



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e
Bioquímicos

Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica

Ronaldo Martiniano Inácio

**PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO
DO ARROZ PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E
FORMAS DE APLICAÇÃO**

RIO DE JANEIRO
DEZEMBRO - 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e

Bioquímicos

Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica

Ronaldo Martiniano Inácio

**PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ
PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E FORMAS DE APLICAÇÃO**

Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, como requisito parcial para a Obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica (*MSc*)

ORIENTADORES:

Prof. Elcio Ribeiro Borges, *DSc*

Prof^a. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, *DSc*

Rio de Janeiro

Dezembro - 2016

Inácio, Ronaldo Martiniano.

PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E FORMAS DE APLICAÇÃO / Ronaldo Martiniano Inácio – Rio de Janeiro, 2016.

97 fls. il.

- I. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2016

Orientadores: Elcio Ribeiro Borges. *DSc* e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto., *DSc*.

1. Arroz. 2. Resíduos. 3. Energia Renovável. 4. Termoeletricidade. 5. Biomassa. 6. Biorrefinarias. I. Borges, Elcio Ribeiro. (Orient.). II. Couto, Maria Antonieta Peixoto Gimenes. (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química. IV. Título.

Ronaldo Martiniano Inácio

PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ
PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E FORMAS DE APLICAÇÃO

Dissertação apresentada ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica.

Aprovada por:

Prof. Elcio Ribeiro Borges, DSc (Orientador)

Escola de Química/TPQB/UFRJ

Prof^a. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, DSc (Orientadora)

Escola de Química/TPQB/UFRJ

Eduardo Gonçalves Serra, DSc

Epoli/PEA/UFRJ

Veronica Ferreira Melo, DSc

IFRJ

Estevão Freire, DSc

EQ/TPQB/UFRJ

Rio de Janeiro

2016

“Cada vez que um livro troca de mãos, cada vez que alguém passa os olhos sob suas páginas, seu espírito cresce e a pessoa se fortalece. ”

Carlos Ruiz Zafón

INACIO, Ronaldo Martiniano. Panorama da Utilização de Resíduos Do Beneficiamento Do Arroz para a Geração de Energia no Brasil e Formas de Aplicação. Orientadores: Élcio Ribeiro Borges e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

Resumo

A produção brasileira de grãos mais que dobrou nas duas últimas décadas. Estimativas para 2016/17 apontam para uma safra entre 208,1 e 226,5 milhões de toneladas, das quais cerca de 11 milhões de toneladas são de arroz. Com o crescimento da produção, o Brasil vem se tornando um dos principais fornecedores de alimentos no mercado internacional, e esta participação tende a crescer nos próximos anos. A energia contida na biomassa pode ser convertida em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. Os resíduos, ou biomassas residuais agrícolas, armazenam energia considerável para ser aproveitada, podendo ser destinados para alimentação animal, além de servirem como insumo para outros produtos. A geração de energia é uma importante alternativa para o uso de alguns desses resíduos, podendo se tornar uma opção de fonte renovável, contribuindo para agregar a matriz energética brasileira. O objetivo deste trabalho é avaliar as possibilidades de utilização dos resíduos derivados do beneficiamento do arroz para produção energética. Serão detalhados os processos com maior aplicação a partir desses resíduos, o potencial para a energia gerada no Brasil e na China, o panorama mundial de geração de energia a partir da biomassa, além de um levantamento de informações acerca das pesquisas onde a biomassa é empregada de forma energética. A metodologia empregada foi dividida em três fases. A primeira fase concentrou-se em pesquisas bibliográficas relacionadas à avaliação do aproveitamento de resíduos de culturas vegetais para produção energética. A segunda fase abordou o panorama energético mundial, com destaque para China e o Brasil devido a sua relevância na produção de arroz. A terceira fase, classificada como exploratória, aborda a produção de arroz no Brasil e no mundo, a aplicação das cascas de arroz na produção de energia, as empresas geradoras de energia a base de casca do arroz instaladas no Brasil e a avaliação do potencial energético da casca no Brasil e na China. Com o total de casca de arroz produzido pelo Brasil até agosto de 2016 é possível produzir 1,54TWh/ano. No caso da China a biomassa mais utilizada é a palha de diversas culturas e, apesar de a casca de arroz possuir a capacidade de gerar 26,68 TWh/ano, o país possui muitas barreiras para uma implantação eficiente da queima da biomassa.

Palavras-chave: Arroz; Resíduos; Energia Renovável; Termoeletricidade; Biomassa; Biorrefinarias.

INACIO, Ronaldo Martiniano. Overview of the Use of Rice Harvesting Waste for Generation of Energy in Brazil and its Forms of Application. Advisors: Élcio Ribeiro Borges e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto. Master thesis (Master in Biofuels and Petrochemical Engineering). School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Abstract

Brazilian grain production more than doubled in the last two decades. Estimates for 2016/17 point to a harvest between 208.1 and 226.5 million tons, of which about 11 million tons are of rice. With the growth of production, Brazil has become one of the main food suppliers in the international market, and this participation tends to grow in the coming years. The energy contained in the biomass can be converted into liquid, solid and gaseous fuels. Crop residues, or agricultural biomass residues, store considerable energy to be harnessed, and it can be used for animal feed, besides serving as input for other products. The generation of energy is an important alternative for the use of some of these residues, and can become a renewable source option, contributing to add the Brazilian energy matrix. The objective of this work is to evaluate the possibilities of the use of the residues derived from the processing of rice for energy production. It will be detailed the processes with greater application from these residues, the potential for the energy generated in Brazil and in China, the world overview of energy generation from the biomass, besides a survey of information about the research where the biomass is used as an energetic way. The methodology used was divided into three phases. The first phase focused on bibliographical research related to the evaluation of the use of plant crop residues for energy production. The second phase addressed the world energy overview, with China and Brazil being the most important, due to its relevance in rice production. The third phase, classified as exploratory, covers rice production in Brazil and in the world, the application of rice husks in energy production, rice-based energy-generating companies installed in Brazil and the evaluation of energy potential of bark in Brazil and China. With the total amount of rice husk produced in Brazil until August 2016, it is possible to produce 1,54 TWh/year. In the case of China, the most widely used biomass is straw from a variety of crops, and although the rice husk has a potential of 26,86 TWh/year, the country has many barriers to efficient biomass burning.

Keywords: Rice; Waste; Renewable energy; Thermoelectricity; Biomass; Biorefineries.

Lista de Figuras

Figura 1: Potencial de valorização de resíduos agroindustriais e agrícolas de origem vegetal.	22
Figura 2: Participação dos Estados na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas em junho de 2015.	23
Figura 3: Representação da fibra de celulose e seus componentes, celulose, hemicelulose e lignina.	27
Figura 4: Estrutura da lignina de madeira moída	28
Figura 5: Representação esquemática da molécula de celulose.	29
Figura 6: Representação esquemática da hemicelulose.	30
Figura 7: Diagrama esquemático do conceito de uma biorrefinaria	32
Figura 8: Esquema paralelo entre o conceito de refinaria e o de biorrefinaria.	33
Figura 9: Produtos obtidos a partir de matéria-prima lignocelulósica.	34
Figura 10: Biorrefinaria integrada baseada em cereais	37
Figura 11: Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	38
Figura 12: Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia.	41
Figura 13: Fluxograma do processo XTL.	42
Figura 14: Etapas do Processamento Biológico do Bioetanol de 2ª geração.	43
Figura 15: Esquema simplificado de geração termoelétrica	44
Figura 16: Combustíveis utilizados na geração termoelétrica.	45
Figura 17: Perfil de energia primária mundial.	49
Figura 18: Perfil de energia primária na China.	51
Figura 29. Capacidade instalada de geração por tipo de fonte em dezembro de 2014.	55
Figura 20: Mapa da produção agrícola nacional de arroz.	61

Figura 21: Foto ilustrativa das Cascas de arroz. 63

Figura 22: Porcentagem de cada biomassa utilizada no Brasil para geração de energia. 68

Lista de Quadros

Quadro 1: Composição Típica da Biomassa Vegetal.	26
Quadro 2: Métodos de pirólise e suas variantes: rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa	39
Quadro 3: Principais usinas de biomassa em atividade na China.	53
Quadro 4: Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.	56
Quadro 5: Projeção de Produção, Consumo e Importação de Arroz.	57
Quadro 6: Produtores mundiais de Arroz e suas produções (em milhões de toneladas) – 2013 a 2016.	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação das biomassas, processos utilizados para conversão energética e países que se destacam na geração de energia.	25
Tabela 2: Principais diferenças entre celulose, hemicelulose e lignina.	30
Tabela 3: Classificação e exemplos de biomassa para aproveitamento energético.	37
Tabela 4: Empreendimentos geradores de energia por casca de arroz.	74
Tabela 5: Comparação da capacidade energética entre Brasil e China.	76

Lista de Abreviaturas e Símbolos

Å	Ångström
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
BTL	Biomass to liquid
CA	Casca de arroz
Ca ⁺²	Íon cálcio
CCA	Cinza da casca de arroz
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Hidroelétricas
CM	Cargas minerais
FAO	Organização Mundial de Alimentação e Agricultura
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GN	Gás natural
GNV	Gás natural veicular
GO	Goiás
GTL	Gas to liquid
kW	Kilowatt
Lsup	Limite superior
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Ministério do Comércio Exterior e Serviços
MG	Minas Gerais

MME	Ministério de minas e energia
MW	Megawatt
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
PA	Poliamida
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PR	Paraná
Secex	Secretaria de Comércio Exterior
SiC	Carbeto de silício
SP	São Paulo
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TWh	Terawatt hora
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar
XTL	Anything to liquid

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	16
1.1 APRESENTAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA	16
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
1.3 OBJETIVOS	20
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. RESÍDUOS AGRÍCOLAS NO BRASIL	21
2.2 ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL	24
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ORIGEM VEGETAL	26
2.3.1 Lignina	27
2.3.2 Celulose	28
2.3.3 Hemicelulose	29
2.4 DENSIFICAÇÃO DE BIOMASSA	31
2.5 CONCEITO DE BIORREFINARIA	32
2.5.1 Plataforma Bioquímica	34
2.5.2 Plataforma Termoquímica	35
2.5.3 Plataforma Integrada	35
2.6 TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO DA BIOMASSA	37
2.6.1 Pirólise	38
<i>2.6.1.1 Produtos Formados na Pirólise</i>	40
2.6.2 Biogás	40
2.6.3 Rota BTL	42
2.6.4 Produção de Bioetanol de 2ª Geração	43
2.6.5 Usinas Termoelétricas	43

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	46
3.1 ESTRUTURA GERAL	47
CAPÍTULO 4 - PANORAMA ENERGÉTICO	49
4.1 PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL	49
4.1.1 Energia Elétrica na China	50
4.2 PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO	54
4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS	58
CAPÍTULO 5 - PRODUÇÃO DE ARROZ ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE ENERGIA	59
5.1 PRODUÇÃO DE ARROZ NO MUNDO	59
5.2 PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL	60
5.3 A CASCA DE ARROZ	62
5.3.1 Panorama Mundial da Geração de Energia Elétrica a Partir da Utilização da Casca do Arroz	64
5.3.1.1 <i>Tailândia</i>	65
5.3.1.2 <i>Camboja</i>	65
5.3.1.3 <i>China</i>	66
5.4 TERMOELÉTRICAS A BASE DE BIOMASSA	67
5.4.1 Empresas Geradoras de Energia a Base de Casca do Arroz	68
5.4.1.1 <i>CAMIL Alimentos S/A</i>	68
5.4.1.2 <i>Urbano Agroindustrial Ltda.</i>	69
5.4.1.3 <i>Sílica Verde do Arroz Ltda.</i>	69
5.4.1.4 <i>UTE Iguaçu Borja Energética Ltda.</i>	70
5.4.1.5 <i>Rical Alimentos</i>	70
5.4.1.6 <i>Indústria e Comércio de Arroz Fumacense Ltda.</i>	71
5.4.1.7 <i>SLC Alimentos Ltda.</i>	71

<i>5.4.1.8 Engenho Coradini Ltda.</i>	72
<i>5.4.1.9 Arevale Indústria e Comércio de Artefatos de Concreto Ltda.</i>	72
<i>5.4.1.10 Usina Termoelétrica CAAL</i>	73
5.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DA CASCA DO ARROZ	75
5.6 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS	77
5.6.1 Produção de Carbetto de Silício (SiC)	77
5.6.2 Produção de Sílica Pura	77
5.6.3 Utilização da Cinza como Carga em Polímeros	78
5.6.4 Produção de Cimento e Uso em Concreto	78
5.6.5 Uso de Cinzas como Adsorventes	79
5.6.6 Uso de Cinza como Suporte de Catalisadores Metálicos	80
5.6.7 Síntese de zeólitas	80
5.3.2 Considerações Gerais	81
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica está diretamente ligada ao desenvolvimento de um país e, dentro desse aspecto a demanda energética segue anualmente um crescimento exponencial. A energia é o meio para obter desenvolvimento de uma economia: sem a energia, a atividade socioeconômica não se desenvolve. Atualmente a principal fonte de energia utilizada é oriunda dos derivados de petróleo, porém existem inúmeras fontes possíveis de serem exploradas. No presente capítulo serão elucidadas as vantagens da utilização de biomassa derivada do beneficiamento do arroz para geração de energia.

1.1 APRESENTAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA

As fontes não-renováveis de energia estão diretamente ligadas às mudanças climáticas do planeta, devido à emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) e do aquecimento global. Os desenvolvimentos tecnológicos no mundo estão direcionados para uma maior diversificação da matriz energética mundial, mediante a adoção de tecnologias menos poluentes (ou não poluentes). A energia primária se refere às fontes oriundas da natureza, em sua forma direta, como o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, os resíduos vegetais e animais, a energia solar e a eólica e os produtos da cana-de-açúcar, como o caldo de cana, o melaço e o bagaço. O Brasil possui muitos recursos a serem explorados em relação à energia renovável. Algumas formas de conversão da biomassa já são utilizadas e são mais simples de se aplicar em grande escala como os briquetes¹. Existem muitas termoelétricas em atuação no país e a utilização de briquetes em lugar da queima de carvão ou até mesmo a queima direta seria economicamente e ambientalmente mais vantajoso, pois o CO₂ liberado durante a queima é o previamente fixado pelas plantas (RAMOS, PAULA, 2011).

Dispondo de uma matriz de geração elétrica de elevado potencial, o Brasil possuía porcentagem de geração interna derivada de hidrelétricas correspondente a 74%. No entanto, em períodos prolongados de estiagem, onde ocorre uma redução no nível dos reservatórios, as termelétricas abastecidas por combustíveis fósseis são acionadas para complementar o fornecimento de energia, podendo chegar a 19% de participação na geração de energia elétrica ao ano (LIMA *et al.*, 2014).

¹ Briquete é um bloco denso e compacto de materiais energéticos, geralmente feito a partir de resíduos de madeira.

A falta de investimentos no setor energético brasileiro, seguido do gradativo aumento do consumo de energia elétrica, resultou em uma crise capaz de afetar todo país no ano de 2015. Para suprir a necessidade energética, o Brasil deu início à ativação de usinas termoelétricas movidas a gás, óleo e carvão. Mesmo com tais medidas, alguns estudos relatam produção insuficiente, agravada com a persistente falta de água de chuvas e dos reservatórios, resultando em um aumento no custo da produção energética, com aplicação das bandeiras tarifárias. Neste contexto, outro fator crucial é a importação de matéria-prima, muitas vezes necessária para gerar energia nessas usinas, criando um alto custo de manutenção, com reflexos negativos à renda da sociedade. Para evitar as crises e problemas ocorrentes no abastecimento de um determinado modelo adotado, alguns países investem em diferentes tipos de usinas geradoras. No Brasil, apesar da existência de vantagens naturais, como elevada incidência solar, ventos regulares e grande variedade de biomassa disponível, a geração de energia é feita de forma relevante apenas por hidrelétricas, termelétricas e, uma parte, pelas usinas nucleares Angra 1 e 2 (VIANA *et al.*, 2015).

De acordo com os relatórios anuais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013), um crescimento da oferta de energia termelétrica tem sido observado, superior ao das demais fontes e inclusive na oferta total. A termelétricidade apresentou um aumento de 87,5% em termos de potência instalada no período de 2004 a 2012, à medida que a hidroeletricidade registrou aumento de 22,2%. Estes valores representam um aumento da participação da termelétricidade na matriz nacional de 19,8%, para 27,1%, em 2004 e 2012, respectivamente. Alguns dos fatores responsáveis pelo avanço da participação das termelétricas no parque gerador brasileiro são o esgotamento de oportunidades de grandes empreendimentos hidrelétricos, o baixo tempo de instalação em comparação com as usinas hidrelétricas, o aumento da oferta de combustíveis fósseis, a possibilidade de instalação próxima aos grandes centros de carga e a alta relação entre potência instalada e potência gerada (fator de capacidade), quando comparado com usinas fotovoltaicas e eólicas. Independentemente desses fatores, uma expansão mais expressiva esbarra nos altos custos de operação e em questões ambientais (UBERTI, INDRUSIAK, 2015).

Com a alta demanda de geração energética, o Ministério de Minas e Energia (MME) manteve a opção por indicar a expansão do parque gerador também com termelétricas entre os anos de 2021 e 2024 no Plano Nacional de Expansão de Energia, totalizando 4.800 MW (megawatt), além dos quase 5.000 MW comercializados em 2014 e 2015. Neste contexto as usinas térmicas movidas a partir de biomassa estabelecem mais uma fonte de energia

renovável disponível para participar da expansão na oferta de geração. Destacam-se dentro da categoria, a geração de energia derivada de usinas termelétricas movidas a partir do aproveitamento de resíduo da madeira (cavaco) e, as indústrias sucroalcooleiras que utilizam resíduos oriundos do processamento industrial da cana-de-açúcar, principalmente do bagaço. O potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar está concentrado, principalmente, nos estados de SP, GO, MG, MS e PR, limítrofe aos maiores centros consumidores de energia (MME/EPE, 2015).

Todas as usinas sucroalcooleiras do Brasil são autossuficientes em cogeração de energia com o bagaço de cana-de-açúcar. Apesar disso, das 354 unidades em operação, apenas 127 vendem sua energia extra para o mercado distribuidor, com contratos de longo prazo. Atualmente, a cogeração representa de 8% a 10% do total da receita das usinas (SCARAMUZZO, 2015).

Mesmo a venda de energia garantindo maior rentabilidade do que o açúcar e o etanol, a energia extra produzida pela queima do bagaço de cana-de-açúcar ainda está restrita a um terço das usinas em operação no País. O preço da energia de biomassa alcançou um valor máximo, igual a R\$ 822 por megawatt hora, no mercado à vista no ano de 2015 e, atualmente, se encontra em torno de R\$ 320. A capacidade instalada nas usinas é de 9.339 MW englobando o próprio consumo, sendo equivalente a aproximadamente 70% da potência instalada da Usina de Itaipu. A energia gerada a partir do bagaço de cana-de-açúcar é sazonal, de abril a dezembro, período que abrange a colheita da cana-de-açúcar e a época de estiagem no País. A União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA) estima que até 2021, a capacidade instalada das usinas de cogeração por bagaço de cana-de-açúcar poderá atingir 22 mil MW de potência instalada (SCARAMUZZO, 2015).

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A aplicação e utilização da bioenergia oriunda de resíduos agrícolas, lenha carvão, são equivocadamente relacionados com a desertificação e o desmatamento. Adicionalmente, existe uma grande dificuldade em quantificar e manusear a biomassa, por ser uma fonte de energia dispersa. Além disso, o seu uso ineficiente pode resultar em uma quantidade de energia útil pouco expressiva. Entretanto, esse cenário vem sofrendo mudanças relevantes, graças aos importantes esforços feitos por meio de estudos, demonstrações de plantas-piloto,

ao aumento de sua utilização como agente energético moderno e ao reconhecimento dos benefícios ambientais, locais e globais da utilização da biomassa (HALL *et al.*, 2000).

