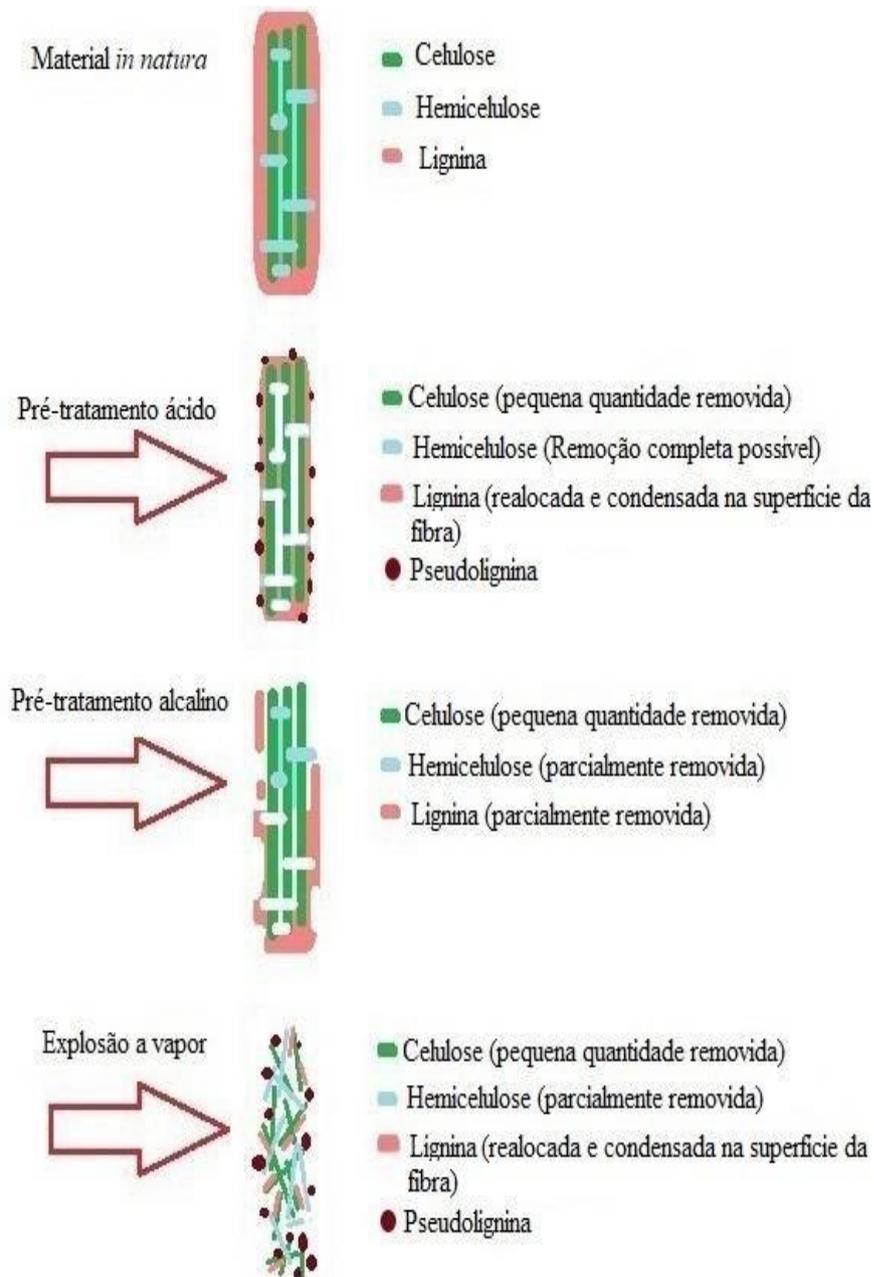
O pré-tratamento possibilita modificar a estrutura da biomassa lignocelulósica para a posterior hidrólise. Devido a estrutura rígida desses materiais, a celulose e a hemicelulose estão interligadas a lignina dificultando o acesso das enzimas ao substrato consequentemente causando baixos rendimentos de açúcares na hidrólise enzimática. Nos processos fermentativos, os açúcares que são liberados na hidrólise são convertidos em etanol e submetidos a destilação. O método mais vantajoso para hidrólise é o uso de enzimas, que apesar do custo alto, apresenta um menor gasto de energia e uma menor quantidade de subprodutos tóxicos. Para a produção dessas enzimas com um menor custo, é utilizada a Fermentação em Estado Sólido (FES), baseada no crescimento de microorganismos em materiais com baixa atividade de água, simulando o habitat natural dos microorganismos (OLIVEIRA, JR., 2018).

O pré-tratamento Físico tem a finalidade de possibilitar o acesso da celulose para a ação das enzimas celulasas devido a modificação na estrutura da biomassa, aumentando sua área superficial e reduzindo o grau de polimerização e cristalização (ALVIRA, P. et al., 2010). Um dos métodos de pré-tratamento físico muito apresentado na literatura é a moagem. A moagem utilizando o moinho de bolas pode ser realizada com material seco ou úmido, sendo necessário o uso de energia para gerar o cisalhamento responsável pela redução do tamanho das partículas e vencer a resistência interna e fragmentar o material.

A hemicelulose pode ser completamente removida sem causar grandes danos na celulose por meio do pré-tratamento ácido. A remoção de lignina em pré-tratamento ácido geralmente é baixa independentemente da biomassa utilizada, no entanto, pode não ser tão baixa se considerar que alguns produtos de degradação de açúcares podem reagir formando compostos que são quantificados como lignina. O uso do ácido sulfúrico pode aumentar a remoção de lignina para até 50%. A remoção de lignina é acompanhada pela geração de monômeros aromáticos na fração líquida, com os tipos de fenóis variando de acordo com a biomassa prétratada e com as condições do pré-tratamento (SHIMIZU, 2018). De acordo com PAL et al., (2017), experimentos envolvendo pré-tratamentos utilizaram ácido sulfúrico podem diminuir os níveis de inibidores e pseudo-ligninas.