Dentro deste contexto, no Rio Grande do Sul, a casca de arroz se destaca entre os resíduos agrícolas, pela sua produção em grandes quantidades, favorecendo a sua utilização para geração de energia elétrica. Conseqüentemente, o meio ambiente é preservado, reduzindo os custos de armazenagem e transporte desse resíduo, além de minimizar os gastos com energia elétrica e gerar como subproduto, a sílica, que possui crescente valor de mercado (PEROZZI, 2004). Além disso, a casca de arroz está disponível durante o ano todo com um fornecimento constante, devido ao grão ser mantido na casca para o armazenamento. Os avanços na área de bioeletricidade indicam que, seguramente, o aproveitamento desses tipos de resíduos poderá contribuir para criar uma estrutura capacitada para atender às futuras demandas da humanidade por tecnologias mais sustentáveis e limpas além de dar um novo destino ao resíduo, geralmente destinado a aterros ou a compostagem podendo criar uma renda extra derivada da geração energética e da obtenção de sílica, produto de alto valor agregado. As informações acerca da geração de energia pela casca do arroz no Brasil são escassas, sendo o tema pouco abordado no meio acadêmico apesar de um número significativo de beneficiadoras já adotarem a casca como fonte energética.

A cultura do arroz gera anualmente 2 milhões de toneladas de resíduos, podendo levar em média 5 anos para sua decomposição ao ser disposto em aterros. Dentro deste cenário, a reutilização destes resíduos é, sem dúvida, a opção mais interessante sob o ponto de vista ambiental, econômico e, muitas vezes, social. A reciclagem de resíduos representa um benefício inquestionável: a minimização do problema ambiental que representa seu descarte inadequado (IPEA, 2012).

Outra vantagem da utilização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia é o baixo custo, já que o produto não depende de variações cambiais. Para as usinas, além de fonte adicional de receita, a cogeração pode representar a oportunidade de renovação da planta industrial, com investimentos em novas máquinas e equipamentos mais modernos e eficientes.

No Brasil o principal problema para a adoção de novas tecnologias é a falta de incentivo por parte dos órgãos governamentais, já que o país é um dos maiores produtores de alimentos e possui enorme variedade de biomassa disponível. Caso sejam expandidos os subsídios

existentes, o Brasil poderá se firmar como uma potência em aproveitamento de resíduos, consolidando a formação de uma matriz energética verde diversificada.

Sumariamente, devido aos poucos estudos disponíveis acerca do levantamento dessas informações, o método utilizado para a elaboração do presente trabalho foi realizar um panorama, de modo a abranger as principais tendências, no que refere-se a utilização de resíduos agrícolas na geração de energia, frente aos processos e tecnologias convencionais. Os motivos que reforçam as justificativas para desenvolver o presente trabalho são suficientes para estimular o uso de energia verde, contribuindo para romper a lacuna entre as tecnologias existentes e o estado da arte. Vislumbra-se ainda, contribuir para estimular trabalhos futuros relacionados, fundamentalmente, na diversidade da matriz energética, de grande expressão no cenário nacional, dada potencialidade indiscutível existente no país.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo geral:

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o panorama da utilização de resíduos agrícolas para a geração de energia no Brasil e com foco nos resíduos originários do beneficiamento do arroz.

Diante do exposto, os objetivos específicos da dissertação podem ser descritos a seguir:

- Avaliar as formas de aplicação para a geração de energias elétrica e térmica;
- Fazer um levantamento de informações acerca das pesquisas onde a biomassa já é utilizada para geração de energia elétrica e de dados sobre a capacidade de produção prevista.
- Identificar e avaliar empresas de beneficiamento de arroz sob o prisma energético;
- Avaliar o potencial energético da casca de arroz no Brasil e na China, bem como os valores estimados para aplicação energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de resíduos agrícolas e agroindustriais não está restrito somente ao uso no campo, como aditivo e adubo no solo. Devido à sua composição pode-se gerar uma série de produtos de alto valor agregado que vão além da simples queima ou a hidrólise para obtenção de monômeros. Neste capítulo serão abordadas as possíveis aplicações da biomassa no Brasil, os conceitos de biorrefinaria além dos produtos resultantes do seu refino e os processos envolvidos.

2.1 RESÍDUOS AGRÍCOLAS NO BRASIL

A agricultura no Brasil, historicamente, é umas das principais bases da economia do país, desde os primórdios da colonização Portuguesa até o século XXI, evoluindo das grandes monoculturas para a diversificação da produção. A agricultura é uma atividade que faz parte do setor primário, onde a terra é cultivada e colhida para subsistência, exportação ou comércio. Inicialmente produtora de cana-de-açúcar, passando pelo café e chegando aos grãos, a agricultura brasileira se caracteriza como uma das maiores exportadoras do mundo com diversas espécies de cereais, frutas, grãos, entre outros. De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE), biomassa é classificada como recurso energético nas categorias de biomassa energética florestal, seus produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética agrícola, as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos (PNE, 2007).

O produto interno bruto (PIB) agropecuário chegou a R\$ 263,6 bilhões em 2015, representando 23% do PIB brasileiro. O IBGE aponta que o crescimento do setor se deve principalmente ao desempenho da agricultura. Alguns produtos registraram aumento na produção, com destaque para as lavouras de soja, (11,9%) e milho (7,3%). Esse número evidencia, mais uma vez, a força do setor que tem se revelado o mais dinâmico da economia nacional. Com o crescimento da produção, o Brasil vem se tornando um dos principais fornecedores de alimentos no mercado internacional, e tal participação tende a crescer nos próximos anos. A produção brasileira de grãos cresceu acima do dobro em duas décadas, atingindo 188,7 milhões de toneladas em 2013, principalmente em decorrência de ganhos de eficiência, sendo que nesse período a taxa de crescimento da produtividade foi de 3,2%. As estimativas de produção de grãos para 2015 são de 196,5 milhões de toneladas e para 2016/17

apontam para uma safra entre 208,1 e 226,5 milhões de toneladas (MAPA, 2015; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

Os resíduos do setor agrícola podem ser aproveitados para alimentação animal, além de servirem como insumo para outros produtos. A geração de energia é também uma importante alternativa para o uso de alguns resíduos, podendo se tornar uma opção de fonte renovável, contribuindo para agregar a matriz energética brasileira. Graças à vasta biodiversidade encontrada no território Brasileiro uma grande variedade de resíduos agrícolas e agroindustriais pode se tornar de grande interesse econômico e social, a partir do bioprocessamento. Neste cenário destacam-se os resíduos derivados de atividades tais como as indústrias de papel e celulose (maravalhas desclassificadas de eucalipto e pinus²), serrarias (serragem), usinas de açúcar e álcool (bagaço de cana) e, de um modo geral, unidades de produção agrícola geradoras de resíduos de culturas como a palha de cereais e de milho, sabugo de milho, cascas de arroz e de aveia, além dos discriminados na Figura 1 (BRINGHENTI *et al.*, 2007).

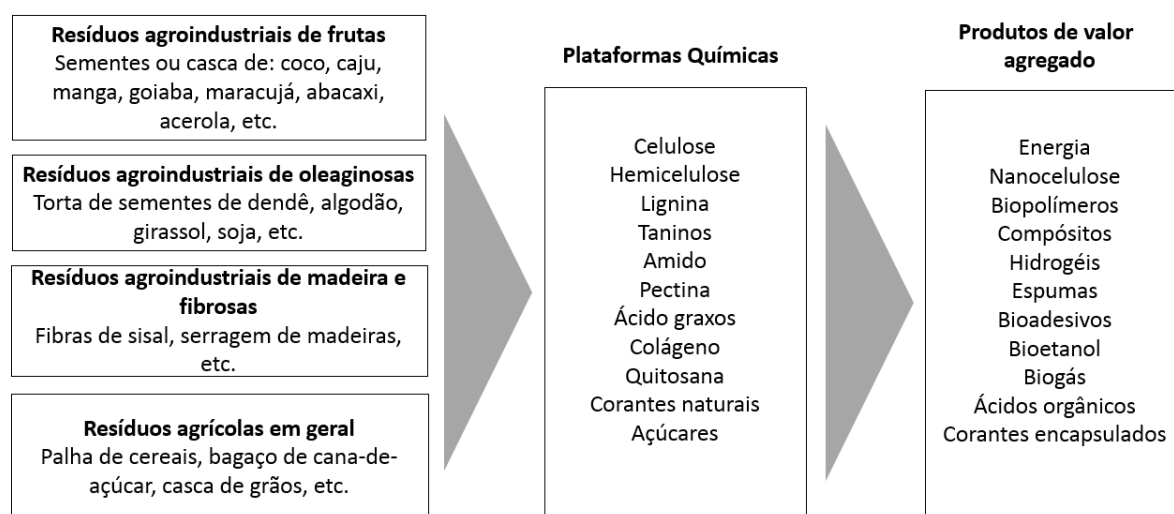


Figura 1: Potencial de valorização de resíduos agroindustriais e agrícolas de origem vegetal.

Fonte: ROSA *et al.*, 2011.

Como exemplo, a indústria sucroalcooleira produziu, em 2014, cerca de 29 bilhões de litros de etanol, divididos em 16,9 de hidratado, que cresceu 5,6% e 11,7 de anidro, que se manteve estável. Assim, o volume de etanol total produzido foi 3,3% superior a 2013. Estima-se que a produção de etanol na safra 2015/16 seja levemente superior à verificada em

² Maravalhas são fragmentos de madeira gerados mecanicamente a partir de um processo de corte.

2014/15, totalizando 29,2 bilhões de litros, em decorrência da maior safra de cana, incremento do percentual de anidro na gasolina e manutenção do cenário do açúcar no mercado internacional (EPE, 2015).

Dentro desse panorama, o aproveitamento desses resíduos se torna uma opção vantajosa para economia e uma nova forma de lucro para diversas culturas. A Figura 2 mostra a participação dos Estados na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas em junho de 2015:

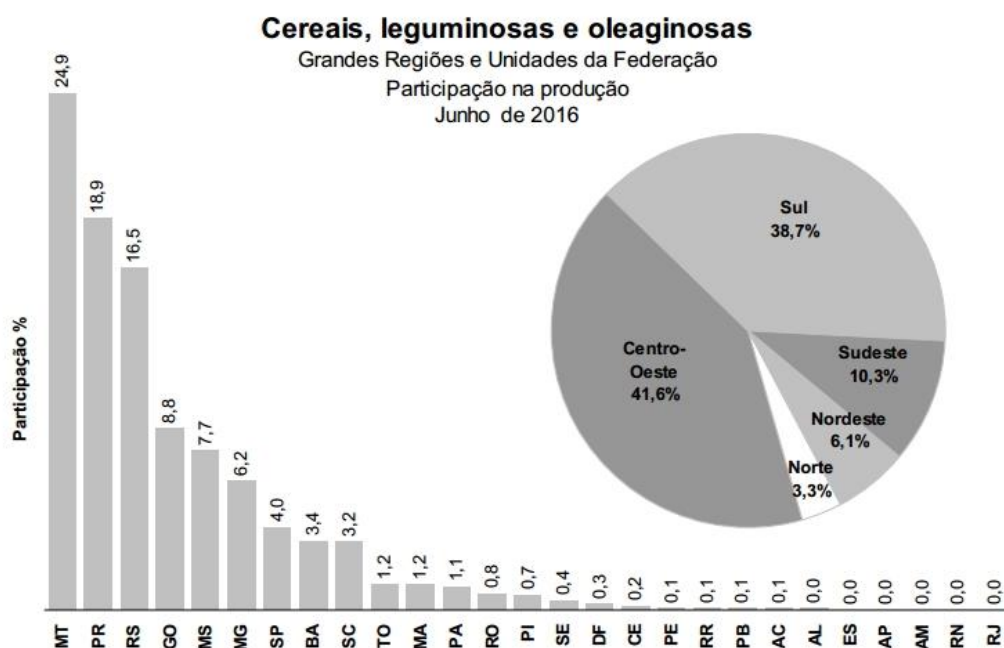


Figura 2: Participação dos Estados na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas em junho de 2015.

Fonte: IBGE, 2016.

Como consequência direta da enorme produção agrícola brasileira, tem-se uma geração de resíduos na mesma ordem de grandeza. Diversos estudos são desenvolvidos direcionados à utilização energética de resíduos agrícolas, podendo ser citados como principais as duas edições do Plano Nacional da Agroenergia, o Atlas de Bioenergia do Brasil desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), e mais recentemente o Plano Nacional de Resíduos Sólidos em consulta pública no ano de 2011 (OLIVEIRA, 2011).

A Figura 3 mostra que o Brasil é um país rico em biomassa vegetal e que um melhor aproveitamento dos resíduos gerados na agricultura trará uma grande melhora no aproveitamento energético tanto para os próprios produtores quanto para usos em grande escala, sem contar as possibilidades de produção de combustíveis mais limpos. Destacam-se nesse Quadro o estado do Mato Grosso no Centro-Oeste e o Paraná no Sul, com as maiores

participações na produção, sendo respectivamente a soja e a cana-de-açúcar como as maiores culturas.

2.2. ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL

O Brasil possui incidência solar elevada, alta produtividade agroflorestal e uma matriz energética que depende parcialmente do uso de biocombustíveis como madeira e bagaço de cana-de-açúcar para alimentar caldeiras. Além destes fatores, o aproveitamento de maiores quantidades de resíduos agroindustriais e de biomassas com ciclos curtos de crescimento e de baixo custo, podem complementar ou substituir diretamente, por exemplo, a madeira como fonte de energia, podendo ser gerada a partir de outras rotas, com seu beneficiamento. Dessa forma, o país reúne as condições necessárias para dar um novo impulso aos usos dessas fontes renováveis cujos custos tendem a reduzir, ao contrário dos combustíveis fósseis que tendem a ficar mais escassos e taxados para reconhecer suas externalidades (INEE, 2014).

A energia proveniente da biomassa é renovável, garante o fornecimento de energia e contribui para diminuição da emissão de CO₂ na atmosfera. A chamada bioenergia pode ser convertida em três produtos: eletricidade, calor e combustíveis. Entre as principais formas vegetais de biomassa estão: os óleos vegetais (extraídos das sementes e polpa das plantas responsáveis pela produção do biodiesel), a lenha (de origem nativa ou de reflorestamento), o carvão vegetal (obtido pela queima da madeira), a cana-de-açúcar (principal tipo de biomassa energética do país e matéria-prima do etanol). Entram na lista também os resíduos agrícolas (resultantes de atividades de colheita) e florestais (deixados na floresta como resultado da extração de madeira). A partir de dados de artigos e de fontes ligadas às Instituições governamentais, foi elaborada a Tabela 1 que lista com mais detalhes os tipos de biomassa mais utilizados e os processos utilizados para conversão energética.

Tabela 1: Relação das biomassas, processos utilizados para conversão energética e países que se destacam na geração de energia.

<i>Tipo de Biomassa</i>	<i>Definição</i>	<i>Processos utilizados</i>	<i>Matéria-prima</i>	<i>País de destaque</i>
<i>Óleos vegetais</i>	Óleos são substâncias classificadas como lipídeos. São constituídas por uma mistura de diversos compostos químicos, sendo os mais importantes os ácidos graxos e seus derivados.	Transesterificação Hidroesterificação Craqueamento	Óleo de soja	Estados Unidos
<i>Resíduos de madeira</i>	Produtos e subprodutos dos recursos florestais que incluem os produzidos de forma sustentável a partir de florestas cultivadas ou de florestas nativas, obtida por desflorestamento de floresta nativa ou ainda originada em atividades que processam ou utilizam a madeira para fins não energéticos	Queima direta digestão anaeróbica produção de etanol de 2ª geração	Madeira de coníferas serragem	Canadá
<i>Carvão vegetal</i>	Derivado da queima parcial da madeira, submetida a um processo que a transforma numa fração rica em carbono (o carvão vegetal) e noutra fração composta por vapores e gases (alcatrão, piro lenhosos e gases não condensáveis)	Pirólise	Madeira de eucalipto	Brasil
<i>Bagaço de cana-de-açúcar</i>	Subproduto fibroso resultante da moagem da cana.	Queima direta, produção de etanol de 2ª geração	-	Brasil
<i>Sementes</i>	Resíduo do processamento de indústrias de sucos, corantes, óleos e azeites.	Queima direta, produção de bio-óleo	Sementes de tucumã azeitonas, etc.	Brasil
<i>Casca</i>	Camada externa de tecido que envolve diversas partes e órgãos vegetais (caule, fruto, semente etc.)	Queima direta, produção de etanol de 2ª geração	Casca de arroz	Brasil
<i>Palha</i>	Haste seca de certas gramíneas, especialmente de cereais, utilizado na indústria para fins diversos.	Queima direta, produção de etanol de 2ª geração	Palha de milho e arroz	China

Fonte: Adaptado de (ANEEL: EPE, 2007), (MORETTO e FETT, 1989), (SANTOS, S. F. O. *et al.*), (LIMA, 2007), (EIA; 2016), (Governo do Canadá, 2016), (eCycle, 2016).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ORIGEM VEGETAL

Os resíduos agrícolas são os oriundos da fase agrícola do cultivo de determinada espécie, ou seja, os resíduos produzidos no campo. Já os resíduos agroindustriais, são resultantes do beneficiamento industrial da biomassa, como a torta bruta de sementes e de frutas, água residual de digestores, a vinhaça gerada na produção alcooleira e o bagaço de cana-de-açúcar esgotado. Como exemplo de resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento podem ser citados as palhas, cascas de frutos, cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (OLIVEIRA, 2011).

A biomassa vegetal tem como composição típica a celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos. Os valores percentuais de cada componente e a origem são apresentados no Quadro 1 e a fibra de celulose e seus componentes estão ilustrados na Figura 3.

Quadro 1: Composição Típica da Biomassa Vegetal.

<i>Biomassa Lignocelulósica</i>	<i>% Celulose</i>	<i>% Hemicelulose</i>	<i>% Lignina</i>
<i>Palha de cana</i>	40-44	30-32	22-25
<i>Bagaço de cana</i>	32-48	19-24	23-32
<i>Madeira dura</i>	43-47	25-35	16-24
<i>Madeira mole</i>	40-44	25-29	25-31
<i>Talo de milho</i>	35	25	35
<i>Espiga de milho</i>	45	35	15
<i>Algodão</i>	95	2	0,3
<i>Palha de trigo</i>	30	50	15
<i>Sisal</i>	73,1	14,2	11
<i>Casca de arroz</i>	43,3	26,4	16,3
<i>Forragem de milho</i>	38-40	28	7-21
<i>Fibra de coco</i>	36-43	0,15-0,25	41-45
<i>Fibra de bananeira</i>	60-65	6-8	5-10
<i>Palha de cevada</i>	31-45	27-38	14-19

Fonte: SANTOS, *et al.*, 2012.

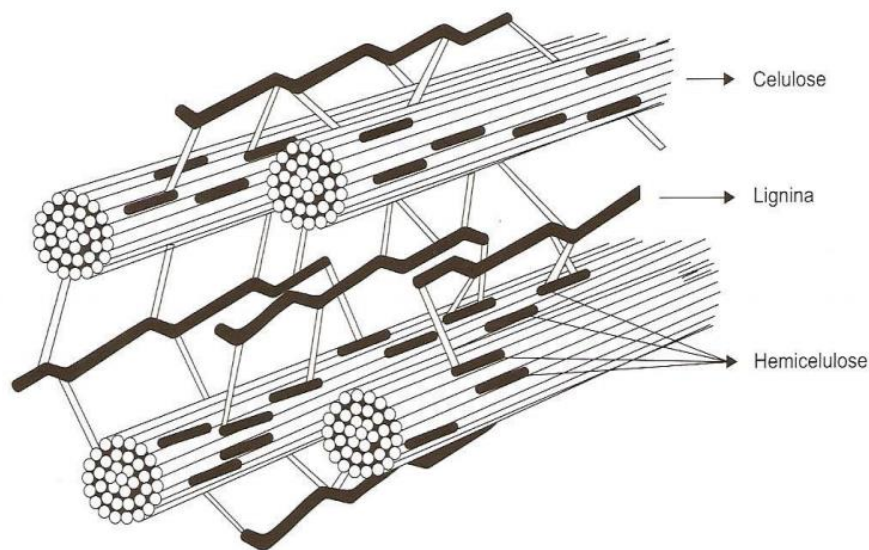


Figura 3: Representação da fibra de celulose e seus componentes, celulose, hemicelulose e lignina.

Fonte: GRAMINHA *et al.*, 2007.

2.3.1 Lignina

A lignina é uma macromolécula natural derivada da condensação desidrogenativa de três álcoois precursores: *trans*-coniferílico, *trans*-sinapílico e *p*-cumarílico. Em madeiras de coníferas (macias) predominam, basicamente, subestruturas do tipo guaiacilpropano. Sua função biológica é a proteção do tecido vegetal contra a oxidação e a ação de microorganismos. As ligninas estão presentes em muitas espécies vegetais, em teores que variam de 15 a 36%, de acordo com a espécie vegetal, e não possuem a mesma estrutura química em todas elas. Portanto, a lignina não deve ser considerada como uma substância química única de estrutura definida, assim, como uma classe de materiais correlatos, composta de carbono, hidrogênio e oxigênio, o que faz dela uma importante fonte desses elementos. Devido à grande irregularidade na estrutura e ligações químicas, a descrição desta macromolécula só pode ser feita com base em uns poucos precursores (FUKUSHIMA, HATFIELD, 2003).

A maior aplicação da lignina atualmente é sua utilização na geração de energia, na forma de eletricidade e vapor de processo, nas indústrias de papel e celulose. Sistemas de cogeração têm sido particular o processo Kraft, sendo responsável por aproximadamente 66% da matriz energética das indústrias. A lignina também pode ser utilizada na indústria de pigmentos como dispersante, de cerâmica para a melhoria da plasticidade e resistência mecânica, transformada em adubo entre outras aplicações (SANTOS, 2011). A Figura 4 mostra a estrutura para lignina de madeira moída.

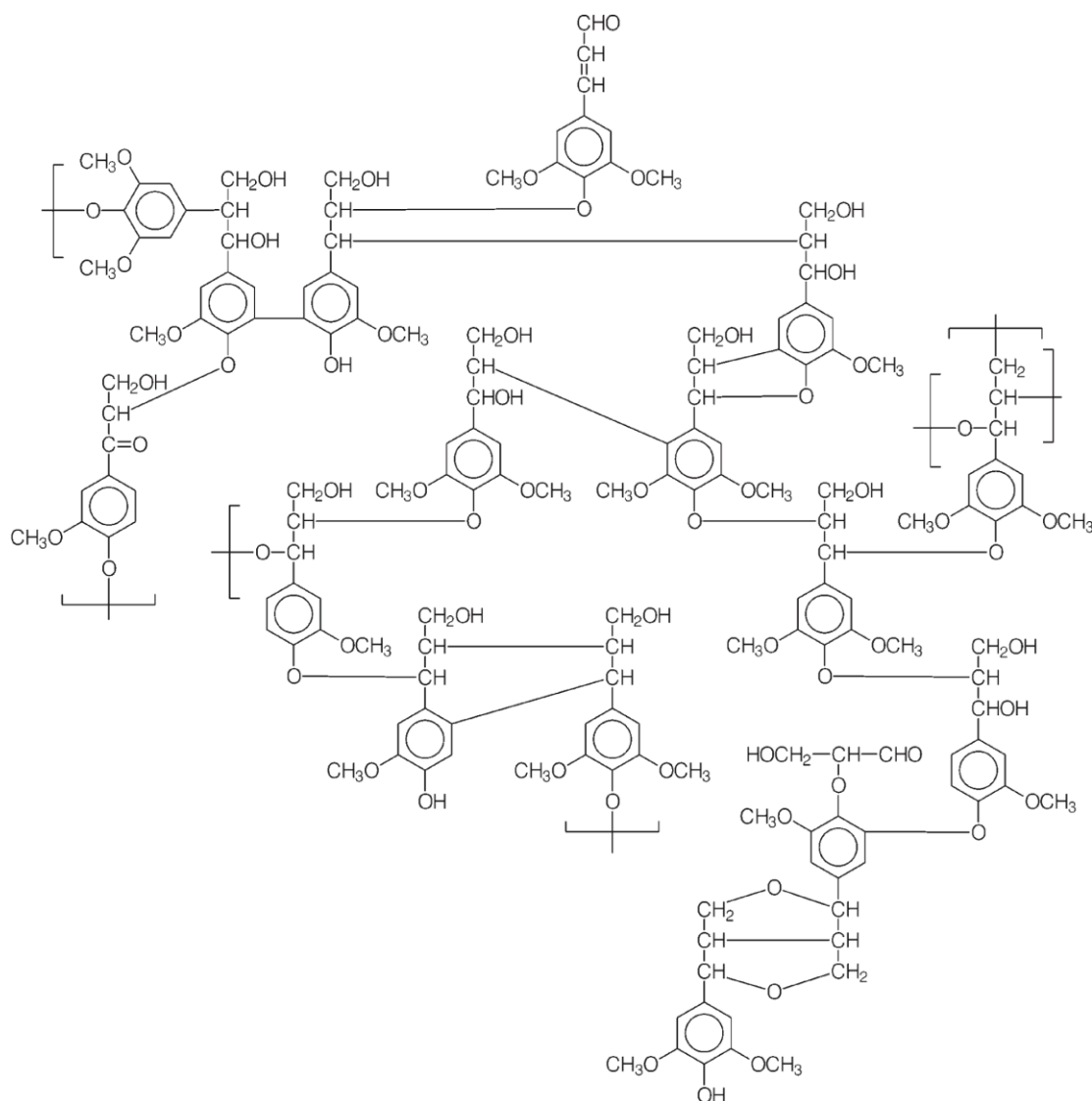


Figura 4: Estrutura da lignina de madeira moída.

Fonte: PILÓ-VELOSO *et al.*, 1993.

2.3.2 Celulose

A celulose é um polissacarídeo de alta massa molar, composto por monômeros de glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) unidos por ligações glicosídicas do tipo β (1 \rightarrow 4). As moléculas de celulose são completamente lineares e apresentam uma grande tendência de formarem ligações hidrogênio intra e intermoleculares (SJÖSTRÖM, 1993).

Cada espécie vegetal possui fibras de celulose de diferentes morfologias. A celulose é a base estrutural das células das plantas, sendo a mais importante substância natural produzida por organismos vivos e o polímero natural de maior ocorrência no mundo, com o teor variando em função da origem da planta (FENGEL, WEGENER, 1989).

A sua estrutura pode ser classificada em três níveis de organização. O primeiro é definido pela sequência de resíduos β -D-glicopiranosídicos unidos por ligações covalentes, formando o homopolímero de anidroglicose com ligações β -D (1 \rightarrow 4) glicosídicas, de fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$. O segundo nível descreve a conformação molecular, isto é, a organização espacial das unidades repetitivas, e é caracterizado pelas distâncias das ligações e respectivos ângulos e pelas ligações de hidrogênio intramoleculares. O terceiro nível define a associação das moléculas formando agregados com uma determinada estrutura cristalina. Estes agregados conferem elevada resistência à tensão, tornando a celulose insolúvel em água e em um grande número de outros solventes. A Figura 5 mostra a representação esquemática da molécula de celulose (SANTOS *et al.*, 2012).

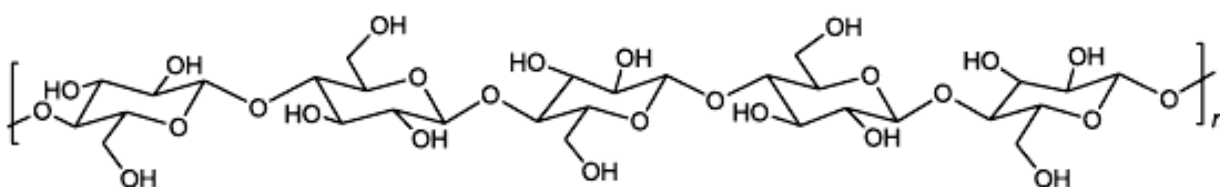


Figura 5: Representação esquemática da molécula de celulose.

Fonte: SANTOS *et al.*, 2012.

2.3.3 Hemicelulose

A hemicelulose, após a celulose, é a fração da biomassa mais abundante encontrada na natureza (BASTAWDE, 1992). São formadas por heteropolissacarídeos complexos compostos por D-glucose, L-arabinose, ácido D-glucurônico, D-galactose, D-manose, D-xilose, e ácido 4-O-metil-glucurônico (Figura 7). Quando comparadas à celulose, as hemiceluloses apresentam maior susceptibilidade à hidrólise ácida, pois oferecem uma maior acessibilidade aos ácidos minerais comumente utilizados como catalisadores. Esta reatividade é usualmente atribuída ao caráter amorfo destes polissacarídeos. São estruturalmente mais semelhantes à celulose do que a lignina. Sua estrutura apresenta ramificações que interagem facilmente com a celulose, dando estabilidade e flexibilidade ao agregado (SANTOS *et al.*, 2012).

Assim como a celulose, a hemicelulose é um importante elemento estrutural da parede celular e atua como matriz de suporte para as microfibrilas de celulose (KIRK e FAREEL, 1987). As hemiceluloses diferem da celulose por serem compostas de várias unidades de açúcares, por possuírem cadeias moleculares mais curtas e pelas ramificações das cadeias de

moléculas. A Figura 6 mostra a representação esquemática da hemicelulose (FENGEL, WEGENER, 1989).

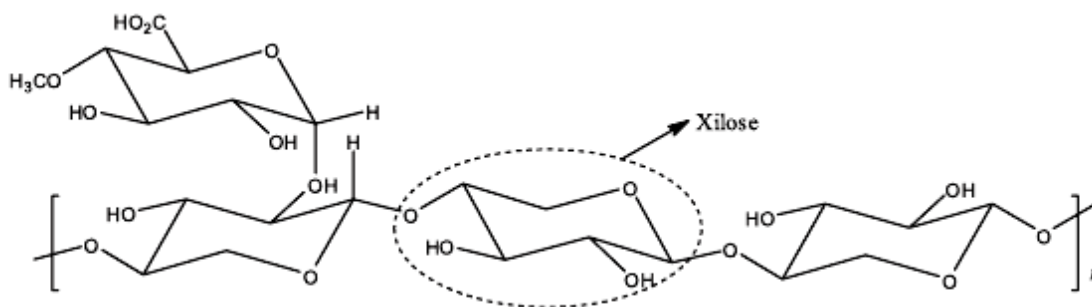


Figura 6: Representação esquemática da hemicelulose.

Fonte: SANTOS *et al.*, 2012

Os materiais lignocelulósicos são compostos principalmente por estas três frações, as quais se encontram associadas constituindo o complexo celular da biomassa vegetal. Na Tabela 2 encontram-se as principais diferenças entre celulose, hemicelulose e lignina.

Tabela 2: Principais diferenças entre celulose, hemicelulose e lignina.

<i>CELULOSE</i>	<i>HEMICELULOSES</i>	<i>LIGNINA</i>
Consiste em unidades de glicose ligadas entre si	Consistem em várias unidades de pentoses e hexoses ligadas entre si	É um polifenol construído de unidades de fenil-propanas (C6-C3)
Alto grau de polimerização (1000 a 15000)	Baixo grau de polimerização (50 a 300). Facilita extração	Considerado um polímero amorfo, cuja estrutura principal, provém da polimerização dehidrogenativa (iniciada por enzimas)
Forma arranjo fibroso	Não formam arranjo fibroso	Não forma arranjo fibroso, é responsável por conferir firmeza e rigidez ao conjunto de fibras de celulose
Apresenta regiões cristalinas e amorfas.	Apresentam somente regiões amorfas	Não tem estrutura cristalina
E atacada lentamente por ácidos inorgânicos diluído a quente	São atacadas rapidamente por ácidos inorgânicos diluído a quente. Logo, hidrólise química para remoção é a melhor opção	Os processos de separação química podem ser basicamente ácidos (sulfito) ou alcalinos (sulfato e soda)
É insolúvel em álcalis	São solúveis em álcalis	Só podem ser degradadas por hidrogenólise, processos oxidativos e/ou gaseificação

Fonte: PEREIRA Jr, 2006; SANTOS, 2011.

2.4 DENSIFICAÇÃO DE BIOMASSA

A densificação da biomassa representa uma interessante alternativa quando se deseja melhorar as propriedades da biomassa de forma a se obter maior uniformidade. Quando é realizada por meio de peletização é considerada uma tecnologia consolidada para a melhoria das propriedades de biomassa com objetivo em sua conversão em calor e energia (STELT *et al.*, 2011).

As técnicas de densificação comumente utilizadas são a produção de briquetes e *pellets*, sendo que a produção de fardos é uma técnica simples destinada, principalmente, a preparação da biomassa para alimentação animal. Os briquetes ou pellets necessitam de um processo mais avançado e caro, sendo aplicável somente em situações economicamente rentáveis. Estas técnicas têm como objetivo elevar a massa específica aparente da biomassa, chegando valores aproximadamente de cinco a dez vezes superior ao material de origem (WERTHER *et al.*, 2000). Quando se compara com os briquetes, os pellets apresentam algumas vantagens, entre elas a maior compactação e aceitação de material com maior gama de umidade. Um exemplo é a palha, que apresenta uma densidade aparente de 50-120 kg/m³ e a casca de arroz cerca de 122 kg/m³, valores inferiores aos do carvão, onde variam desde 560 kg/m³ a 900 kg/m³ (WERTHER *et al.*, 2000).

O processo consiste na trituração da madeira (moagem) e posterior compactação a elevadas pressões, provocando a elevação da temperatura do processamento na ordem de 100°C. Este aumento da temperatura causa a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de biomassa. Para que esta aglomeração seja bem-sucedida, é necessário a presença de uma certa quantidade de água, em torno de 8 a 15% de umidade, e que o tamanho das partículas se encontre entre cinco a 10 mm. A partir deste processo pode-se obter um combustível uniforme, limpo, com maior densidade, umidade uniforme, poder calorífico elevado, queima uniforme, e maior rendimento na eficiência da queima e liberação de calor (MIGLIORINI, 1980).

A combustão dos *pellets* ou briquetes é muito mais eficiente e libera menos partículas que a lenha normal, devido à umidade reduzida. Uma tonelada de pellets destinado ao aquecimento, pode produzir a mesma energia que uma tonelada e meia de madeira (SILVA, 2014).

2.5 CONCEITO DE BIORREFINARIA

A expressão Biorrefinaria refere-se a um complexo integrado de processos, tecnologias e equipamentos dedicados à produção de energia, combustíveis e insumos químicos, a partir de biomassa. É análoga a refinaria de petróleo, porém são empregados matérias-primas diferentes, renováveis. Ambas as refinarias, tem como base a mesma estratégia: decompor o complexo molecular em seus constituintes principais e produtos químicos básicos, para usá-los na geração de novos produtos (CARDOSO, 2009).

A Figura 7 mostra um diagrama esquemático do conceito de uma biorrefinaria, incluindo as plataformas termoquímica e bioquímica e as diferentes rotas que levam a produção de combustíveis, sendo os produtos químicos desenvolvidos a partir de coprodutos e resíduos são os que possuem maior potencial de agregação de valor às cadeias produtivas da biomassa. As plataformas termoquímicas e bioquímicas serão detalhadas adiante.

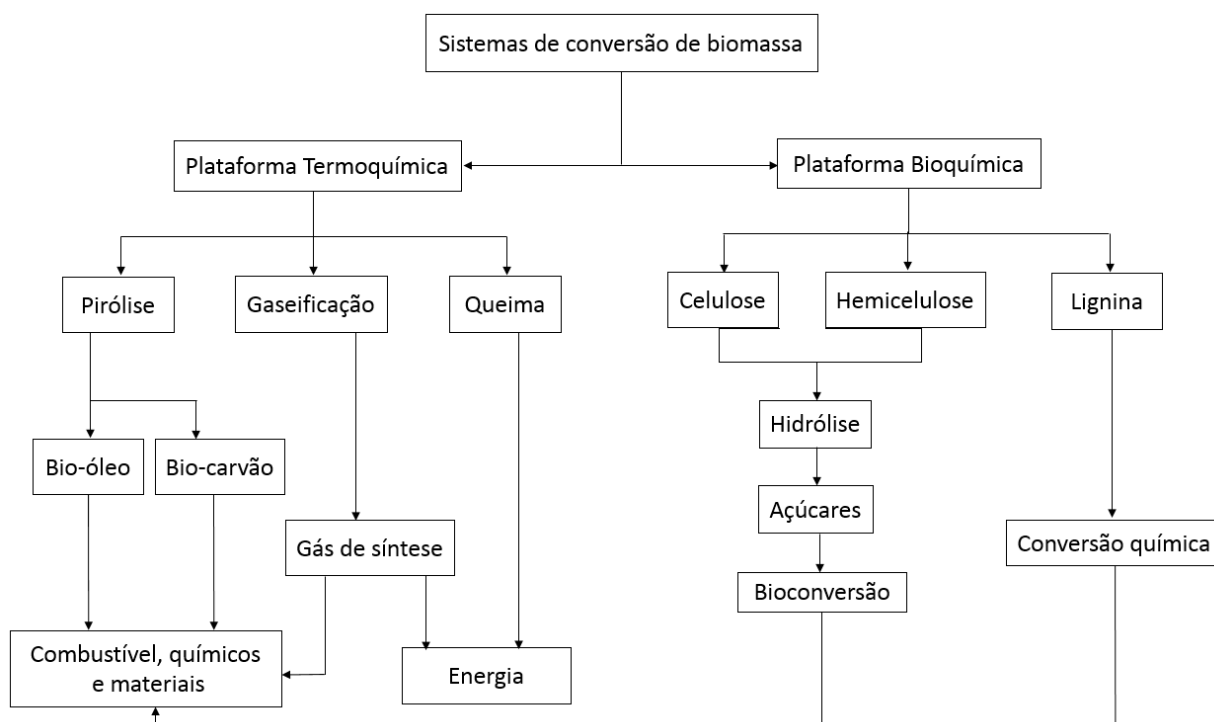


Figura 7: Diagrama esquemático do conceito de uma biorrefinaria.

Fonte: Adaptado de DEMIRBAS, 2009.

A principal definição de biorrefinaria apareceu durante a *Farm Bill* de 2002, sendo definida como instalações, equipamentos e processos que tem como função converter a biomassa em biocombustíveis ou produtos químicos e podendo ainda gerar eletricidade (BASTOS, 2007). Tempos depois o conceito foi ampliado, incluindo instalações que utilizem *commodities* agrícolas, como a biomassa e seus resíduos, fontes renováveis e de baixo valor

agregado, para produzir um conjunto de produtos de alto valor agregado, como combustíveis, produtos químicos, energia e outros materiais de interesse, em uma combinação ótima, maximizando o valor da biomassa e retorno financeiro do investimento (BASTOS, 2007; SILVA, 2010; SANTOS; BORSCHIVER; COUTO, 2013).