Alguns dos métodos empregados para a hidrólise dos componentes de materiais lignocelulósicos são representados na figura 8 (SARROUH, 2009).

Figura 8 - Métodos empregados para a hidrólise dos componentes de materiais lignocelulósicos



Fonte: SHIMIZU, 2018.

Baracho (2009) em seu trabalho analisou o processo de hidrólise ácida, utilizando-se da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) como matéria-prima lignocelulósica e a adaptação de um alambique para produção de etanol hidratado. A produção de etanol com base em biomassa lignocelulósica utiliza processos químicos ou biotecnologia moderna para a quebra

de moléculas de celulose e produção de açúcares para a produção de etanol por meio de processos fermentativos da biotecnologia convencional.

Estudos desenvolvidos pelo Pacific Northwest utilizam um processo catalítico para a produção de tetrahydrofurano. Neste processo, há uma conversão da biomassa lignocelulósica em ácido levulínico, o qual pode ser aplicado em poliamidas, borrachas e produtos farmacêuticos, incluindo a substituição direta de derivados petroquímicos como o tetrahydrofurano (BAPTISTA, *et al.*, 2018).

Cerca de 140 milhões de toneladas de fibra de celulose são produzidas a partir da madeira. A madeira é convertida em pasta de papel pelo processo de kraft. As fibras de celulose são o principal produto e a maioria das hemiceluloses acaba com a lignina no efluente por meio desse processo. Em algumas usinas parte dos extrativos são recuperados e vendidos para a indústria química ou utilizados para produção de biocombustíveis. Os produtos de maior valor agregado são desenvolvidos a partir de hemiceluloses. Antes da extração de hemicelulose da madeira, é possível realizar um processo de auto hidrólise, onde o hidrolisado resultante é composto de monômeros de açúcar, oligômeros de açúcar, ácidos orgânicos, produtos de degradação de açúcar (como furfural e hidroximetilfurfural), e uma pequena quantidade de lignina solubilizada, sendo que estes podem gerar diversos produtos (CHIRAT, 2016).

Silva (2014) utilizou o bagaço de acerola como biomassa lignocelulósica a qual apresentou alto teor de celulose e rendimento de hidrólise, sendo uma excelente matéria-prima para obtenção de etanol de segunda geração, além de ser um resíduo abundante que apresenta baixo custo e possibilita a obtenção de açúcares fermentescíveis.

Baptista *et al* (2018) utilizaram métodos de pré-tratamento, hidrólise e fermentação do sabugo de milho e obtiveram alto rendimento de xilitol, um adoçante natural utilizado como substituto do açúcar indústrias alimentícia e farmacêutica, sendo que os bons resultados foram alcançados pela grande quantidade de xilanas presentes no bagaço, que muitas vezes é descartado.

Tamanini *et al* (2004) também estudou a produção de xilitol, só que utilizando a casca de aveia como biomassa, em que verificou-se a xilose como o açúcar predominante na fração hemicelulósica, tornando esta matéria prima atrativa para aplicações em que se busca à bioconversão da xilose em xilitol.

Li *et al.* (2018) destacaram em seu estudo que outro produto químico que pode ser gerado a partir de açúcares provenientes da biomassa, o furfural tem atraído o interesse de pesquisadores, podendo ser utilizado na plataforma química como produtor de plásticos, adesivos, lubrificantes e atuar como um aditivo direto em misturas de combustíveis. Utilizaram o sabugo de milho, sendo aplicados catalisadores e modelos cinéticos em diferentes condições

para a produção de furfural, sendo alcançado um alto rendimento principalmente quando utilizou-se o catalisador H-ZSM-5 e a inibição da condensação do furfural causado pelo efeito do solvente γ -valerolactona.

Em relação a fração lignina, Chio, et al. (2019) mostraram que para aumentar a disponibilidade e expor locais mais reativos que favoreçam a utilização deste constituinte, faz-se necessária a aplicação de métodos de despolimerização, que podem ser divididos em tratamento químico, mecânico, biológico e catálise química. Afirmaram também que tratandose de valorização da lignina, a pirólise é o método mais eficaz para sua conversão em óleo bruto para a geração de energia e que em biorrefinarias, o processo de organosolv apresenta-se como promissor devido a sua capacidade de produzir lignina a partir da biomassa com a mais alta pureza permanecendo a maior parte do resíduo de celulose para a produção de etanol.

No contexto da biorrefinaria, o uso de líquidos iônicos para a solubilização da lignina também tem sido estudado, pois fornecem recursos renováveis e sustentáveis que podem gerar compostos bioquímicos e bioprodutos. Esses produtos químicos podem ser aplicáveis para demandas globais potenciais. Em todos os solventes aplicados para o isolamento da lignina, os líquidos iônicos mostraram abordagem propícia para a solubilização de biomassa e potencial adicional aplicável para a isolamento de celulose, hemicelulose e lignina em forma pura (SINGH, 2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos (UAEB) em parceria com o Laboratório de Solos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) Campus Sumé – PB.

4.1 MATÉRIAS- PRIMAS UTILIZADAS

As matérias-primas utilizadas no trabalho foram o fruto e o caule do mandacaru, o fruto de rabo de raposa e raquetes da palma. O fruto de mandacaru e o fruto de rabo de raposa foram coletados nas proximidades do Açude da Cidade de Sumé, o caule do mandacaru foi coletado em uma propriedade rural também localizada na Cidade de Sumé e a coleta das raquetes da palma foi realizada dentro do Campus da UFCG-CDSA, na área experimental. Após a coleta, foi realizada a lavagem do material em água corrente para remover possíveis impurezas que possam contaminar a amostra.