As biorrefinarias podem ser extremamente eficientes do ponto de vista do balanço energético, já que existe a perspectiva de que resíduos lignocelulósicos possam ser aproveitados como matérias-primas e na geração de energia, podendo ser consumida na unidade industrial ou comercializada. Os resíduos lignocelulósicos são apenas uma fração da variedade de matérias-primas possíveis para alimentar uma biorrefinaria. A variedade é tão grande quanto à abundância de biomassa na biosfera (SANTOS, 2013).

Nos últimos anos surgiu um conceito um novo conceito chamado biorrefinarias integradas. Hoje em dia o papel das biorrefinarias está concentrado na integração de processos tradicionais e modernos para a utilização de biomassa renovável na produção de energia e reagentes. Atualmente existem poucas plantas de biorrefinaria a operar em escala industrial. Inbicon é considerada uma planta de biorrefinaria a nível demonstrativo, localizada em Kalundborg, na Dinamarca. A fábrica tem capacidade de converter 4 toneladas de palha de trigo por hora em bioetanol, além de melação (usado principalmente em alimentos) e pellets de lignina (utilizado na produção de calor e eletricidade) (BIORREFINARIAS, 2013). A Figura 8 mostra um esquema comparativo entre o conceito de refinaria clássica e o de biorrefinarias onde é possível obter praticamente os mesmos produtos a partir do petróleo e da biomassa.

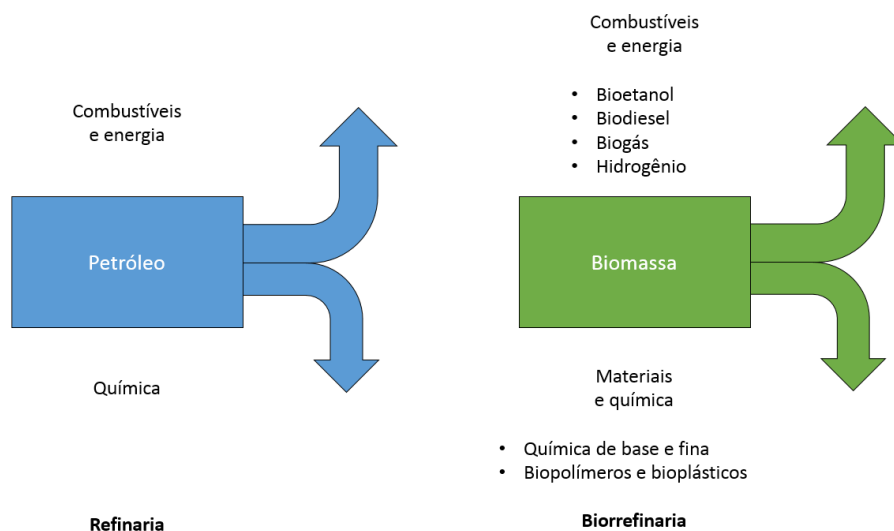


Figura 8: Esquema paralelo entre o conceito de refinaria e o de biorrefinaria.

Fonte: Adaptado de REE; ANNEVELINK; 2007.

Em biorrefinarias, as biomassas, que possuem diferentes constituições, são separadas e podem ser transformadas por meio de dois grupos de tecnologias, denominados plataformas, baseadas em processos biotecnológicos e termoquímicos, que tem como função fornecer blocos de construção para a obtenção de diferentes produtos. O primeiro grupo, denominado plataforma bioquímica, também chamada de sucroquímica, é baseado em processos químicos e biotecnológicos para conversão dos açúcares que constituem as biomassas.

2.5.1 Plataforma Bioquímica

Nas plataformas bioquímicas, enquadram-se os processos de extração, separação e conversão química ou biológica dos componentes da biomassa. “A conversão de açúcares em biocombustíveis ou bioprodutos e da lignina em bioquímicos ou extração de compostos para valorização cosmética e farmacêutica são exemplos de possibilidades. A Figura 9 mostra os produtos possíveis, obtidos a partir de matéria-prima lignocelulósica, com destaque para os produtos da fermentação obtidos na plataforma gerados a partir da glicose derivada da celulose, produzindo etanol, ácidos orgânicos e outros solventes além da variedade de produtos químicos possíveis de serem obtidos que vão desde adoçantes como o xilitol a resinas, que podem ser utilizadas para variadas finalidades.

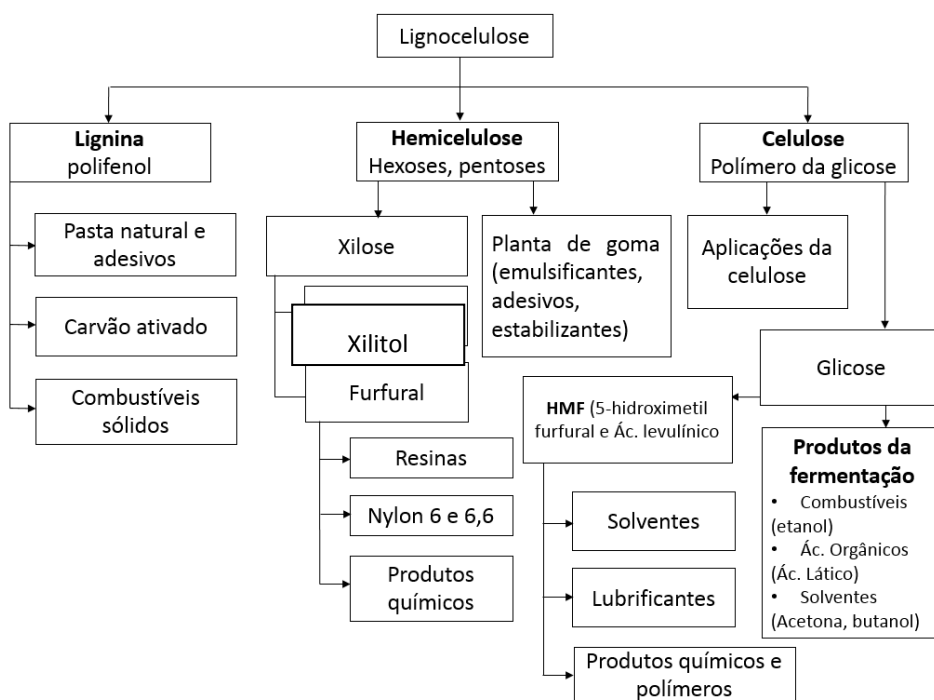


Figura 9: Produtos obtidos a partir de matéria-prima lignocelulósica.

Fonte: KAMM, GRUBER *et al.*, 2006.

2.5.2 Plataforma Termoquímica

Em uma biorrefinaria que atua por rota termoquímica, várias tecnologias podem ser aplicadas, como torrefação, pirólise, gaseificação, hidrotermólise, entre outras. Nesse conceito de biorrefinaria a biomassa é termoquimicamente refinada produzindo uma grande variedade de produtos com alto valor-agregado, assim o ciclo termoquímico pode ser usado para produzir o espectro de produtos desejados (QUÍMICA VERDE NO BRASIL, 2010).

Dentro desse conceito, uma opção promissora é a coprodução de substâncias químicas de alto valor-agregado, como misturas de álcoois e gás natural sintético a partir de biomassa. Essa opção é baseada em limpeza avançada de gases, gaseificação a baixas temperaturas, melhoramento e separação do produto intermediário (REE e ANNEVELINK, 2007).

A biorrefinaria termoquímica especificamente utiliza as infraestruturas já existentes de processamento de petróleo da indústria petroquímica, a biomassa ou seus derivados intermediários podem ser condicionados e posteriormente introduzidos nessas infraestruturas, substituindo os combustíveis fósseis e matérias-primas originando assim a produção sustentável de um portfólio de produtos petroquímicos convencionais. (REE e ANNEVELINK, 2007).

Entre as tecnologias, as mais importantes em desenvolvimento são: combustão e trocadores de calor de alta temperatura, gaseificação com flexibilidade de matéria-prima, processos químicos para transformação de hidrocarbonetos gasosos em combustíveis líquidos, também conhecidos como processos “*gas-to-liquids*” (GTL), turbinas com flexibilidade de combustíveis, células a combustível (QUÍMICA VERDE NO BRASIL, 2010).

2.5.3 Plataforma Integrada

Biorrefinarias integradas ou híbridas podem ser classificadas de acordo com as diferentes tecnologias em que se baseiam:

- *Tecnologias de primeira geração*: tecnologias maduras para produção de etanol do açúcar e amido. Com exceção da cana, sofrem sérias críticas devido à competição com a produção de alimentos (diretamente ou na disputa pelo uso da terra), além do real balanço energético e da redução da emissão de gases de efeito estufa;

- *Tecnologias de segunda geração:* biomassa lignocelulósica convertida em biocombustíveis e químicos por processos bioquímicos (como a hidrólise enzimática, que emprega enzimas e microrganismos geneticamente modificados para quebra da celulose e sua transformação em açúcar, para conversão em etanol, por fermentação) ou processos termoquímicos (gaseificação da biomassa e posterior liquefação; pirólise);
- *Tecnologias de terceira geração:* biocombustíveis avançados e rotas químicas por meio de algas e hidrogênio da biomassa;
- *Tecnologias de quarta geração:* combinam matérias-primas geneticamente “otimizadas” (com capacidade de capturar maior quantidade de carbono) e microrganismos geneticamente modificados com objetivo de obter uma fonte de carbono neutra para biocombustíveis e bioquímicos (BASTOS, 2007).

Matérias-primas para biorrefinarias integradas em aplicação nos Estados Unidos são os cereais, como trigo, centeio, triticale³, bem como milho. O primeiro passo é a separação mecânica do cereal e a palha, que são obtidos em quase a mesma quantidade. A palha representa uma matéria prima lignocelulósica e por um lado, há a possibilidade de separação em celulose, hemicelulose, lignina e a sua posterior conversão em diferentes linhas de produto. Além disso, a palha, por meio de tecnologias de gaseificação/pirólise, é um material de partida para a produção de gás de síntese, material de base para a obtenção de combustíveis e metanol. A Figura 10 mostra um esquema simplificado de biorrefinaria integrada com base em cereais (KAMM e KANN, 2004).

³ O triticale é um cereal híbrido, resultado da hibridação de duas espécies distintas, o trigo e o centeio.

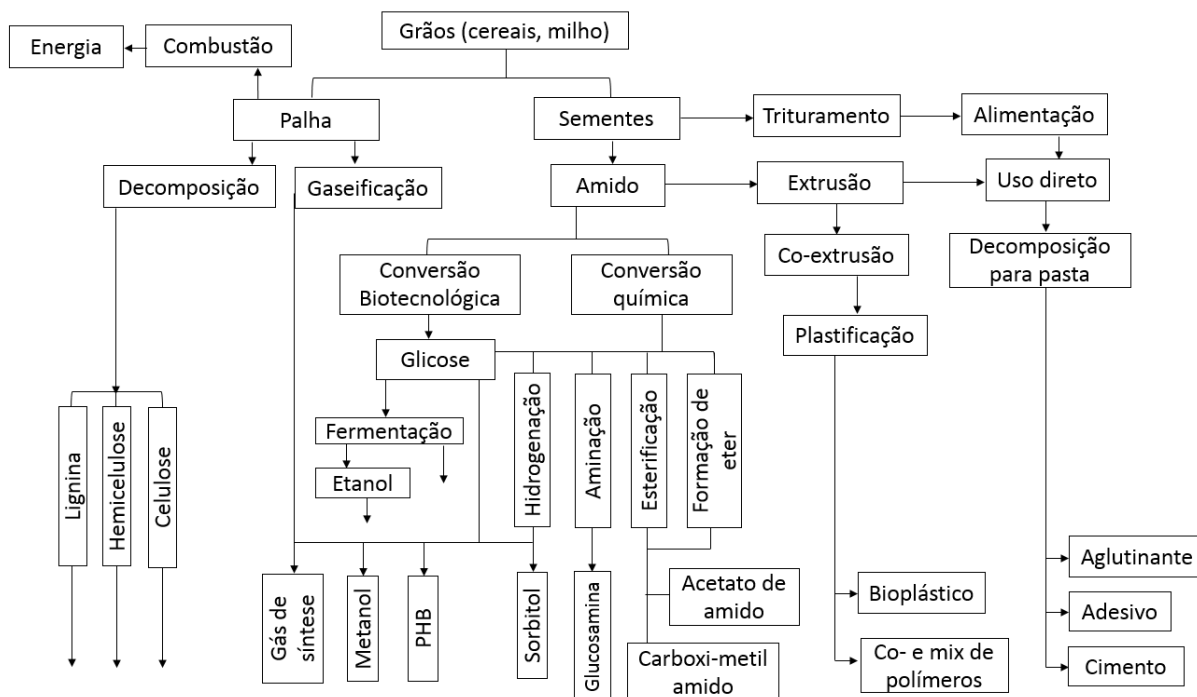


Figura 10: Biorrefinaria integrada baseada em cereais.

Fonte: Adaptado de KAMM e KAMM, 2004.

2.6 TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO DA BIOMASSA

Para o aproveitamento energético, tem-se a classificação da biomassa da seguinte forma conforme Aspe (2013), relacionadas no Tabela 3:

Tabela 3: Classificação e exemplos de biomassa para aproveitamento energético.

<i>Classificação</i>	<i>Substrato</i>	<i>Exemplo</i>
<i>Sacaríneos</i>	Sacarose	Cana-de-açúcar, caule de sorgo, beterraba, dentre outros
<i>Celulósicos</i>	Celulose, hemicelulose, lignina	Gramíneas, rejeitos florestais, bagaço de cana, casca de arroz, dentre outros
<i>Amiláceos</i>	Amido	Mandioca, milho, batata, dentre outros
<i>Triglicérides ou oleaginosas</i>	Óleos e gorduras	Dendê, copaíba, amendoim, soja, algodão, mamona, dentre outros
<i>Aquáticos</i>	Lipídeos	Microalgas
<i>Madeira</i>	-	(Podem ser incluídos às matérias celulósicas)
<i>Resíduos agropecuários, urbanos e agroindustriais</i>		

Fonte: Aspe, 2013.

Existem diversas rotas para a conversão da biomassa, as tecnologias para os processos de conversão são as mais diversas possíveis e incluem desde a simples combustão ou queima para a obtenção da energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos. A Figura 11 mostra o esquema com as possíveis rotas para a conversão energética da biomassa.

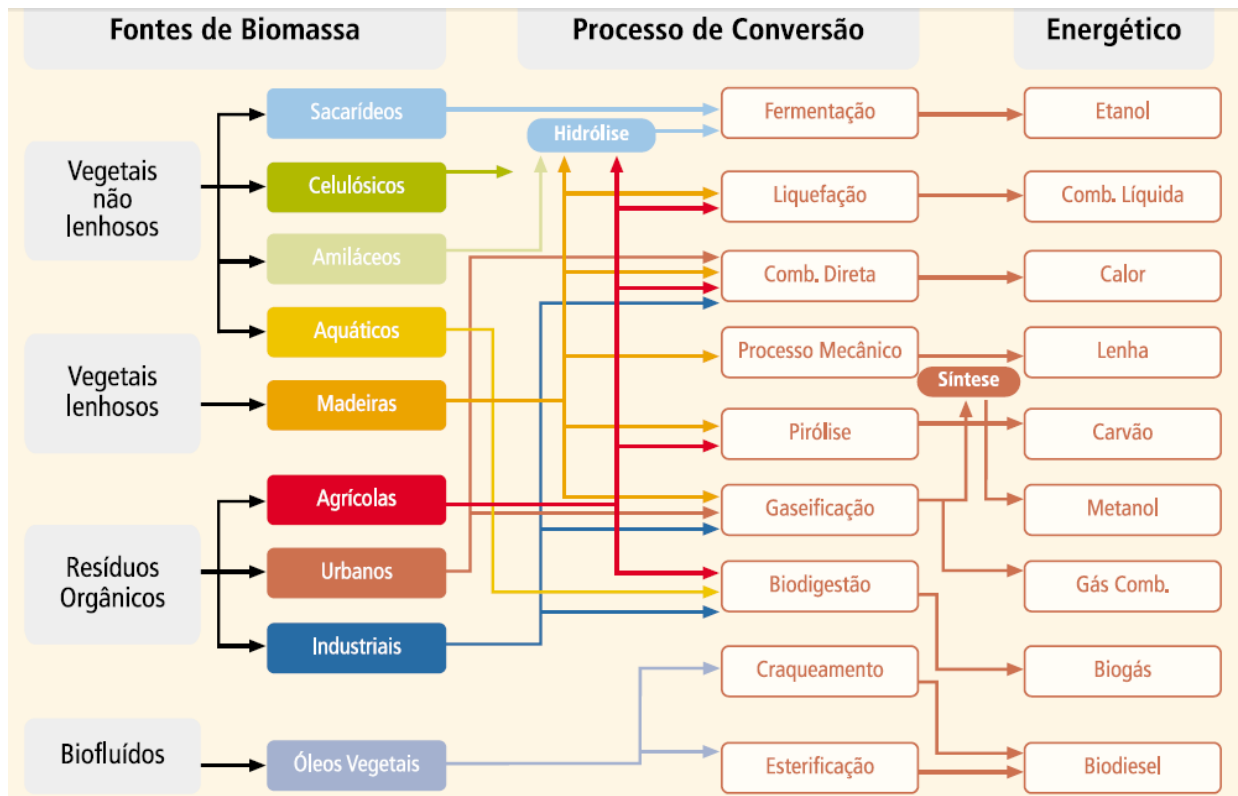


Figura 11: Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.

Fonte: Atlas de Bioenergia do Espírito Santo - ASPE, 2013.

Para a geração de energia a partir da casca do arroz as principais tecnologias são: a pirólise, biodigestão para produção de biogás, gaseificação da biomassa para síntese de *Fisher-Tropsch*, conversão em bioetanol e a queima direta para geração de energia.

2.6.1 Pirólise

Pirólise consiste na decomposição térmica em ausência de oxigênio. É a primeira etapa dos processos de combustão e gaseificação. A pirólise da biomassa gera produtos gasosos, líquidos e sólidos. O gás é composto de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos leves. O líquido de coloração escura é chamado de bio-óleo e o sólido de

carvão vegetal. Os rendimentos e a qualidade dos produtos são influenciados pelas condições operacionais empregadas. A pirólise recebe diferentes denominações dependendo das condições utilizadas. Na pirólise lenta, também conhecida como carbonização, são empregadas baixas temperaturas e longos tempos de residência o que favorece a produção de carvão vegetal. Altas temperaturas e longos tempos de residência favorecem a formação de gases. Temperaturas moderadas e baixo tempo de residência dos gases favorecem a geração de líquidos (bio-óleo) (ALMEIDA, 2008).

O Quadro 2 apresenta informações sobre as condições operacionais dos processos de pirólise mais empregados e seus produtos sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos.

Quadro 2: Métodos de pirólise e suas variantes: rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa.

Tecnologia de Pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	T [°C]	Produtos	Bio-Óleo	Carvão	Gás
Carbonização	Dias	Muito baixa	400	Carvão	30%	35%	35%
Convencional	5-30 min	Baixa	600	Bio-Óleo, gás, finos de carvão	-	-	-
Pirólise Rápida	0,5-5 s	Muito alta	650	Bio-Óleo	75%	12%	13%
Flash-líquido	<1 s	Alta	<650	Bio-Óleo	-	-	-
Gaseificação	<1 s	Alta	600-900	Químicos e gás	5%	10%	85%
Ultra-Gaseificação	<0,5 s	Muito alta	1000	Químicos e gás	-	-	-
Pirólise a Vácuo	2-30 s	Media	400	Bio-Óleo	-	-	-
Hidro-Pirólise	<10 s	Alta	<500	Bio-Óleo	-	-	-
Metano-pirólise	<10s	Alta	>700	Químicos	-	-	-

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2011.