4.2 PROCESSAMENTO DO MATERIAL

Os materiais foram cortados e submetidos a secagem em estufa (MICROPROCESSADA DE CULTURA E BACTERIO, MODELO Q316M5 SEL. AUT. 110/220). A operação ocorreu sob temperatura constante de 60°C num período de 30 horas seguidas, para que ocorresse a remoção total de líquido dos materiais.

Imagem 4 - Fruto de mandacaru e fruto de rabo de raposa durante o processo de secagem



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Imagem 5 - Amostras dos frutos após a secagem



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Imagem 6 - Caule do mandacaru *in natura* lavado e cortado para secagem (a) e durante o processo de secagem(b)



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Após a secagem, os materiais passaram por um processo de moagem, utilizando moinho de facas tipo Willey macro – Tn650/1 com peneira, passando à forma de pó.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DOS MATERIAIS

A determinação da composição da biomassa seca foi realizada determinando os teores de umidade, cinzas, extrativos, lignina e holocelulose (celulose + hemicelulose), por diferença, de acordo com os procedimentos para análise lignocelulósica utilizados por Moraes, Rosa & Marconcini (2010) e Santos (2012).

4.3.1 Determinação do Teor de Umidade

Para determinação do teor de umidade foram utilizadas Placas de Petri, já pesadas. As amostras foram colocadas nas Placas sendo utilizados entre 7,0 e 9,0 g de material vegetal. Com isso, o conjunto material-recipiente foi levado à estufa onde permaneceu a 60 °C, por 24 horas.

Posteriormente à permanência na estufa, o conjunto foi retirado e pesado, tendo sua massa anotada, o material não foi armazenado para ser utilizado nas etapas seguintes de caracterização. Este procedimento foi realizado em duplicata. Com o conhecimento dos valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra úmida (MAU), da massa do conjunto recipiente/amostra úmida (MRAU) e da massa do conjunto recipiente/amostra seca (MRAS), foi possível a determinação do teor de umidade (TU%) em percentagem, de acordo com a equação 1:

$$TU(\%) = \frac{(MRAU - MRAS)}{MAU} \times 100\% \quad (1)$$

4.3.2 Determinação do Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas totais, foram utilizados um forno mufla e cadinhos de porcelana. As amostras foram colocadas nos cadinhos e pesadas, sendo utilizados aproximadamente 1,0 g de material vegetal.

O conjunto foi colocado, inicialmente, no forno mufla à temperatura ambiente, e para o aquecimento da amostra utilizou-se uma rampa de aquecimento de aproximadamente 10 °C/min, para que a temperatura de trabalho de 600 °C fosse atingida em aproximadamente 2 horas de aquecimento. Essa temperatura foi mantida por três horas, e, ao final desse tempo, decaiu para 200 °C em 2 horas.

Em seguida, removeu-se o conjunto cadinho-amostra calcinada. O conjunto foi colocado em um dessecador, onde permaneceu por 30 minutos, e depois foi pesado em uma balança analítica para a verificação da massa de cinzas. Com o conhecimento dos valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra (MA) e da massa do conjunto recipiente/amostra calcinada (MRAC), foi possível o cálculo da determinação do teor de cinzas totais (TC%) em percentagem, de acordo com a equação 2:

$$TC(\%) = \frac{(MRAC - MR)}{MA} \times 100 \quad (2)$$

4.3.3 Determinação do Teor de Extrativos

Inicialmente, pesou-se um papel filtro previamente seco em estufa a 60 °C por 24 horas e anotou-se sua massa. Em seguida, foram pesados cerca de 5,0 g de matéria vegetal bruta e seca, e este material foi colocado dentro do papel filtro. O conjunto papel-material foi dobrado e depositado dentro de um Soxhlet. Foi feito um sistema de extração, unindo-se o aparelho de Soxhlet a um condensador de bolas e um balão volumétrico de fundo redondo de 500 mL. Em seguida, adicionou-se 100 mL de álcool etílico e 100 mL de hexano ao sistema. Após isso, o conjunto foi colocado em uma manta aquecedora, permanecendo assim por um período de 6 horas de extração, como mostra a imagem:

Imagem 7 - Conjunto Utilizado para Determinação do Teor de Extrativos



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Depois desse tempo, o balão com o solvente e os extrativos, foi removido, e o solvente recuperado. O cartucho de papel foi posto em uma estufa a 60 °C por 24 horas, em seguida, o cartucho de papel foi pesado em balança analítica. O procedimento foi realizado em duplicata. Com o conhecimento dos valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra (MA), da massa do conjunto recipiente/extrativos (MRE) e da massa do conjunto recipiente/resíduo de solvente (MRRS), é possível o cálculo da determinação do teor de extrativos (TE%) em percentagem, de acordo com a equação 3:

$$TE(\%) = \frac{(MRE - MRRS)}{MA} \times 100 \quad (3)$$

4.3.4 Determinação do Teor de Lignina

Na determinação de lignina utilizou-se cerca de 1,0 g de amostra moída, na sua forma sem extrativos. O material foi colocado em um almofariz, onde foram adicionados 17,0 mL de ácido sulfúrico 72% (v/v), resfriado em geladeira a 15 °C, antes do uso. Após a adição do ácido, o material foi triturado por 15 minutos cuidadosamente com o pistilo, até que não houvesse mais partículas visíveis não solubilizadas. Findado este procedimento, deixou-se o material em descanso por 24 horas, para o início da próxima etapa. Este procedimento foi realizado em duplicata.

Decorridas às 24 horas para o processo de digestão, adicionaram-se 306 mL de água destilada ao almofariz para diluir o ácido sulfúrico a 4% (v/v). Feito isso, se transferiu quantitativamente o conteúdo para um balão de 500 mL, em várias porções. Depois, o balão foi conectado a um condensador de bolas, permanecendo este sistema ligado a uma manta aquecedora. O material foi mantido sob aquecimento e refluxo por 4 horas, contadas a partir do início da fervura. Findado o tempo de refluxo, desligou-se o aquecimento e esperaram-se alguns minutos até o balão atingir a temperatura ambiente.

Imagem 8 - Amostras já trituradas e diluída em Ácido Sulfúrico para a determinação de lignina



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Para o processo de filtração, papéis de filtro foram colocados em uma estufa a 60°C, por 24 horas e medida a sua massa. Para a realização da filtração a vácuo, o material foi transferido aos poucos para o funil, com uma agitação constante, para evitar a perda de precipitado. Após a transferência de todo o material contido no balão volumétrico, este foi lavado com água destilada, para que nenhum resíduo de lignina insolúvel fosse perdido, como mostra a figura 7.

O precipitado recolhido no papel de filtro foi enxaguado com água destilada até um pH próximo ao da água utilizada. Posteriormente, o papel de filtro foi levado para uma estufa a 60°C onde permaneceu por 24 horas. Após a secagem, foi medida a massa do conjunto papellignina somada à massa de lignina, em uma balança analítica.

Imagem 9 - Conjunto Papel-lignina utilizado na análise



Fonte: Pesquisa de Campo (2019)

Com base na massa do papel de filtro limpo e seco (MF); na massa da amostra (MA); na massa do papel de filtro somada à massa de lignina, após a secagem em estufa (MFL) e no teor de cinzas das amostras (TC%) pode-se calcular o teor de lignina insolúvel (TLI%), conforme a equação 4:

$$TLI(\%) = \left[\frac{(MFL - MF)}{MA} \times 100\% \right] - TC(\%) \quad (4)$$

4.4 DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES (AR)

Para a determinação de açúcares redutores (AR), foi utilizado o método do DNS (Ácido 3,5-Dinitrosalicílico), aplicado por Maldonade et al. (2013).

As amostras a serem analisadas foram constituídas de uma massa 50µL de material para um volume de 450 µL de água destilada. Em seguida as amostras foram deixadas sob agitação constante por 30 min a 250 rpm em agitador magnético e filtradas em seguida.

Procedeu-se a determinação pipetando 1,0 mL da amostra e transferindo este volume para tubos de ensaio, onde foi adicionado 1,0 mL do reagente DNS. Os tubos foram agitados e

aquecidos em banho maria a 100°C (em ebulição) por 5 minutos. Em seguida, resfriou-se os tubos em banho de gelo por 5 minutos. Adicionou-se 8,0 mL de água destilada e em seguida foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 540 nm, após zerar o aparelho com o branco. O branco consistiu na substituição do volume de amostra por água destilada (1,0 mL) para realizar o teste de DNS. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Para a realização do cálculo da quantidade de AR nas amostras, aplicou-se a Equação (5):



A unidade de medida de AR foi mg de AR/ml de amostra.

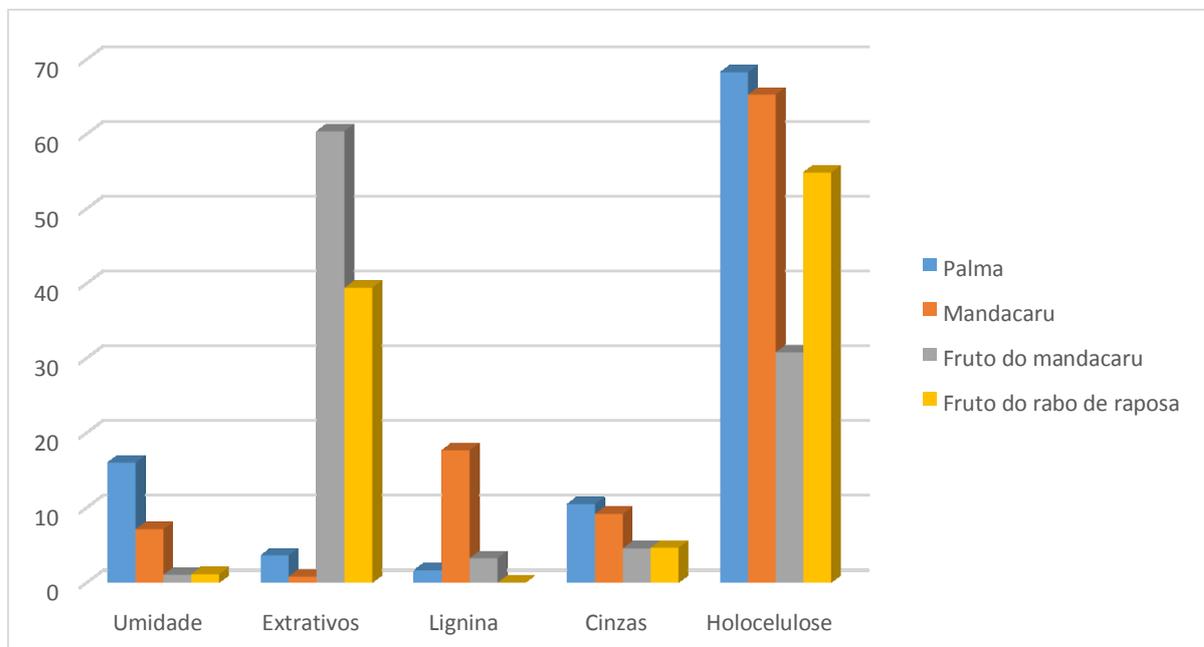
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em dois tópicos, sendo o primeiro relativo à determinação da composição das biomassas e o segundo referente a quantificação de açúcares redutores.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

Após a determinação da composição, os dados referentes a umidade, extrativos, lignina, cinzas e holocelulose, para cada biomassa estudada, podem ser visualizados no Gráfico 1

Gráfico 1 - Composição Lignocelulósica das Biomassas em estudo



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1, é possível observar que o teor de umidade, para todos os materiais, é relativamente baixo, pois todos foram submetidos a um processamento prévio, incluindo etapas de secagem e moagem. Esse processamento pode ser vantajoso para algumas aplicações, como processos de queima visando a geração de energia e gás, uma vez que o poder calorífico de matérias-primas lignocelulósicas geralmente seguem comportamentos inversamente proporcionais ao teor de água presente nos mesmos (SOUZA, et al., 2012). Os maiores valores de umidade foram encontrados na palma e no mandacaru, onde foram encontrados 16% e 7,12%, respectivamente.