2.6.1.1 Produtos Formados na Pirólise

Durante o processo de pirólise, é formada uma matriz sólida, chamada de finos de carvão (*char*), composta basicamente de carbono, onde também pode se encontrar cinzas, material inorgânico inicialmente presente na biomassa, também chamado de *ash*. Uma grande parte dos vapores gerados durante o processo pode ser condensada formando uma mistura líquida de duas fases (tar): uma aquosa (extrato ácido) e outra orgânica (bio-óleo ou óleo pirolítico). Assim, os gases não condensáveis formados, geralmente CO₂, CO, CH₄, H₂, que podem ser separados para utilização como gás combustível (SANTOS, 2011).

2.6.2 Biogás

Sendo uma fonte de energia renovável, o biogás pode ser considerado um biocombustível, sendo obtido de forma natural ou artificialmente. Possuindo um conteúdo energético próximo ao do gás natural, sua forma gasosa é constituída principalmente por uma mistura de dióxido de carbono (CO₂) e o gás metano (CH₄). Como os outros combustíveis, este também é inflamável quando colocado sob pressão. A produção do biogás é efetuada obedecendo a critérios de fermentação, temperatura, umidade, acidez e com a ausência de oxigênio. A forma natural do biogás é conseguida pela ação de micro-organismos bacteriológicos sobre o acúmulo de materiais orgânicos (Biomassa) como lixo doméstico, resíduos industriais vegetais, esterco de animais, entre outros. Sua forma artificial é gerada a partir de um reator químico-biológico chamado de biodigestor anaeróbico (ROYA *et al.*, 2011).

A principal utilização do biogás atualmente é a geração de energia elétrica, térmica e mecânica. Graças à sua composição pode ser utilizado como substituto do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), usado como gás de cozinha, Gás Natural (GN) usado em equipamentos domésticos e GNV (Gás Natural Veicular). Em termos mundiais, a forma mais utilizada para geração de energia elétrica a partir de biomassa é pelo uso de biodigestores. Dentro do biodigestor ocorre a biodigestão anaeróbia que é um processo de degradação, transformação ou decomposição de substâncias vegetais e/ou de animais, conhecidas por matéria orgânica, efetuada por seres vivos, como o homem, ou mesmo por microrganismos ou bactérias. Vários produtos sintéticos produzidos também são passíveis de biodigestão, os quais são chamados de produtos biodegradáveis. É possível, portanto, definir o biodigestor como um aparelho

destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás. Esse aparelho, no entanto, não produz biogás, já que sua função é fornecer as condições ideais para que um grupo especial de bactérias degrade o material orgânico, seguido da liberação do gás metano. A Figura 12 detalha as etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia (SILVA *et al.*, 2009).

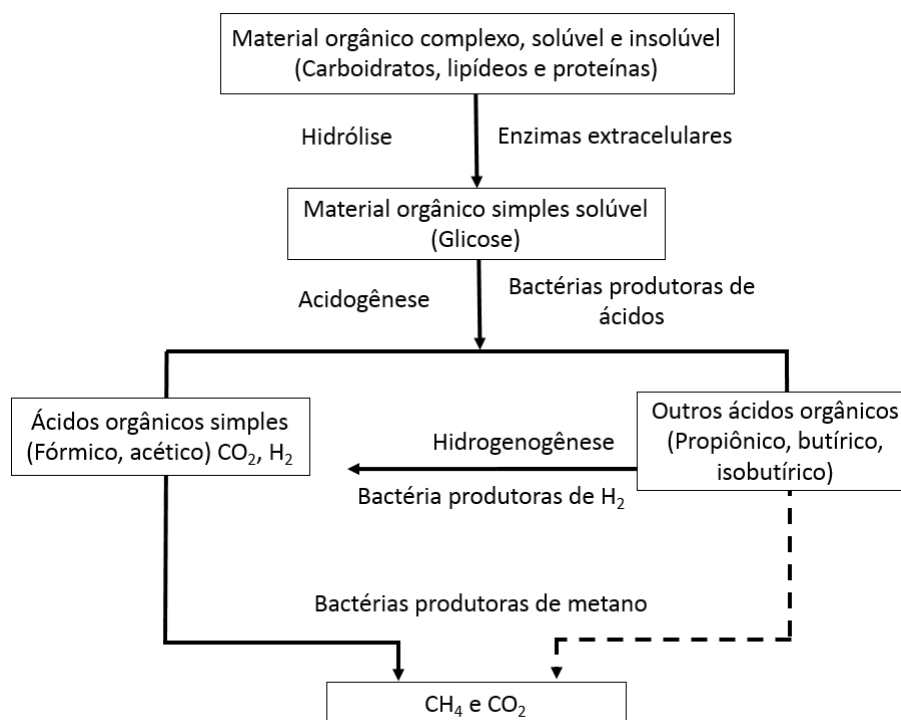


Figura 12: Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia.

Fonte: SANTOS, 2001.

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH), existem dois tipos de biodigestores em relação ao abastecimento da biomassa: um é de produção descontínua ou batelada e o outro de produção contínua. O de produção descontínua consiste na recarga da carga orgânica uma única vez. O recipiente é selado para que não haja entrada de oxigênio, sendo aberto só após a produção do biogás e a quantidade deste é determinada pelo medidor de gás. Já no de produção contínua, o recipiente recebe recargas de lixo orgânico durante a produção do biogás, concomitante, com a retirada do biofertilizante (FERREIRA *et al.*, 2011).

A aplicação de biodigestores é mais utilizada com biomassa de origem animal, porém o processo pode ser aplicado a qualquer matéria orgânica. O processo possui pouca eficiência e, por este motivo sua aplicação ocorre em plantas de tamanho reduzido como nas fazendas e instalações em aterros sanitários, sendo utilizado para geração de energia elétrica (DOTTO *et al.*, 2012).

2.6.3 Rota BTL

Biomassa também pode ser convertida em combustível líquido, diesel e uma infinidade de produtos de maior valor agregado, mediante processos térmico-catalíticos, denominados *Biomass to Liquid* (BTL). Primeiramente, realiza-se um tratamento térmico na biomassa, que deve estar previamente seca, moída, esmagada ou triturada, a fim de gaseificá-la, purificação do gás de síntese obtido e, por fim, a reação de Síntese de *Fisher-Tropsch*, que polimeriza o $\text{CO}_{(g)}$ e o $\text{H}_{2(g)}$ remanescentes da separação gerando diferentes tipos de hidrocarbonetos. As diferenças de temperatura, pressão, tipo e composição de catalisador, proporções de $\text{H}_{2(g)}/\text{CO}_{(g)}$ no gás de síntese é que definem o produto a ser obtido (LEDFOORD, 2006).

A gaseificação consiste na oxidação da biomassa em gás constituído por hidrogênio e monóxido de carbono. Pode ser realizada a vácuo ou pressão atmosférica, com fluxo de ar ou oxigênio ou vapor, com calor direto (ocorre por oxidação parcial da matéria-prima) ou indireto (ocorre por troca de calor), pode utilizar catalisadores metálicos ou o cobalto a uma temperatura em torno de 900°C ou ocorrer sem catalisador com uma temperatura superior a 1300°C . Em plantas de pequenas capacidades utilizam reatores de leito fixo, do contrário utilizam-se reatores de leito fluidizado (Turkenburg, Faaij, 2006). Os processos mais recomendados envolvem a reforma auto térmica combinada com a reforma à vapor (TIJMENSEN *et al.*, 2002). A Figura 13 mostra o esquema simplificado do processo *Anything to liquid* (XTL), nome genérico onde o X simboliza qualquer produto orgânico a ser submetido a gaseificação ou reforma.

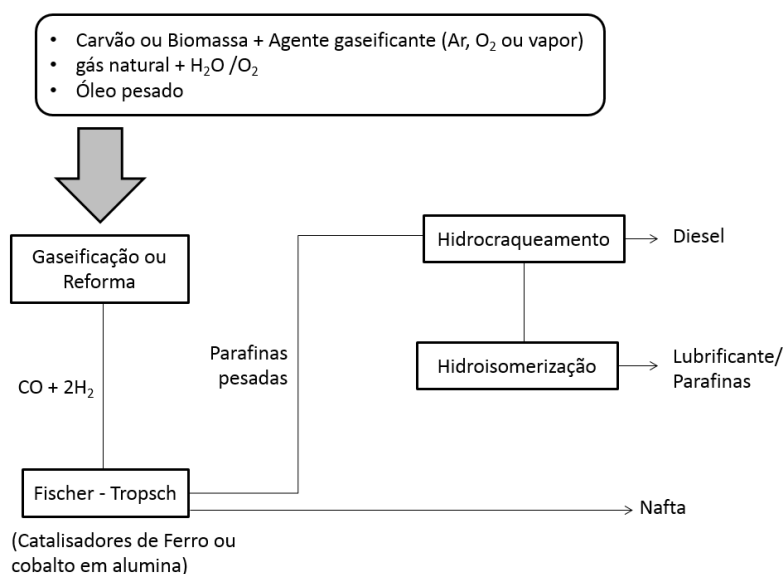


Figura 13: Diagrama de blocos do processo XTL.

Fonte: Adaptado de VIEIRA, 2007.

2.6.4 Produção de bioetanol de 2ª Geração

Como já abordado, as biomassas de origem agrícola são constituídas majoritariamente por materiais lignocelulósicos, compostos por 40-60% de celulose, 20-40% de hemicelulose e 15 a 25% de lignina (MOREIRA, 2005).

Essas estruturas exigem, primeiramente, que seja realizado um pré-tratamento (MOISER *et al.*, 2005) para que a hemicelulose seja removida da biomassa, e a diminuição da cristalinidade da celulose, aumentando a área superficial para que as enzimas acessem com mais facilidade a molécula, para facilitar a liberação da glicose em meio aquoso por meio da hidrólise (MOSIER *et al.*, 2005). A Figura 14 mostra as etapas do processamento biológico responsável pela produção do etanol de 2ª geração.

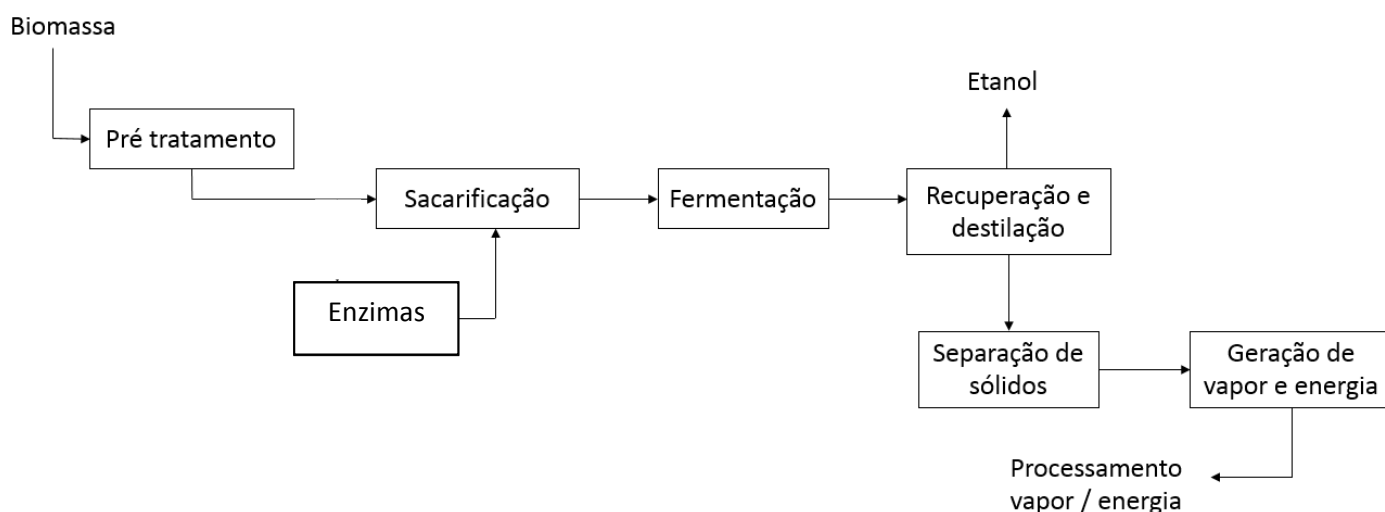


Figura 14: Etapas do Processamento Biológico do Bioetanol de 2ª geração.

Fonte: LARSON, 2007.

2.6.5 Usinas Termoelétricas

Uma usina termoelétrica consiste em uma planta química produtora de energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis ou por outras fontes de calor, como, a fissão nuclear e biomassa, dentre outras. O combustível que será consumido pode ser armazenado em parques ou depósitos próximos às usinas. O calor gerado pela queima dos combustíveis é responsável pelo aquecimento de uma caldeira, gerando vapor d'água em alta pressão. Com isso, o vapor sob alta pressão e temperatura, se expande, movimentando as pás

da turbina do gerador, produzindo a energia elétrica final. A energia gerada é transportada por linhas de alta tensão até os centros de consumo. O vapor d'água após ter movimentado as turbinas, é enviado para ser resfriado em um condensador e, em seguida, retorna ao estado líquido para ser reenviado à caldeira, iniciando um novo ciclo. O vapor pode ser resfriado com a utilização de água de um rio, um lago ou um mar, porém esse processo de resfriamento pode gerar danos ecológicos, pois o aquecimento da água causa uma diminuição da concentração do oxigênio dissolvido. Outra maneira de resfriar esse vapor é a utilização de água armazenada em torres. Ao final do processo, esta água é liberada à atmosfera em forma de vapor, podendo alterar o regime de chuvas. A Figura 15 traz um esquema simplificado de uma unidade termoelétrica (LIMA e SOUZA, 2014).

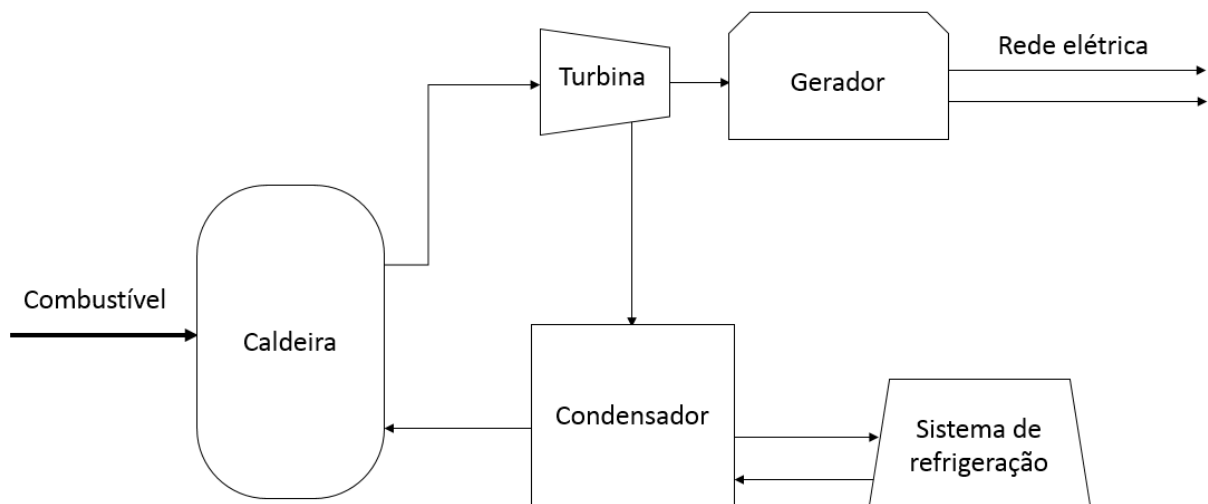


Figura 15: Esquema simplificado de geração termoelétrica.

Em compensação aos impactos ambientais e aos gastos com combustível, as termoelétricas possuem como principal vantagem a possibilidade de instalação em locais próximos aos centros consumidores, permitindo a economia com as redes de transmissão e assim evitando o desperdício de energia elétrica. A Figura 16 discrimina os combustíveis utilizados nas termoelétricas brasileiras.

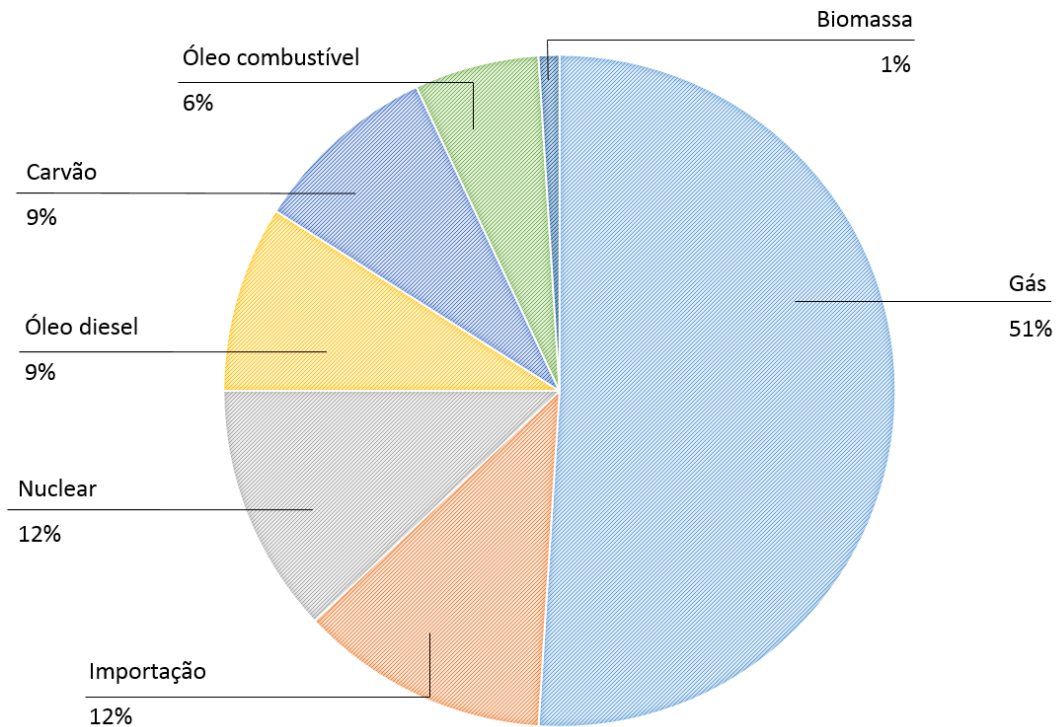


Figura 16: Combustíveis utilizados na geração termoelétrica.

Fonte: MME, 2006. (Adaptado de PNE, 2007)

Como mostrado pela Figura 17 a produção energética por termoelétricas, o gás natural é o combustível mais utilizado, mas enfrenta problemas já que o gás é importado dos países vizinhos gerando um custo maior. Apesar deste fato, as maiores termoelétricas são movidas a gás natural. Dentro deste cenário, a biomassa possui um enorme potencial para crescimento já que sua utilização corresponde apenas a 1% da geração termoelétrica. A baixa adesão da biomassa para geração de energia pode ser entendida como falta de conhecimento do potencial que os resíduos possuem já que a biomassa não é tratada da mesma maneira que as outras fontes de energias consideradas mais “nobres”. Existe potencial para que essa participação seja muito maior, basta que as empresas comecem uma valorização dos resíduos gerados, principalmente a agroindústria que poderia seguir o modelo aplicado na indústria sucroalcooleira, que como dito anteriormente é autossuficiente na geração de energia além da possibilidade de produzir etanol de segunda geração. Cada resíduo tem suas particularidades, cabe aos produtores avaliarem a melhor forma de aproveitamento para o resíduo gerado por sua cultura.