Estes materiais apresentaram esse maior teor de umidade, provavelmente, por possuírem grandes quantidades de água na sua forma *in natura*. Yang et al. (2015), afirmam que essas elevadas massas de água sugerem que estas matérias-primas, na forma *in natura*, podem ser adequadas para aplicação no processo de catálise em fase aquosa, desenvolvido em recentes estudos, para conversão direta de celulose e hemicelulose em ácido levulínico e ácido láctico, respectivamente.

Em relação aos extrativos, os maiores valores foram encontrados nos frutos de mandacaru, 60,35%, e de rabo de raposa, 39,40%. Segundo Moraes, Rosa & Marconcini (2010), dentre os extrativos incluem-se compostos de baixa ou média massa molecular, incluindo uma grande variedade de moléculas, sendo solúveis em solventes orgânicos, os ácidos ou ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, ceras, resinas, esteroides, compostos nitrogenados, fenólicos e glicosídeos.

Almeida et al. (2009) realizaram a caracterização de frutos de mandacaru *in natura* e observaram teor de umidade de aproximadamente 90%, encontrada principalmente na casca (55% em massa) e na polpa dos frutos (35% em massa). Os autores observaram que as sementes representam cerca de 10% da massa do fruto. Com isso, os altos teores de extrativos encontrados nos frutos de mandacaru e rabo de raposa, podem ser explicados devido à grande quantidade de sementes presentes nos frutos, após a etapa de secagem.

Martins et al., (2007), estudaram a composição química centesimal das sementes de três espécies do gênero *Manihot*, conhecidas popularmente como maniçobas, e observaram entre 13 e 24% de lipídeos, 11 e 23% de proteínas e em quantidades menores açúcares, sendo que parte desses compostos podem ser caracterizados como extrativos, e uma menor porcentagem relativa a umidade e cinzas. Silva et al., (2015), extraíram óleo de sementes de *Annona Squamosa*, popularmente conhecida como fruta-do-conde ou pinha, e afirmaram que o óleo analisado é de boa qualidade, podendo ser aplicado na produção de biodiesel. Com isso, as sementes dos frutos poderiam ser separadas da casca e polpa, caracterizadas e assim seria possível decidir se a aplicação apresentada anteriormente seria vantajosa.

Pereira *et al.* (2013) realizaram a caracterização do fruto do *Cereus hildmannianus* K. Schum. (mandacaru de três quinas) e observaram que as amostras apresentam poder antioxidante e alto teor de compostos fenólicos, sendo indicados para consumo *in natura* ou processados, na forma de sucos, geleias ou doces, sendo que a sua ingestão de forma regular pode trazer benefícios a saúde humana. Devido as semelhanças entre este fruto com os de mandacaru e rabo de raposa, esse consumo também seria uma potencial aplicação para estes materiais.

O mandacaru apresentou uma maior quantidade de lignina em relação às outras biomassas, sendo este resultado esperado uma vez que no caule encontra-se a resistência e durabilidade deste material, devido principalmente à presença da lignina. Alvarez *et al* (1997) descreve que a alta resistência oferecida pela lignina em sementes são amplamente estudadas para cultura de soja, em que o aumento da quantidade de lignina é o principal fator que reduz a qualidade das sementes durante a colheita e o manejo, contribuindo para uma maior resistência ao dano mecânico. A lignina presente no mandacaru, após um processo de separação dos componentes, pode ser aplicada na geração de diversos produtos, como dispersantes, polímeros biodegradáveis, resinas fenólicas, na constituição de protetores contra os raios UV e na produção de energia (CHIO; SAIN; QIN, 2019).

As quantidades de holocelulose, que corresponde às frações celulose e hemicelulose, presentes nas biomassas foram bastante significativas, sendo encontrados valores entre 31%, para o fruto do mandacaru, e 68%, para palma. Consequentemente, essas matérias-primas apresentam potencial para aplicações em processos de hidrólise, visando a obtenção dos mais variados produtos, sejam químicos ou farmacêuticos. Além disso, a produção de açúcares provenientes da biomassa lignocelulósica apresenta um grande potencial para suprir a demanda de energia limpa, uma vez que através da sacarificação da celulose em glicose, obtém-se o principal substrato na produção biológica de etanol (ORTEGA; BUSTO; MATEOS, 2001).

Ao avaliar o teor de cinzas, verifica-se que os frutos apresentaram valores próximos a 5%, e que a palma e o mandacaru mostraram uma maior porcentagem para este constituinte, sendo observados valores de 10,5 e 9,2%, respectivamente. Os altos valores de cinzas encontrados no caule das cactáceas, comprovam a presença de componentes específicos da matéria mineral da amostra, como o cálcio, potássio, sódio, magnésio entre outros. Yang *et al.* (2015) realizaram a caracterização da palma e encontraram teores de holocelulose de aproximadamente 31%, sendo observados 25% de extrativos, 12% de lignina e 23,7% de cinzas. Segundo os autores, este alto teor de cinzas poderia causar problemas de corrosão em equipamentos durante o processamento destes materiais, entretanto, esses elementos que seriam resíduos dos bioprocessos, poderiam ser aplicados como fertilizante.

O período de colheita, as condições do clima e do solo, a realização de pré-tratamentos físicos e químicos entre outros são fatores que podem causar alterações na composição dos materiais, contudo, observa-se que para cada biomassa pode-se aplicar diferentes etapas de processamento e com isso obter os mais variados produtos com potencial de agregar valor a esses materiais.

5.2 DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES

Na tabela 2, encontram-se os resultados obtidos na determinação dos teores de açúcares redutores das biomassas estudadas.

Tabela 2 - Quantidade de Açúcares Redutores determinados pelo método do DNS

Material	Açúcares Redutores (mg.mL⁻¹)
Palma	120,49
Mandacaru	0,51
Fruto de Mandacaru	494,54
Fruto de Rabo de Raposa	473,85

Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

Pode-se observar que as quantidades de açúcares redutores presentes nos frutos foram bem superiores aos presentes no caule do mandacaru e na raquete da palma. Com isso, esses materiais podem ser indicados para aplicações em processos fermentativos, podendo gerar produtos como bebidas fermentadas, destilados, vinagre, etanol e entre outros.

Esquivel (2004) pesquisou os aspectos nutricionais dos frutos das cactáceas, os quais são caracterizados por terem altos níveis de aminoácidos, uma grande quantidade de açúcares utilizáveis, indicando um alto potencial dos frutos para o uso industrial.

Almeida *et al.* (2009) realizaram a caracterização de frutos de mandacaru *in natura* e observaram teores de açúcares de aproximadamente 10%, indicando o consumo da polpa *in natura*, além da possível destinação para aplicação na indústria de processamento e para utilização em processos biotecnológicos. Almeida *et al.* (2011) produziram uma bebida fermentada de mandacaru dentro das especificações da legislação brasileira de bebidas, com uma concentração de etanol de 82,11 g/L (10,4% v/v). A polpa *in natura* apresentou uma concentração de sólidos solúveis totais de 11 °Brix, correspondente aproximadamente a 9,82% de açúcares totais, o que torna o fermentado do mandacaru um produto de alto valor agregado, podendo gerar lucro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das análises verificou-se que todos os materiais estudados apresentaram diferentes composições, de acordo com as suas características, e que para cada um deles é possível realizar processos que permitirão a obtenção de produtos químicos e de biocombustíveis com alto valor agregado, confirmando assim a aplicabilidade dos frutos de rabo de raposa e mandacaru, da raquete da palma e do caule do mandacaru em bioprocessos, mostrando a riqueza que pode ser encontrada no semiárido nordestino. Além disso, como o material utilizado trata-se de uma biomassa lignocelulósica, a questão ambiental também é contemplada, visto que são matérias primas renováveis, com baixo custo e que auxiliam na redução dos gases causadores do efeito estufa.

É possível concluir também que todas as frações constituintes podem ser aproveitadas, mediante a aplicação de técnicas que permitirão a separação de cada uma delas, e com isso os diversos produtos podem ser gerados. Em relação aos frutos, foi possível observar que, devido à grande presença de açúcares, além de processados eles podem ser consumidos *in natura* e que uma ingestão regular destes frutos pode trazer benefícios a saúde humana.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. M.; OLIVEIRA, A. S.; AMORIM, B. C.; FREIRE, R. M. M.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H. **Características física e físico-químicas do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. In: I Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita de frutos tropicais, João Pessoa. Resumos. João Pessoa: Hotel Ouro Branco, 2005. CD Rom.
- ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H. da; CONRADO, L. de S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. **Caracterização Física e Físico-Química de Frutos do Mandacaru**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, n.1, p.15-20, 2009.
- ALMEIDA, M.M., *et al.*, **ESTUDO CINÉTICO E CARACTERIZAÇÃO DA BEBIDA FERMENTADA DO *Cereus jamacaru* P. DC.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.2, p. 176 - 183 abril/junho de 2011.
- ALVAREZ, P.J.C, *et al.* **Relationship between soybean seed coat lignin content and resistance to mechanical damage**. Seed Science and Technology 1997; 25(2):209-214.
- ALVES, J. N.; ARAUJO, G. G. L.; PORTO, E. R.; CASTRO, J. M. C.; SOUZA, L. C. Feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) e palma forrageira (*Opuntia ficus* Mill) em dietas para caprinos e ovinos. **Revista Científica de Produção Animal.**, v. 9, n. 1, p. 43-52, 2007.
- ALVIRA, P. et al. **“Pretreatment Technologies for an Efficient Bioethanol Product Process Based on Enzymatic Hydrolysis: A Review”**. , Bioresource Technology, v. 101, pp. 48514861, 2010.
- ARAÚJO, L. F.; SILVA, F. L. H.; OLIVEIRA, L. S. C.; MEDEIROS, A. N. M.; NETO, A. P. Bioconversão do mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru*) em alimento alternativo para ruminantes. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.3, n.1, p.53-57, fev. 2009.
- ASSUNÇÃO, F. C. R. et al. **Química verde no Brasil: 2010-2030**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2010.
- ALVIM, J.C. et al. **Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos**. Journal of Bioenergy and Food Science. Macapá, v.1, n. 3, p. 61-77, out./dez. 2014.
- BAHIA, E.V.A. et al **ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO FRUTO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru* P.DC.) CULTIVADO NO SERTÃO PERNAMBUCANO. In: Congresso Norte - Nordeste de Pesquisa e Inovação – CONNEPI 2010, Maceió – AL, 2010.**
- BAPTISTA, S.L. et al. **Xylitol production from lignocellulosic whole slurry corn cob by engineered industrial *Saccharomyces cerevisiae* PE-2**. Bioresource Technology, v. 267, 481–491, 2018.
- BARACHO, T.H. de A. et al **UTILIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS LIGNOCELULÓSICAS PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO: ESTUDOS DA HIDRÓLISE ÁCIDA DA PALMA FORRAGEIRA E DA DESTILAÇÃO DO**

HIDROLISADO FERMENTADO. **In: VI Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**, Campina Grande- PB, 2009.