3 METODOLOGIA

Por definição metodologia inclui procedimentos como os da formação de conceitos e de hipóteses, os de observação e de medida, da realização de experimentos, construção de modelos e de teorias, da elaboração de explicações e da predição. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi baseada em estudo de caso e na revisão da literatura, sendo esta indispensável para a delimitação do problema em um projeto de pesquisa e para obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos sobre o tema, bem como suas lacunas e a contribuição da investigação para o desenvolvimento do conhecimento (LAKATOS e MARCONI, 2010).

A pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas. Assim, ela parte de uma dúvida ou de um problema, buscando uma resposta ou solução, com o uso do método científico. A pesquisa também é uma forma de obtenção de conhecimentos e descobertas acerca de um determinado assunto ou fato, seja ele acadêmico, social ou profissional.

A presente dissertação, devido às suas peculiaridades, pode ser classificada como exploratória. Uma pesquisa exploratória tem como objetivo familiarizar-se com um assunto ainda pouco conhecido, pouco explorado. Este tipo de pesquisa propicia maior familiaridade com o problema, objetivando torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pesquisas exploratórias podem ser classificadas como: pesquisa bibliográfica e estudo caso (GIL, 2008).

As informações acerca da utilização da casca de arroz para geração de energia são esparsas. Mesmo que a tecnologia já esteja consolidada, há grande dificuldade de se encontrar estudos com informações sistematizadas sobre o tema que sejam direcionados a esse tipo de utilidade.

Durante a elaboração desta dissertação os esforços foram voltados para apresentar, condensar e avaliar dados relevantes encontrados, dividindo-se em três fases. A primeira fase concentrou-se em pesquisas bibliográficas relacionadas à avaliação do aproveitamento de resíduos de culturas vegetais para produção energética. Foram abordadas as tecnologias existentes para conversão energética da biomassa, sua composição e a situação dos resíduos agrícolas no Brasil. Foram analisadas quais as concepções tecnológicas de processo adotadas por empresas que já utilizam resíduos como fonte de energia, além dos conceitos relacionados às biorrefinarias.

A segunda fase aborda o panorama energético mundial, com destaque para China e o Brasil devido à sua relevância na produção de arroz, principal objeto do estudo.

A terceira fase, aborda a produção de arroz no Brasil e no mundo, a aplicação das cascas de arroz na produção de energia, as empresas geradoras de energia a base de casca do arroz instaladas no Brasil e a avaliação do potencial energético da casca no Brasil e na China, além de um levantamento com opções para a destinação dos resíduos gerados na queima.

3.1 ESTRUTURA GERAL

- Revisão da Literatura

A coleta de dados desta pesquisa foi efetuada por meio de revisão integrativa, onde são referenciados livros e revistas técnicas, recursos da internet como acesso a teses, dissertações, artigos e publicações técnico - científicas e em bibliotecas digitais, nacionais e estrangeiras.

- Panorama energético internacional

O objetivo desse tópico foi estudar os avanços do setor, as fontes energéticas utilizadas nos países de maior relevância no cenário mundial e a aplicação de biomassa para produção energética. Devido ao caráter dinâmico do meio empresarial, as informações são atualizadas em tempo real na internet. Portanto, as principais fontes de pesquisa foram páginas eletrônicas de revistas relacionadas à energia e biomassa, além de páginas eletrônicas de instituições internacionais como o Departamento Americano de Energia (USDOE), Conselho Americano do Etanol (AEC), dentre outros.

- Panorama energético nacional

É responsável por um profundo levantamento da utilização de resíduos do beneficiamento do arroz para pesquisa de produção energética, de forma a permitir o seu amplo e detalhado conhecimento.

- Empresas pioneiras

Foram abordadas as empresas que já utilizam a casca do arroz para produção de bioeletricidade e a respectiva capacidade geradora. Utilizando os dados referentes à produção de arroz brasileira estimada em agosto de 2016 foi estimada a capacidade geradora brasileira e, como forma de comparação a do maior produtor mundial de arroz, a China.

- Para os cálculos do potencial energético da casca do arroz foi utilizada a seguinte equação que é detalhada no capítulo 5:

$$\text{Potencial MW/ano} = [(Ton. Arroz \times 0,3) \times PCI \times 0,15] 860 \times 8322 \quad (\text{Eq.1})$$

Os dados foram obtidos em artigos científicos publicados na base de dados *Science Direct*, Portal periódicos CAPES/MEC, *SciELO*, dentre outras. As informações técnicas ou dados relacionados com a geração de energia foram obtidos em páginas eletrônicas como o Banco de Informação de Geração da ANEEL, EMPRAPA, Instituto Nacional de Eficiência Energética, Ministério de Minas e Energia além dos dados disponíveis online das empresas envolvidas.

4 PANORAMA ENERGÉTICO

Apesar de a água ser o recurso natural mais abundante na Terra, cobrindo aproximadamente dois terços da superfície do planeta, a geração de energia elétrica proveniente de hidrelétricas segue em declínio, devido ao grande volume de água estar nos oceanos e a força das marés não ser utilizada em escala comercial. Com isso a expansão de outras fontes energéticas deve ser considerada, principalmente em um território dominado com combustíveis fósseis. No capítulo serão abordados sucintamente a geração elétrica mundial e serão aprofundados os dados de geração do Brasil e da China, o país de maior consumo energético.

4.1 PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

Poucos são os países no mundo que possuem autossuficiência na produção de energia. O Japão importa praticamente toda a energia que consome e os Estados Unidos, com seu enorme território e seus recursos naturais, importam metade do petróleo que consome. A Figura 17 mostra o perfil mundial de energia primária, destacando-se o óleo combustível, o carvão e o gás natural como as fontes energéticas mais utilizadas. Países como a China, Estados Unidos e a União Europeia não possuem tantas fontes hídricas como o Brasil e dependem principalmente destes combustíveis fósseis. A China é o maior produtor de carvão mineral, os Estados Unidos têm tentado buscar outras fontes como o gás de xisto e a União Europeia importa o gás natural da Rússia (GOLDEMBERG, 2013).

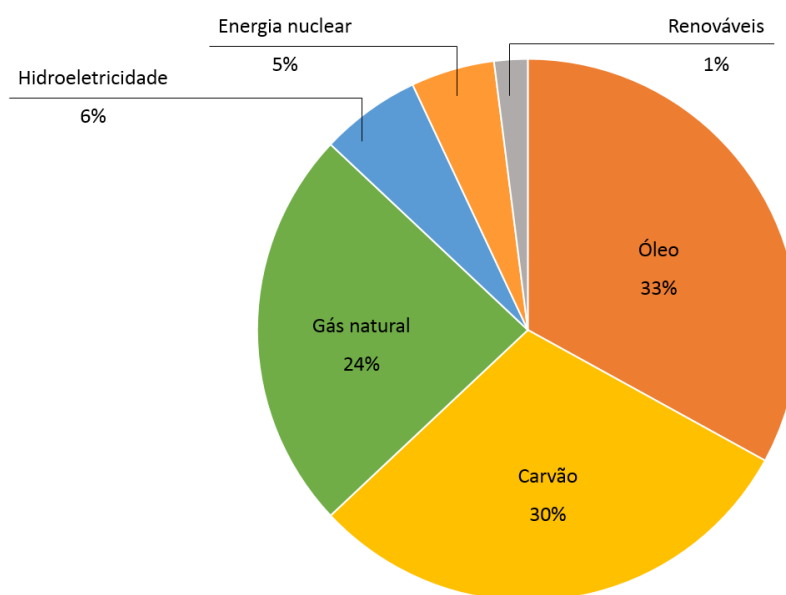


Figura 17: Perfil de energia primária mundial.

Fonte: Adaptado de BP GLOBAL, 2015.

4.1.1 Energia Elétrica na China

A China vem apresentando um acelerado crescimento econômico nas últimas décadas. O país atualmente é o maior produtor e consumidor de energia do mundo. Esta conjuntura pode ser relacionada ao elevado crescimento do setor industrial, responsável por cerca de 78% do consumo total de energia no país. Os setores comercial, transporte e residencial são responsáveis pelos 22% restantes. Ao contrário do Brasil, a China possui sua matriz energética baseada em fontes de energia fósseis. Na prática, a economia chinesa, especificamente do setor industrial, é majoritariamente dependente do carvão, fonte extremamente poluente (MA, 2015).

Para reduzir a excessiva dependência de carvão nas gerações de energia e calor e, para moderar os problemas ambientais e de saúde associados, a China adotou uma série de políticas e normas regulatórias. O Direito da Energia Renovável foi homologada em 2005, e possui como objetivo promover a utilização de energia renovável, de modo a reduzir o consumo de carvão. A Lei de Energias Renováveis tem um foco especial sobre a produção/consumo de biomassa celulósica que podem ser complementadas com carvão para fins de geração de energia. Em 2012, a China publicou o 12º Plano Quinquenal para o Desenvolvimento de Energias Renováveis. Este relatório foi elaborado com o objetivo de atingir 11% de sua energia primária produzida por fontes de combustíveis não fósseis até 2015, e 15% em 2020, pautada novamente na biomassa celulósica para a geração da eletricidade (CHEN *et al.*, 2013). A Figura 18 apresenta as formas de combustível primário utilizadas para geração de energia na China, onde é verificado que se baseia majoritariamente no uso do carvão mineral.

Além de ser a nação mais populosa, a China é a economia que mais cresce no mundo. Ao longo da última década, o consumo de energia primária total tem crescido rapidamente. Entre 2000 e 2011, o crescimento no consumo de energia na China foram responsáveis por 54,9% do aumento global. Atualmente, o consumo responde agora por 23% do consumo global de energia (BP Energy, 2016).

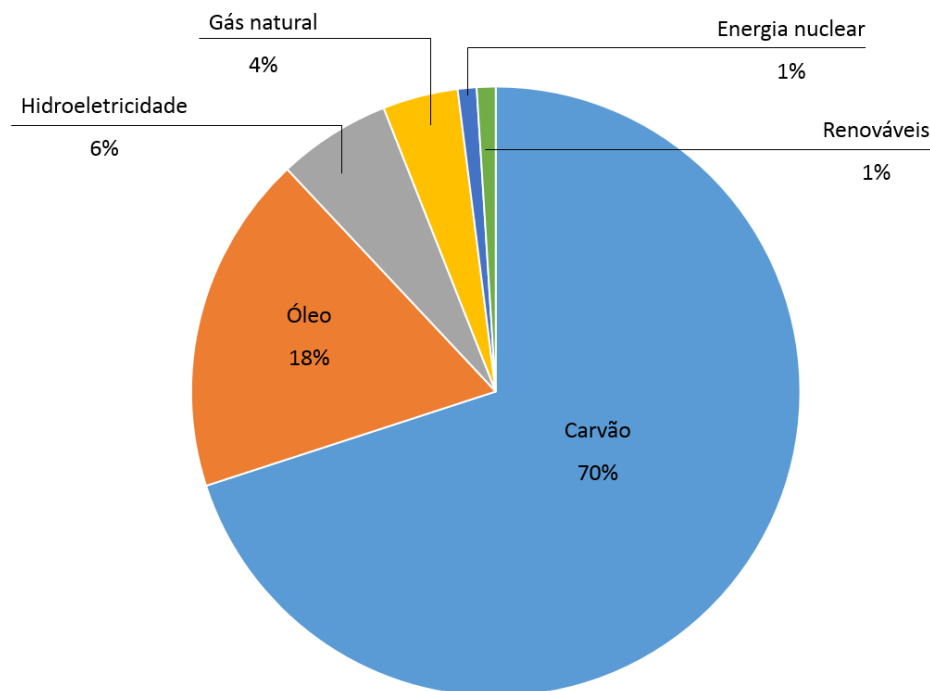


Figura 18: Perfil de energia primária na China.

Fonte: Adaptado de BP GLOBAL, 2015.

Os custos econômicos associados com a tecnologia de energia elétrica também influenciam a dinâmica do mercado de energia chinês. A dependência do carvão para produção de eletricidade tem contribuído para níveis indesejáveis de poluição atmosférica. Além disso, o transporte de carvão em direção aos centros produtores de energia congestionam as redes ferroviárias resultando em atrasos nos transportes e aumento dos custos para outros produtos transportados. Em 2007, 1220.8 milhões de toneladas de carvão foram enviadas em uma média de 607 km / tonelada ao longo das artérias ferroviárias, compreendendo 46,7% de todas as mercadorias transportadas por via ferroviária na China. Quando não existia alternativas tecnológicas economicamente viáveis para carvão e energia hidrelétrica em grande escala, os impactos negativos foram considerados inevitáveis. Cada vez mais, a China tem aplicado incentivos financeiros na área energética, perdendo apenas para a Grã-Bretanha em termos de incentivos para reduzir a poluição causada pela geração de eletricidade (VALENTINE, 2014).

Em relação à energia a partir de biomassa destaca-se a região de Sichuan, uma das principais províncias agrícolas na China. A indústria agrícola corresponde a 12,4% do PIB de Sichuan de 2014, ficando em primeiro lugar nas províncias do Sudoeste em sétimo lugar na China. Além disso, Sichuan é rica em recursos florestais com uma taxa de cobertura florestal de 35,3%, ficando em sexto na China (FENG, 2012).

Com base na abundante fonte de biomassa e a indústria agrícola bem desenvolvida, a energia de biomassa em Sichuan possui um grande potencial de desenvolvimento. Os recursos de biomassa primários incluem principalmente palha, subprodutos da silvicultura, resíduos sólidos urbanos, e florestal. No entanto, as avaliações quantitativas de recursos de biomassa em Sichuan são raras e ainda nenhum sistema de investigação estatística relacionada foi desenvolvido. Dada à grande quantidade de recursos de palha e às políticas de incentivo, o governo de Sichuan planeja construir 27 projetos de geração de energia a partir da palha com uma capacidade instalada de 820 MW. Além disso, aproximadamente 60 MW de projetos de energia de resíduos urbanos também estão planejadas em torno das cidades metropolitanas. No entanto, projetos de geração de energia em Sichuan encontram obstáculos significativos. Desde 2008, a *Wuhan Kaidi Yangguang Corporation* tem investido em oito usinas de processamento energético de palhas ao longo de Sichuan. Devido às diferenças na escolha do local, coleta de matérias-primas e exportação de eletricidade, o cronograma de construção se encontra abaixo das expectativas. Alguns dos projetos não conseguiram iniciar a construção durante o período de validade dos documentos de aprovação, e alguns deles foram abandonados durante a fase de estudo de viabilidade. Até o final de 2014, apenas um projeto em Jiangan estava em operação com uma capacidade instalada de 25 MW, enquanto os restantes estão ameaçados. O desenvolvimento de geração de energia a partir de resíduos urbanos foi mais fácil em comparação. Até o final de 2014, haviam quatro projetos de energia oriunda de lixo em Chengdu e Dazhou com uma produção combinada de 128 MW. Outros cinco projetos estavam em construção representando 60 MW (HU *et al.*, 2016).

A geração de energia de biomassa da China baseia-se principalmente na combustão direta de palha e sobre a incineração de resíduos, conforme pode ser visto no Quadro 3. As províncias de Jiangsu e Shandong têm uma capacidade instalada maior de geração de energia de biomassa e atualmente existem mais de 100 grandes usinas de queima de biomassa direta em toda a China. Existem sete grandes grupos de geração de energia de biomassa, que são: o National Energy Group, a *China Light and Power Company*, a *Datang Corporation*, a *China Energy Conservation and Environmental Protection Group*, a *China Huadian Corporation*, a *Jiangsu Guoxin Investment Group* e a *Huaneng Group China*. (ZHAO *et al.*, 2016).

Quadro 3: Principais usinas de biomassa em atividade na China.

<i>Empresa</i>	<i>Categoria</i>	<i>Capacidade instalada (Mw)</i>	<i>Geração de energia anual (10⁹ kwh)</i>
<i>Wangkui bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	25	2.75
<i>Shanxian bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	25	2.29
<i>Shenzhen nanshan waste refuse power station</i>	Incineração de rejeitos	12	0.9
<i>Meihekou bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	50	3.5
<i>Hongze biomass thermal power</i>	Combustão direta de palha	15	1.0
<i>Awati bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	12	0.8
<i>An'qing biomass power co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	30	1.95
<i>Suqian straw-fired biomass power demonstration projects</i>	Combustão direta de palha	24	1.56
<i>Suzhou biomass power co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	25	1.56
<i>Sheyang bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	25	1.5
<i>Rudong biomass power co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	25	1.5
<i>Yitong biomass power co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	30	1.8
<i>Changchun biomass thermal power co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	30	1.8
<i>Haikou new energy power co. Ltd.</i>	Incineração de rejeitos	24	1.4
<i>Chifeng bio-energy co. Ltd.</i>	Combustão direta de palha	50	2.75
<i>Dongguan kewe energy power co. Ltd.</i>	Incineração de rejeitos	36	1.96
<i>Yunnan shuangxin energy power co. Ltd.</i>	Incineração de rejeitos	30	1.5
Total	-	468	30.52

Fonte: Adaptado de ZHAO *et al.*, 2016.

Um dos problemas enfrentados na utilização da biomassa na China é o armazenamento do combustível, pois o volume é muito grande e empresas não são capazes de garantir os fornecimentos de combustível através de contratos de fornecimento a longo prazo

Várias políticas foram introduzidas desde 2006, especialmente a conexão obrigatória à rede e de tarifas dos subsídios, o que têm promovido a investimento e desenvolvimento de energia de biomassa. Estas políticas eliminam as barreiras para a ligação à rede, e traz benefícios aos empreendimentos de geração de energia de biomassa (ZHAO *et al.*, 2011).

Empresas de geração de energia a partir de biomassa ainda esperam apoio de uma política industrial que as dê suporte, a fim de melhorar sua competitividade no mercado. Há um consenso que a política nacional industrial precisa sofrer melhorias. No entanto, para continuar com os subsídios, a geração não pode ser um processo ineficaz o que a longo prazo pode criar conflitos ao mercado. A energia de biomassa vem encontrando dificuldade para competir com outras fontes de energia renováveis e convencionais como os combustíveis fósseis, já que o crescimento da indústria é fortemente dependente de políticas governamentais favoráveis (ZHAO *et al.*, 2016).

Apesar destes esforços, a utilização de biomassa ainda é escassa. O grande gargalo encontrado na China na utilização de fontes renováveis está pautado na distância entre os centros produtores e as grandes termoelétricas, tornando o transporte muito oneroso. Outro problema enfrentado versa sobre a integração de novas unidades produtoras as linhas já existentes, devido à distância das cidades grandes, onde a demanda por energia elétrica é maior.

4.2 PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

Atualmente, o destaque mundial do Brasil como potência energética e ambiental é uma realidade cada vez mais concreta. O país é abundante em alternativas de produção energética das mais variadas fontes. A capacidade de produção em larga escala e a oferta de matéria-prima são exemplos para diversos países. Estudos bastante otimistas sinalizam que a matriz energética brasileira continuará a ser um exemplo para o mundo nos próximos dez anos, por possuir predominância cada vez maior das fontes renováveis de energia, como hidráulica, eólica, etanol, biomassa, entre outras (TOLMASQUIM, 2012).

O sistema elétrico brasileiro, baseado em energia hidráulica, como dito anteriormente, impõe que as usinas térmicas devam permanecer desligadas nos períodos onde há abundância hidrológica. Devido à capacidade de acumulação plurianual dos reservatórios, as térmicas

tendem a permanecer desligadas por longos períodos. Esse regime operacional é designado complementar (PNE, 2007).

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro em janeiro de 2016 foi de, aproximadamente, 141 mil MW. Esse total abrange não apenas as unidades geradoras do SIN, mas também conta com aquelas instaladas nos sistemas isolados e a autoprodução clássica, não incluindo a parcela de importação da UHE Itaipu (MME/EPE, 2016). A Figura 19 mostra a capacidade instalada de geração para cada tipo de fonte.

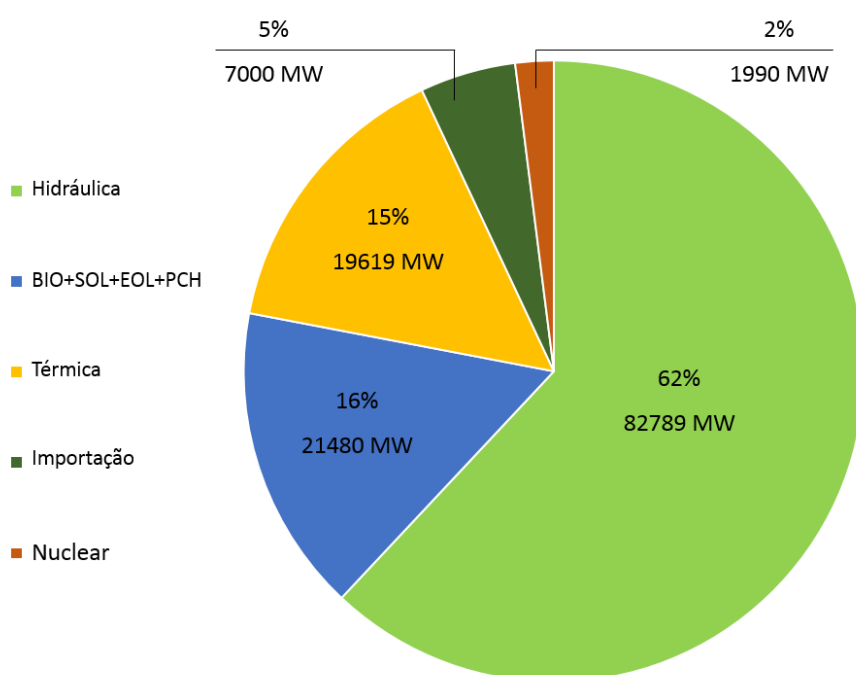


Figura 19: Capacidade instalada de geração por tipo de fonte em dezembro de 2014.

Fonte: Adaptado de MME/EPE, 2015.

Em 2014, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) atingiu o valor de 624,3 TWh, valor 2,1% superior ao de 2013 que foi de 611,2 TWh. Como fonte energética, merecem destaque a oferta por eólica com aumento de 85,6%, 43,4% por óleo, e de 30,9% por lixívia e outras renováveis. A geração por gás natural e carvão, complementar ao sistema interligado, tiveram um aumento de 17,5% e 24,2%, respectivamente. No uso de biomassa, o maior destaque foi para a geração a partir do bagaço de cana-de-açúcar, com crescimento de 8,1% em 2014. O setor sucroalcooleiro gerou cerca de 32,3 TWh em 2014, com 19,1 TWh designado ao mercado e 13,2 TWh ao consumo próprio. Com esses valores, a geração por bagaço de cana-de-açúcar representa 70% da geração total por biomassa, sendo os outros 30%

restantes, gerados principalmente, pela indústria de papel e celulose, com a utilização de lenha, resíduos de árvores e lixo (MME, 2015). O Quadro 4 mostra a evolução da capacidade instalada para cada fonte de geração até 2020 no Brasil e o Quadro 5 traz a estimativa do conteúdo energético primário da biomassa agrícola, agroindustrial e da silvicultura no Brasil até 2030.

Quadro 4: Evolução da capacidade instalada por fonte de geração no Brasil.

<i>Fonte</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>
	<i>MW</i>					
<i>Renováveis</i>	<i>118.380</i>	<i>127.866</i>	<i>135.486</i>	<i>142.972</i>	<i>145.177</i>	<i>145.560</i>
<i>Hidro</i>	86.540	92.152	96.587	101.354	102,04	102.115
<i>Importação</i>	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
<i>Biomassa + Eólica + PHC + Solar</i>	24.840	28.714	31.899	34.618	36.137	36.445
<i>Não renováveis</i>	<i>21.913</i>	<i>22.082</i>	<i>22.092</i>	<i>22.493</i>	<i>26.714</i>	<i>28.230</i>
<i>Urânio</i>	1.990	1.990	1.990	1.990	3.395	3.395
<i>Gás natural</i>	11.317	11.486	12.026	12.427	14.903	16.419
<i>Carvão</i>	3.064	3.064	3.064	3.064	3.404	3.404
<i>Óleo combustível</i>	3.586	3.586	3.201	3.201	3.201	3.201
<i>Óleo diesel</i>	1.269	1.269	1.269	1.124	1.124	1.124
<i>Gás de processo</i>	687	687	687	687	687	687
<i>Total</i>	<i>140.293</i>	<i>149.948</i>	<i>157.578</i>	<i>165.465</i>	<i>171.891</i>	<i>173.790</i>

Fonte: Adaptado de MME, 2015.

Quadro 5: Estimativa do conteúdo energético primário da biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural no Brasil (10⁶ bep/dia) ⁽⁴⁾.

	2005	2010	2015	2020	2030
Total	4,24	5,68	6,93	8,22	10,81
Resíduos agrícolas	3,54	4,70	5,70	6,71	8,88
<i>Soja</i>	1,25	1.159	2,03	241	3,24
<i>Milho</i>	143	2,05	2,48	2,94	3,95
<i>Arroz (palha)</i>	0,42	0,43	0,46	48	0,51
<i>Cana-de-açúcar (palha)</i>	44	0,53	0,74	188	148
Resíduos agroindustriais	0,59	0,71	0,95	1,13	1151
<i>Cana-de-açúcar (bagaço)</i>	0,46	0,55	0,76	0,90	1,21
<i>Arroz (casca)</i>	102	0,02	0,02	0,02	0,02
<i>Lixívia ⁽¹⁾</i>	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20
<i>Madeira ⁽²⁾</i>	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09
Florestas energética	0,11	0,27	0,28	0,38	0,41
<i>Madeira excedente ⁽³⁾</i>	0,11	0,27	0,28	38	0,41

Fonte: PNE, 2007.

Notas: (1) Licor negro com concentração entre 75% e 80% de sólidos secos.

(2) Resíduos de madeira da indústria da celulose: lenha, resíduos de madeira e casca de árvores.

(3) Representa a diferença entre a quantificação teórica da produção potencial nas áreas ocupadas pela silvicultura e o consumo de madeira em tora para uso industrial.

(4) 1.0 barril equivalente de petróleo contém 5,95 Giga Joules de energia (1 bep = 5,95 GJ).

A partir do Quadro 5 fica evidente o expressivo potencial brasileiro não explorado para geração de energia a partir de biomassa. A estimativa de 2015 mostra que com os resíduos gerados seria possível produzir energia equivalente a 6,93 milhões de bep/dia, que convertido em para energia elétrica, chegaria a 11 TWh/dia, podendo chegar a geração de até 4000 TWh/ano valor que teria capacidade sustentar o sistema elétrico brasileiro que produz aproximadamente 500 TWh de eletricidade anualmente. Com esse potencial o Brasil pode, além de impulsionar o desenvolvimento sustentável da agricultura, tornar as agroindústrias um sistema autossuficiente em termos energéticos.

4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como citado anteriormente o Brasil possui um variado potencial para sua matriz energética, sendo o país com maior capacidade de expansão do sistema hidroelétrico. Comparativamente ao cenário mundial o Brasil tem uma posição de destaque, pois além das possibilidades de geração, pode chegar a posição de produtor independente, não dependendo de importação de energia ou gás natural, caso seja melhor utilizado seus outros recursos renováveis.

Em relação a China, o Brasil ainda mesmo possuindo grande variedade de biomassa não a utiliza da forma que poderia, e a China possui vários investimentos em fontes alternativas de energia. O Brasil, porém, leva vantagem em seus sistemas já implementados que, apesar de não alcançar o potencial gerador consegue produzir considerável quantidade de energia elétrica. Estes empreendimentos serão mais detalhados no capítulo 5.

5 PRODUÇÃO DE ARROZ ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE ENERGIA

O arroz é considerado pela Organização Mundial de Alimentação e Agricultura (FAO) como um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana. Ele tem um papel fundamental não apenas na luta contra a fome, mas também para a geração de emprego e renda a milhões de pessoas. A sua produção nacional e mundial será abordada neste capítulo, bem como seu principal resíduo, a casca e os países onde já se encontram projetos para seu aproveitamento energético, o potencial de geração brasileiro e chinês considerando-se a safra estimada de arroz para 2016 e serão descritas as possibilidades para a destinação das cinzas geradas na queima da casca de arroz.

5.1 PRODUÇÃO DE ARROZ NO MUNDO

O arroz é cultivado em todo o planeta, com destaque em primeiro lugar para o continente asiático, com uma produção equivalente a 90% da mundial. Em segundo lugar encontra-se o continente americano com 6%, o africano, com 4%, o europeu, com 0,6% e a Oceania, com uma inexpressiva produção, em que somando a produção da Austrália, Melanésia e Micronésia chegam a uma produção de 287 mil toneladas. Na Ásia, encontram-se os oito maiores produtores mundiais de arroz. Em 1º lugar está a China, seguida pela Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnam, Myanmar, Tailândia e Filipinas. A China participa da produção mundial com o equivalente a 29% e 32% da produção asiática, e a Índia segue com 20% e 22%, respectivamente (EMBRAPA, 2014).

O Brasil está posicionado em nono lugar na produção mundial, com uma produção correspondente a 1,8%. No continente Americano, o arroz possui grande importância econômica e social. Com uma produção de 28 milhões de toneladas de arroz, a América Latina e Caribe representam 4,1% da produção mundial, onde o Brasil se destaca com 45% dessa produção. Na América do Norte, o arroz é produzido apenas nos Estados Unidos, onde sua produção é em torno de sete milhões de toneladas. O quadro 6 contém os principais produtores mundiais de arroz e suas produções entre os anos de 2013 e 2016 (EMBRAPA, 2015).

Quadro 6: Produtores mundiais de Arroz e suas produções (em milhões de toneladas) – 2013 a 2016.

<i>Países</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016/agosto</i>
<i>China</i>	143	142,5	144,6	145,8
<i>Índia</i>	105,2	106,6	104,8	100
<i>Indonésia</i>	36,6	36,3	35,6	36,3
<i>Bangladesh</i>	33,8	34,4	34,5	34,6
<i>Vietnã</i>	27,5	28,2	28,2	28,2
<i>Tailândia</i>	20,2	20,5	18,8	15,9
<i>Burma</i>	11,7	12	12,6	12,2
<i>Filipinas</i>	11,4	11,9	11,9	11,5
<i>Brasil</i>	8	8,3	7,9	8,5
<i>Japão</i>	7,9	7,9	7,8	7,9
<i>Outros</i>	67,3	69,9	70,9	69,2
<i>Total</i>	472,8	478,4	478,1	469,5

Fontes: Adaptado de AIREA, 2015; World rice production, 2016, USDA, 2016.

O arroz é considerado um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico. É o cultivo alimentar de maior importância em muitos países em desenvolvimento, com destaque na Ásia e Oceania, onde encontram-se 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de dois terços da população subnutrida mundial. É alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, até 2050, haverá uma demanda para atender ao dobro desta população (EMBRAPA, 2014).

5.2 PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL

O cultivo do Arroz é uma cultura comum em quase todo o país, porém a maior parte da produção ocorre em 5 estados. O Rio Grande do Sul, onde prevalece o arroz irrigado, concentrou cerca de 68,1% da produção na safra de 2014/15, seguido por Santa Catarina, com 8,5% da produção, Mato Grosso, 4,7%, Maranhão, 4,6% e Tocantins com 4,8% da produção nacional. No Nordeste, principalmente no estado do Ceará o arroz é irrigado e se concentra em perímetros de irrigação. Uma quantidade pequena é produzida também nos estados por onde o Rio São Francisco percorre, como BA, SE, AL e PE e essas áreas também recebem irrigação. Para a safra nacional de 2016, divulgada em agosto estima a produção esperada em 8,5 milhões de toneladas (MAPA, 2015; IBGE, 2016).

De acordo com os últimos dados disponibilizados pela Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (Secex/MDIC), em agosto de 2015, o Brasil importou 35,1 mil toneladas de arroz, das quais apenas 1,1 mil toneladas são provenientes de mercados não pertencentes ao Mercosul. Estes números apontam para uma redução do fluxo de produtos obtidos no mercado externo em relação ao último ano. Em agosto de 2014, essas aquisições foram de 60,1 mil toneladas, sendo 1,3 mil provenientes de outros países não pertencentes ao Mercosul. Em relação às exportações, ocorreu uma expansão significativa, ultrapassando as 79,6 mil toneladas de agosto/2014 para 117,3 mil toneladas em agosto/2015. Para a safra brasileira 2014/15 de arroz, a estimativa para a produção foi 2,7% superior em relação à safra 2013/14, atingindo 12.448,6 mil toneladas. Essa expansão da produção ocorre principalmente devido ao aumento da produtividade graças à alta tecnologia a partir da exploração do sistema irrigado empregada no campo e a utilização de sementes pré-germinadas, técnica adotada em áreas sistematizadas onde as sementes, previamente germinadas, são lançadas em quadros nivelados e inundados. A Figura 20 mostra o mapa da produção agrícola de arroz até agosto de 2015 (CONAB, 2015).

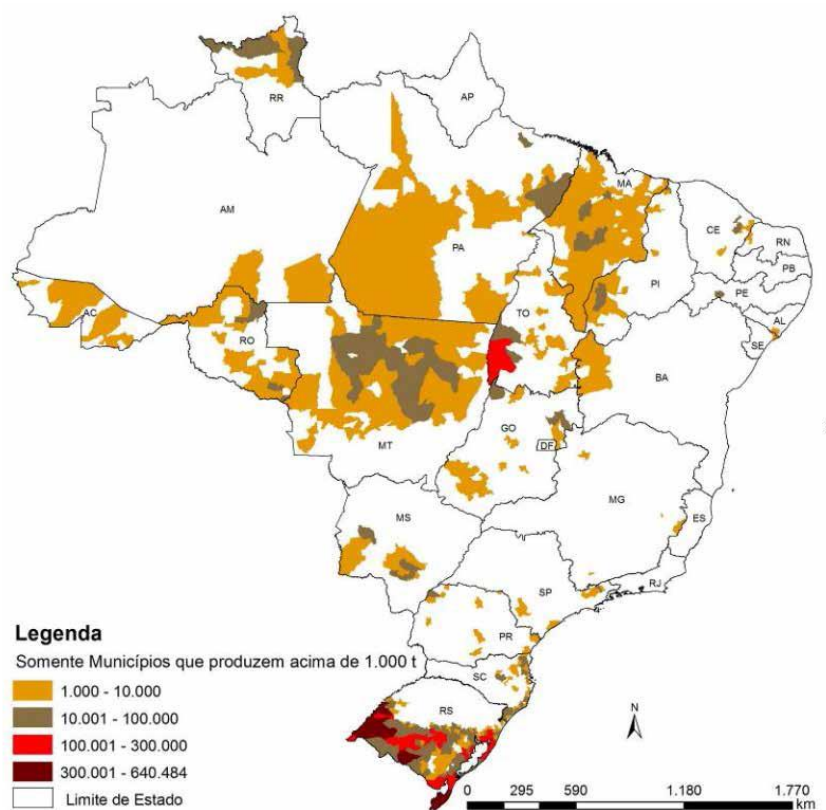


Figura 20: Mapa da produção agrícola nacional de arroz.

Fonte: CONAB, 2015.

De acordo com as estatísticas oficiais, o Brasil possui mais de 1.100 indústrias processadoras do cereal. Cerca de 70 indústrias são consideradas de médio e grande porte, e são responsáveis por abastecer 85% do mercado interno. Aproximadamente 40 empresas operam com exportação, conciliando a eficiência no processamento, oferta de variados produtos e capacidade logística para atender às diversas demandas. A indústria de arroz no Brasil é altamente qualificada, de alto padrão tecnológico e inovadora, com atenção no atendimento eficiente e diferenciado aos mais rigorosos padrões internacionais de fornecimento alimentício. O grão brasileiro possui alta qualidade, sendo um diferencial no comércio mundial, com presença estabelecida em mais de 70 países da África, América do Sul, Caribe, Oriente Médio, e Europa (BRAZILIAN RICE, 2015).

Para 2024/25 estima-se uma produção em torno de 13,3 milhões de toneladas, e 12,2 milhões de toneladas de consumo. Estima-se um aumento de 7,2% na produção de arroz para os próximos 10 anos. Esse crescimento na produção deverá ocorrer principalmente por meio da expansão do arroz irrigado. A projeção para a produção é relativamente baixa, mas se assemelha à projeção do consumo nos próximos 10 anos. A aparente estabilização estimada para o consumo do arroz, em 12,2 milhões de toneladas em 2024/25, está de acordo com os dados de suprimento da Conab nos últimos seis anos (MAPA, 2015).

5.3 A CASCA DE ARROZ

A casca de arroz é um material que caracteriza uma importante fonte de poluição nos grandes centros beneficiadores deste grão, já que praticamente todo esse material era disposto em lavouras e fundo de rios, com uma forma de descarte prejudicial e criminoso, causando problemas ambientais, que eram agravados quando o vento levava as cascas para outras áreas (HOFFMANN *et al.*, 2007). Porém, caso sejam reaproveitadas, as cascas podem passar da condição de transtorno para o de fonte energética, a partir da queima já na própria unidade beneficiadora (ISBALÃO, 2013).

O processo de beneficiamento do arroz gera como resíduo a casca de arroz (CA), que devido ao seu alto poder calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg) e custo praticamente zero, vem cada vez mais sendo utilizado como substituto à lenha empregada na geração de calor e de vapor, necessários para os processos de secagem e parbolização dos grãos. Mediante a queima da casca de arroz em fornalhas a céu aberto ou em fornos especiais com temperatura controlada,

é produzida a cinza de casca de arroz (CCA), denominada residual quando é obtida sem controle de temperatura e tempo de exposição (DELLA *et al.*, 2001).

A casca de arroz é um material de biomassa composto de polímeros idênticos aos da madeira, cuja dureza abrasiva é característica típica de materiais com um maior teor de lignina. Este material possui em sua composição uma grande quantidade de material inorgânico, cerca de 15 – 20% da massa do material, onde o SiO_2 responde por cerca de 95% deste total. Alguns óxidos também se mostram presentes em quantidades menores que 1% como: Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , MnO , Na_2O e P_2O_5 , entre outros (JÚNIOR, 2004). A Figura 21 ilustra as cascas de arroz.



Figura 21: Foto ilustrativa das cascas de arroz.

Fonte: WIKIENERGIA PORTUGAL, 2015

De acordo com os valores médios, a massa específica a granel da casca de arroz é de 101 kg/m^3 , a massa específica aparente é de 900 kg/m^3 e a massa específica absoluta é de 1400 kg/m^3 (AGOPYAN, 1991; SOUZA, 2012). Segundo Foletto (2005), a geração de energia pela queima da casca de arroz é uma alternativa executável do ponto de vista tecnológico, viável do ponto de vista econômico e ético do ponto de vista ambiental, já que a tecnologia de conversão é amplamente difundida, a matéria prima é abundante em várias regiões e todo CO_2 produzido na combustão é reincorporado na biosfera terrestre, por meio do ciclo biogeoquímico de carbono. Implantar a conversão da casca, adjacente ao local de beneficiamento do arroz torna-

se extremamente importante. Transportar a casca de arroz se torna uma etapa altamente problemática, pois, devido à sua baixa densidade, o volume do resíduo é muito grande e seu deslocamento não seria economicamente vantajoso (ROCHA, PÉREZ e CORTEZ, 2004).