CAMELO, A. et al. CARACTERIZAÇÃO DO BIOPRODUTO LIQUIDO ORIUNDO DA PIRÓLISE LENTA PRESSURIZADA DO HÍBRIDO PMN10TX15. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola- CONBEA 2017**, Maceió – AL, 2017.

CHIO, C., *et al.*, Lignin utilization: A review of lignin depolymerization from various aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 107, 232–249, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada, 2019.

CHIRAT, C. **Use of vegetal biomass for biofuels and bioenergy. Competition with the production of bioproducts and materials.** Demain l'énergie – Séminaire Daniel-Dautreppe, Grenoble, France, 2016.

CHRISTOFOLETTI, G. B. Estudo dos efeitos de etapas de pré-tratamento na hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar, **Dissertação de Mestrado, USP**, São Carlos-SP, 2010.

DING, S. Y.; HIMMEL, M.E. The maize primary cell wall microfibril: a new model derived from direct visualization. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, p. 597-606, 2006.

ESQUIVEL, P. **Los frutos de las Cactáceas y su potencial como materia prima.** AGRONOMÍA MESOAMERICANA 15(2): 215-219, San Pedro, Costa Rica, 2004.

ESTEVES, P.J. Pré tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com H₂SO₄ diluído em reator piloto aquecido por vapor direto, **Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena**, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.

FENGEL, D.; WENEGER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FERRAZ, F.O., Influência de diferentes métodos de destoxificação sobre a composição e fermentabilidade do hidrolisado do bagaço de cana-de-açúcar à xilitol e etanol. **Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de Lorena**, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

GÍRIO et al., Hemicelluloses for fuel ethanol: a review. **Bioresource Technology**, Philadelphia, v. 101, n. 13, p. 4775-4800, 2010.

GUERRIERO, G., HAUSMAN, J. F., STRAUSS, J., ERTAN, H., & SIDDIQUI, K. S. (2016). **Lignocellulosic biomass: Biosynthesis, degradation, and industrial utilization.** Engineering in Life Sciences, 16(1), 1-16.

GOMES, E.S.F., SANTANA, C. R. A., XAVIER, L., RODRIGUÊS, S.A. Triagem Fitoquímica e Atividade Antioxidante do Cacto Rabo de Raposa *Harrisia adscendens* (Gurke) Britton & Rose (Cactaceae). **Congresso Nacional de Botânica**. 60. 2009, Resumo. Feira de Santana, Bahia 2009.

HASSUANI, S.J. Resíduos agrícolas – palha. In: Curso Internacional: “**Energia na Indústria de Açúcar e Alcool**”, Piracicaba. São Paulo: CTC – Copersucar. Brasil, 2005.

HORTA NOGUEIRA, L. A. et al. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. 1ª Edição. ed. Rio de Janeiro: coordenação BNDES e CGEE, 2008.

International Energy Agency (IEA). **Sustainable Production of Second-Generation Biofuels**. p.221. 2010.

KUMAR, R.; SINGH, S.; SINGH, O. V. **Bioconversion of lignocellulosic biomass**, 2008.

LEE, J. **Biological Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol**. Journal of Biotechnology. v. 56, p. 1-24. 1997.

LEMOS, E. L. Análise físico-química e fitoquímica do extrato etanólico bruto das raízes de *Harrisia adscendens* (Gürke) Britton & Rose (CACTACEAE). **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande –PB, 2015.

LI, *et al.*, Green and efficient production of furfural from corn cob over H-ZSM-5 using γ -valerolactone as solvent. **Industrial Crops & Products** 120, 343–350, Tianjin University, China, 2018.

LIMA, L.M.R. et al. UTILIZAÇÃO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) COMO BIOMASSA ADSORVENTE DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS D’ÁGUA. In: **X Encontro Brasileiro sobre Adsorção**, Guarujá- SP, 2014.

LIMA, N. C. Avaliação de unidades demonstrativas de palma forrageira (*Napoleoa* e *Opuntia*) no estado de Pernambuco. **Dissertação (Pós-Graduação em Zootecnia)**, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, 2013.

MAGACHO, A. L. F. **Avaliação de técnicas de separação combinadas para a purificação de xilose visando a obtenção de bioprodutos**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Lorena – SP, 2009.

MARABEZI, K. Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço de cana-de-açúcar. **Dissertação (Mestrado em Química)** – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2009.

MARQUES, M. P. Estudo da Hidrólise do Bagaço de Cana-de-Açúcar por Fungos Filamentosos, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual Paulista, Araraquara –SP, 2010.

MENEZES, R.S.C; DUTRA, E.D.; SANTOS, T.N. Potencial de produção de biocombustíveis a partir da biomassa de palma. In: **Congresso brasileiro de palma e outras Cactáceas**, Garanhuns, 2011.

MORAIS, J.P.S.; ROSA, M.F.; MARCONCINI, J.M. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. 54 p. (Embrapa Algodão: Documentos, 236). Campina Grande- PB, 2010.

NASCIMENTO, V. M. Pré-Tratamento Alcalino (NaOH) do Bagaço de Cana-deAçúcar para a Produção de Etanol e Obtenção de Xilooligômeros, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2011.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas. In: _____. **Top value added chemicals from biomass**. Golden, 2004. V. 1, 76 p.

NECCHI, R. M. M. Farmacobotânica, Atividade Antiinflamatória e Parâmetros Bioquímicos de *Nopalea Cochenillifera* (L.) Salm-Dick (Cactaceae). **Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas)**. Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

NOBEL, P. S. Recent ecophysiological advances for opuntia ficus-indica and other cacti. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE PROFESSIONAL ASSOCIATION FOR CACTUS DEVELOPMENT**, 1., 1995, San Antonio. Proceedings. Dallas: Professional Association for Cactus Development, 1995. p. 1-11.

OLIVEIRA S.D.J. Produção de celulases por *Aspergillus fumigatus* através da fermentação em estado sólido e recuperação e purificação por sistema micelar em duas fases aquosas. **Tese (PPGEQ)**, Natal-RN, 2018.

OLSSON, L.; HAHN-HÄGERDAL, B. **Fermentation of Lignocellulosic Hydrolysates for Ethanol Production**. Enzyme Microbial Technology, v. 18, p. 312 – 331. 1996.

ORTEGA, N.; BUSTO, M. D.; MATEOS, M.P. Kinetics of cellulose saccharification by *Trichoderma reesei* cellulases. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 47, p. 7-14, 2001.

PAL, S., JOY, S., KUMBHAR, P., TRIMUKHE, K. D., GUPTA, R., KUHAD, R. C & PADMANABHAN, S. (2017). **Pilot-scale pretreatments of sugarcane bagasse with steam explosion and mineral acid, organic acid, and mixed acids: synergies, enzymatic hydrolysis efficiencies, and structure-morphology correlations**. Biomass Conversion and Biorefinery, 7(2), 179-189.

PINTO, A.P.R. IDENTIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS PRESENTES EM EXTRATOS DE FUNGOS ENDOFÍTICOS ASSOCIADOS À *EREMANTHUS ERYTHROPAPPUS* (ASTERACEAE) E ATIVIDADE ALELOPÁTICA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS FOLHAS. **Dissertação de Mestrado**, UFOP, Ouro Preto – MG, 2016.

RABELO, S.C. **Avaliação de desempenho do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para hidrólise enzimática de bagaço de cana de açúcar**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

RABELO, S. C. Avaliação e Otimização de Pré-tratamentos e Hidrólise Enzimática do Bagaço de Cana-de-açúcar para a Produção de Etanol de Segunda Geração, **Tese de Doutorado**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2010.

ROCHA, J.E. da S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**, Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 40 p.: il. – (Documentos/ Embrapa Caprinos e Ovinos, ISSN 1676-7659; 106), 2012.

SALES, M.D.C. Avaliação e caracterização de insumos bioativos da aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*) com potencial econômico para o desenvolvimento tecnológico de bioprodutos. **Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em BiotecnologiaRENORBIO**, Vitória-ES, 2013.

SANTOS, D.C. *et al.* Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v.15, n.2, p.111121, 2013.

SANTOS, T.N.; MEDEIROS, N.V.S. Caracterização da palma forrageira, visando ao seu aproveitamento energético: quantificação e análise de extrativos. **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** - Vol. 1. P. 414-417 Congestas 2013.

SANTOS, F. A, *et al.*, **Potencial da Palha de Cana-de-açúcar para Produção de Etanol**, Química Nova, vol. 35, nº5, p. 1004-1010, 2012.

SARROUH, B. F. Estudo da Produção Biotecnológica de Xilitol em Reator de Leito Fluidizado Utilizando Bagaço de Cana-de-açúcar e Células Imobilizadas: Avaliação de Parâmetros Operacionais e Viabilidade Econômica, **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo, Lorena – SP, 2009.

SHIMIZU, F.L., Remoção de lignina e hemicelulose: influência na acessibilidade à celulose e sacarificação enzimática. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista**, Instituto de Biociências de Rio Claro, Rio Claro – SP, 2018.

SILVA, L. R. da; ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de “Mandacaru”. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 199-205, abr./jun. 2009.

SILVA, N.L.C. Produção de Bioetanol de Segunda Geração a Partir de Biomassa Residual da Indústria de Celulose. **Dissertação de Mestrado**, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2010.

SILVA, R.A.; EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO SEGUIDO DE BÁSICO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO BAGAÇO DE ACEROLA. **Dissertação de Mestrado**, UFCG, Campina Grande- PB, 2014.

SILVA, E. J. da.; CAETANO, J. C. E.; CAMPOS, L. de O.; PEREIRA, M. A. EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DAS SEMENTES DE ANNONA SQUAMOSA COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL. 55º Congresso Brasileiro de Química. Goiania – GO, 2015.

SINGH, S.K., Solubility of Lignin and Chitin in Ionic Liquids and Their Biomedical Applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.182>>, BIOMAC 12012, 2019.

SOUZA, S. N. M; SORDI, A.; OLIVA, C. A. Potencial de energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná. **4º Encontro de Energia no Meio Rural**. 2002.

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

SOUZA, M.M., *et al.*, **Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda***. Floresta, Curitiba – PR, v. 42, n.2, p. 325-334, abr./jun. 2012.

TAMANINI, C. *et al.*, Avaliação da casca de aveia para produção biotecnológica do xilitol. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 26, no. 2, p. 117-125, 2004.

VAZ JUNIOR, S. **Uso dos coprodutos e resíduos de biomassa para obtenção de produtos químicos renováveis**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. 4 p. il. color. (Embrapa Agroenergia. Circular técnica, 002).

YANG, L.; LU, M.; CARL, S.; MAYER, J. A.; CUSHMAN, J. C.; TIAN, E.; LIN, H. Biomass characterization of Agave and Opuntia as potential biofuel feedstocks. **biomass and bioenergy**, V. 76 os. 43 e 53, 2015.

ZAPPI, D. *et al.* **Plano de Ação Nacional para Conservação de Cactáceas**; Organizadores: Suelma Ribeiro Silva. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBIO, 2011. 112 p.: IL. Color.: 21cm.(Série Espécies Ameaçadas).