A CCA é um resíduo que não é produzido diretamente no processo de beneficiamento, mas sim durante a geração de calor nas fornalhas usadas para os secadores dos engenhos de arroz. Durante a geração de energia pela combustão direta, tem-se a CCA como resíduo, contendo até 15% de seu peso de carbono residual. Caso seja utilizada, direta ou indiretamente, para fins comerciais, pode-se fechar ciclo da industrialização do arroz, possibilitando o total aproveitamento da matéria-prima originária da lavoura, pois o farelo, o gérmen e outras partes possuem destinação no mercado (ISBALÃO, 2013).

5.3.1 Panorama Mundial da Geração de Energia Elétrica a Partir da Utilização da Casca do Arroz

Com o crescimento da consciência pública relacionada ao desenvolvimento sustentável, a utilização de recursos renováveis encontra-se em ascensão. Com relação aos problemas com os combustíveis fósseis, a biomassa é amplamente reconhecida como uma das alternativas mais importantes.

Uma das plantas mais amplamente cultivadas no mundo é o arroz, com produção de cerca de 700 milhões de toneladas por ano. O arroz é, atualmente, a terceira cultura mais produzida no mundo ficando atrás apenas da cana-de-açúcar e o milho. Cascas de arroz são conhecidas entre os resíduos agrícolas pelo seu baixo percentual de proteínas e carboidratos disponíveis e alta porcentagem de cinzas contendo, principalmente, sílica. A composição exata de casca de arroz, que influencia a sua análise, depende de muitos fatores, como as condições climáticas e de cultivo (BAZARGAN *et. al.*, 2015). Sendo a Ásia o continente com a maior produção de arroz no mundo, é natural que os mais variados tipos de pesquisa sejam efetuados principalmente na China e Índia. As principais pesquisas encontradas em 2014 e 2015 tratam da utilização da casca de arroz para obtenção de sílica, utilização das cinzas na indústria de concreto e produção de carvão ativado. Porém algumas pesquisas na área de geração energética se destacam e serão exemplificados a seguir:

5.3.1.1 Tailândia

Ueasin *et al.*, (2015) realizaram um estudo sobre a eficiência técnica da casca de arroz para geração de energia. Os autores destacam a tendência no aumento do uso de biomassa de casca de arroz para a geração de eletricidade por ano na Tailândia, devido aos programas de promoção do governo e ao aumento da consciência ambiental. A casca de arroz tem um elevado potencial de biomassa na Tailândia, devido a um sistema de processamento de arroz desenvolvido para recolher cerca de 90% de todas as cascas, com um pequeno custo adicional. A energia potencial estimada de casca de arroz corresponde, anualmente, a cerca de 23×10^6 toneladas equivalentes de petróleo (TEP). O trabalho mostrou potencial na geração de bioeletricidade, mas alerta que governo daquele país deve aumentar os investimentos, a fim de reduzir os custos de produção e aumentar a capacidade de geração no futuro próximo. Uma vez que o investimento de capital inicial para a geração de biomassa de casca de arroz é alto, a pesquisa e desenvolvimento é uma estratégia útil para melhorar a eficiência técnica, bem como para sustentar a geração de energia elétrica (UEASIN, *et al.*, 2015).

5.3.1.2 Camboja

PODE *et al.* desenvolveram um estudo de caso para levar energia elétrica às áreas rurais do Camboja partindo da gaseificação da casca do arroz, em uma parceria entre a Coreia do Sul e a Índia. O Camboja é um dos países menos desenvolvidos do mundo, possuindo uma taxa de produção de eletricidade de apenas 24%. Existem mais de 11 milhões de pessoas no país que suprem suas necessidades com o uso de baterias de automóveis carregadas, querosene e velas. Há um grande lapso entre a área urbana e rural no tocante ao acesso à eletricidade. Cerca de 70% das pessoas sofrem de falta de fornecimento de energia elétrica, principalmente nas zonas rurais. Usinas termelétricas a diesel são as principais usinas de geração de eletricidade, contribuindo com cerca de aproximadamente 93% da eletricidade gerada no Camboja; equivalente a mais de 1 GWh de energia. As usinas hidrelétricas e térmicas a carvão seguidas das usinas diesel/HFO, representam apenas pequenas contribuições. De acordo com dados de 2007 a produção de arroz, gerou 1,8 milhões de toneladas de casca de arroz em todo o Camboja. Se a tecnologia de gaseificação de biomassa se espalhasse em todo o país e, toda a casca de arroz disponível fosse utilizada, o Camboja poderia gerar cerca de 1, 377 GWh de eletricidade anualmente. Em 2014 a eletrificação rural em muitas aldeias foi realizada com gaseificadores de pequena escala, empregando cascas de arroz, fornecendo uma solução sustentável para

melhorar o acesso à energia e, ao mesmo tempo, garantir um baixo custo do kWh. A maioria das usinas baseadas em arroz no Camboja são de pequena escala e produzem entre 5 e 30 toneladas de arroz, gerando o suficiente de casca de arroz para fornecer energia para o funcionamento do moinho, bem como iluminação de casa (PODE *et al*; 2015).

5.3.1.3 China

O uso de biomassa para fins de obtenção de energia em larga escala na indústria chinesa é atualmente limitada ao Setor de celulose e papel. Em 2030, estima-se que a biomassa e seus resíduos poderiam ser responsáveis por até um quinto do processo de energia necessária para produzir clínquer³, um dos processos que representam a maior cota energética na indústria da China. Biomassa utilizada na produção de vapor e calor se encontra com 5% da procura total de combustível na indústria (IRENA, 2015).

A biomassa na China é uma grande fonte de energia, devido à enorme população rural. Estima-se que 80% da energia proveniente de biomassa está localizada nas áreas rurais com o resíduo da colheita como principal fonte. Cerca de 4×10^9 toneladas de resíduos de culturas e de madeira são queimados usando fogões nas zonas rurais. O governo chinês está dando passos para desenvolver as energias renováveis nas zonas rurais, e dado que a biomassa como energia já está bem estabelecida, o governo desse país está com um foco para um maior desenvolvimento e uma maior eficiência do uso da biomassa tradicional (IRENA, 2015).

Embora muitos desses programas e planos tenham sido úteis no desenvolvimento da biomassa na China, ainda há um grande potencial inexplorado. Assim, a gaseificação de biomassa e geração de energia têm um mercado potencial a ser explorado. Devido ao preço baixo de resíduos de biomassa e da falta de geração de energia eficiente na China rural, onde a oferta de resíduos de biomassa é grande, torna a sua utilização economicamente atraente. Em estudo recente foi constatado que o custo de capital da unidade de gaseificação de biomassa e geração de energia corresponde a 60-70% do custo das centrais elétricas a carvão, sendo os custos operacionais muito inferiores aos das centrais térmicas convencionais (MEISEN, HAWKINS, 2015). Ainda, segundo os autores, recomenda-se o desenvolvimento de plantas de médio porte com capacidade de geração de 1000 a 5000 kW (1-5MW)

³ Escória de fornos siderúrgicos.

Utilizando a casca do arroz para produção de energia, a China tem desenvolvido trabalhos na área de gaseificação da biomassa, ou a partir do carvão gerado por biomassa. Os projetos de geração de energia a partir da combustão direta são principalmente projetos de demonstração. Tais projetos envolvem a aprovação, construção, ligação à rede, verificação e licenciamento. No entanto, atualmente na China não existem regulamentos especializados para esses procedimentos. Como resultado, o processo de projetos e atividades de investimento são afetados. Apesar de ter recursos abundantes e enorme potencial de mercado, a geração por queima direta enfrenta falta de investimentos pois, sem um sistema abrangente de política ou padrões da indústria, o risco de investimento é muito alto devido ao complexo modelo de operação (XIN-GANG, *et al.*, 2015).

5.4 TERMOELÉTRICAS A BASE DE BIOMASSA NO BRASIL

Segundo levantamento realizado pela ANEEL, em 2016 se encontram em atividade 517 usinas que utilizam como combustível a biomassa. Dentro desse panorama, a fonte mais importante tem sido o bagaço de cana-de-açúcar, representando cerca de 76% das usinas termelétricas a base de biomassa, tanto em termos de quantidade de usinas como em termos de potência instalada. Em seguida vem os resíduos agrofloretais com 9% de usinas instaladas, seguido do biogás com 6%, licor negro com 3% e a casca de arroz com aproximadamente 2%. Os 4% restantes estão divididos entre termelétricas que tem como base o gás de alto forno com nove usinas em funcionamento, carvão vegetal com sete, capim elefante com três e por fim duas unidades que funcionam a base de óleos vegetais. Os valores estão descritos na figura 22. A potência total dessas usinas é de 13.249.323,65 kW (BIG, 2016).

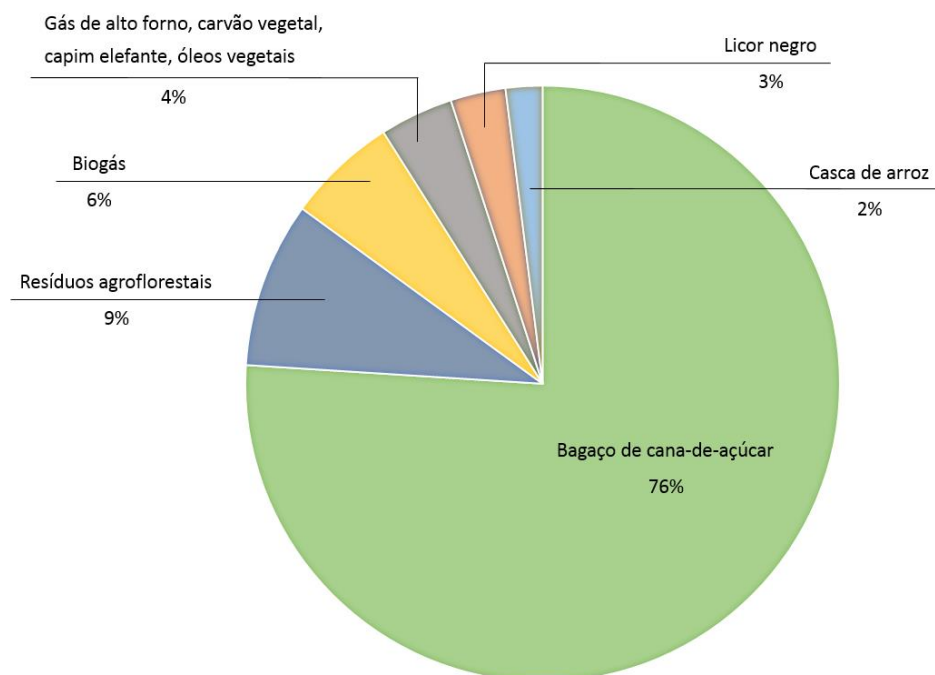


Figura 22: Porcentagem de cada biomassa utilizada no Brasil para geração de energia.

5.4.1 Empresas Geradoras de Energia a Base de Casca do Arroz

A seguir estão listados todos os empreendimentos, em atividade, que utilizam a casca de arroz como combustível. Os dados foram obtidos na página eletrônica da ANEEL e foram atualizados em 27/08/16. No total são 10 empresas com 12 usinas termoelétricas em funcionamento, somando um total de 45.333 kW de potência instalada.

5.4.1.1 CAMIL Alimentos S/A

A Cooperativa Agrícola Mista Itaquense Ltda. (Camil) foi fundada em 1963 na cidade de em Itaquí, RS, na região de fronteira com a Argentina, iniciando suas operações com um armazém de 2.700 m², comercializando arroz em sacos e outros cereais. Tornou-se líder de mercado em São Paulo nos anos 80 devido a eficiência logística e comercial em suas operações. Atualmente, a CAMIL é a segunda maior beneficiadora de arroz do Rio Grande do Sul, possuindo um projeto de geração de eletricidade a base de biomassa chamada CAMIL Camaquã, utilizando a queima de cascas de arroz para a geração estável e contínua de energia térmica e elétrica, com a finalidade de abastecer a própria unidade da CAMIL Alimentos S.A. de Camaquã (PTZ Bioenergy, 2016).

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, a CAMIL possui duas termoelétricas instaladas no Rio Grande do Sul, na cidade de Itaquí e em Camaquã. As termoelétricas possuem a potência instalada, respectivamente, de 4200 e 4000 kW, representando 0,0058% da capacidade total do País.

5.4.1.2 Urbano Agroindustrial Ltda.

A Urbano Agroindustrial Ltda. é uma empresa de moagem de arroz instalada no Estado de Santa Catarina. Foi fundada em 1960 por Urbano Franzner, e se encontra entre as maiores e mais importantes empresas de alimentos do país, atuando no beneficiamento de Arroz, Feijão e Macarrão de Arroz. Durante seus 50 anos, a Urbano consolidou-se como uma das 3 maiores empresas de Arroz e Feijão do Brasil. Sua matriz está localizada na cidade de Jaraguá do Sul/SC, com filiais nas cidades de São Gabriel/RS, Meleiro/SC, Sinop/MT, Pouso Redondo/SC, Cabo de Santo Agostinho/PE, Guarulhos/SP e Ponta Grossa/PR, ocupando 90 mil m² de área construída e, possui mais de 850 colaboradores diretos. Com tecnologia de última geração, suas unidades podem produzir mais de 45 mil toneladas de alimentos por mês e armazenar mais de 320 mil toneladas de arroz em casca e feijão (URBANO, 2016).

A Urbano Agroindustrial Ltda. possui duas termoelétricas em funcionamento, no Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. A potência das termoelétricas em funcionamento é de 1200 e 2200 kW respectivamente. Esses valores representam 0,002% da capacidade total do País em 2016.

5.4.1.3 Sílica Verde do Arroz Ltda.

Faz parte do grupo Pilecco Nobre composto pelas empresas Pilecco Nobre Alimentos Ltda., Agropecuária Pilecco Ltda., Transportadora Pilecco Ltda. e Sílica Verde do Arroz Ltda. A Sílica Verde do Arroz Ltda., produz energia elétrica renovável e sílica para utilização no mercado da construção civil, a partir da biomassa casca de arroz, que até então era tratada apenas como resíduo industrial na atividade da empresa. Essa atividade tornou o Grupo Pilecco Nobre autossustentável em energia, e o excedente da produção é repassado a concessionária local. Seu produto denominado Sílica Nobre® pode ser utilizado como adição/substituição do cimento em dosagens de concreto e artefatos a base de cimento com ganhos significativos de propriedades (PILECCO NOBRE, 2016).

A Sílica Verde de Arroz Ltda. possui uma unidade termoelétrica localizada no Rio Grande do Sul, na cidade de Alegrete. Possui a potência de 4900 kW, representando 0,0034% da capacidade do País.

5.4.1.4 UTE Iguaçu Borja Energética Ltda.

A Usina Termoelétrica de São Borja, a base de casca de arroz, é a maior unidade geradora do país com este combustível. O empreendimento é uma das maiores obras dos últimos anos, localizado na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul. Foi investido um total de 65 milhões de reais, com capital alemão, tendo à frente um dos maiores fundos privados da Alemanha, *MPC Münchmeyer Petersen Capital GmbH & Co*, com sede na cidade de Hamburgo. Este é o primeiro investimento em energia renovável com uso da casca de arroz na América do Sul deste grupo. A Unidade Termoelétrica possui capacidade equivalente ao abastecimento de uma cidade de 80.000 habitantes. Para seu funcionamento serão necessárias 96.000 toneladas/ano de casca de arroz para operar com sua capacidade plena. O município de São Borja é um grande polo de beneficiamento de arroz no RS. Atualmente beneficia 10 milhões de sacas de arroz, tendo um enorme passivo ambiental com a casca de arroz. A termoelétrica contribui para um destino ambientalmente correto a este resíduo, o que agrega valor a este subproduto por meio da geração de energia. As cinzas geradas com a queima da casca (20%), tem como destino indústrias de cimento, de borracha e fertilizantes (REVISTA DIGITAL, 2016).

Com uma unidade instalada, a UTE possui a potência de 12500 kW correspondendo a 0,0088% da capacidade do País.

5.4.1.5 Rical Alimentos

A Rical Alimentos atua no beneficiamento de arroz em Rondônia, possuindo quatro polos, instalados nas cidades de Ji-Paraná, Arquimedes, Vilhena e Cerejeiras. A empresa não disponibiliza dados sobre seu empreendimento energético e a UTE possui a potência de 2288 kW, o que corresponde a 0,0016% da capacidade do País.

5.4.1.6 Indústria e Comércio de Arroz Fumacense Ltda.

Criada em 1970 a Kiarroz, instalada no município de Morro da Fumaça, no Sul de Santa Catarina, foi resultado de uma parceria entre os empresários José Henrique Mezzari e Silvino Dagostin, que criaram a Cerealista Fumacense. Na época, a empresa funcionava em instalações de uma antiga indústria, na rua principal do município. Sua fundação marcou o início do movimento econômico na cidade, sendo o processamento do arroz uma das primeiras atividades. Como forma de economizar energia, agilizar o processo produtivo e respeitar o meio ambiente, a empresa dispõe de uma geração própria da quantidade de energia que consome, destacando-se como pioneira nessa tecnologia na região sul de Santa Catarina. O processo se dá pela queima da casca do arroz e utiliza o total de 132 toneladas de casca de arroz por mês. Os resíduos gerados são destinados à extração da sílica ou a indústrias cimenteiras do Estado de São Paulo (KIARROZ, 2016).

A empresa possui uma unidade termelétrica no estado de Santa Catarina com potência de 1200 kW representando 0,0008% da capacidade do País.

5.4.1.7 SLC Alimentos Ltda.

A SLC Alimentos atua no setor de industrialização e comercialização de arroz e feijão desde dezembro de 2000 e possui unidades industriais em Alegrete/RS, Capão do Leão/RS, Paraíso do Tocantins/TO, Jaboatão dos Guararapes/PE e Tatuí/SP, além de Centros de Distribuição em Fortaleza/CE, Simões Filho/BA, Conceição do Araguaia/PA e Tatuí/SP. A SLC Alimentos se encontra entre as maiores empresas no mercado nacional de arroz e feijão e tem sua comercialização presente nas grandes redes de supermercados nacionais, atacados e distribuidores, redes regionais, varejo de pequeno e médio porte, além de food service e cestas básicas. De toda energia gerada por sua pequena central termelétrica, cerca de 10% dessa geração é usada para sustentar o funcionamento da própria usina. Do excedente, a metade abastece internamente a operação da empresa (proporcionando uma economia mensal de aproximadamente R\$ 280 mil) e o restante é vendido no mercado de energia elétrica. A empresa mantém uma parceria com a Universidade Federal de Pelotas a fim de desenvolver novos projetos sustentáveis. A obra de todo o complexo teve início em 2010 e contou com um investimento de R\$ 42 milhões (Grupo SLC, 2016).

A empresa possui uma central termoelétrica em funcionamento, com potência de 5800 kW o que representa 0,0041% da capacidade do País.

5.4.1.8 Engenho Coradini Ltda.

O Grupo Engenho Coradini teve início no ano de 1915 com a chegada de uma máquina a vapor (Locomóvel), importada da Alemanha e inicialmente, as atividades desenvolvidas foram: agricultura, engenho de serra, engenho de arroz colonial e pequena usina elétrica. A força motriz do complexo era gerada por roda d'água nos períodos de chuva normal e pela máquina a vapor em situações de seca. As atividades mantiveram-se neste perfil até o início dos anos 60, quando o foco se tornou a indústria de beneficiamento de arroz. O Engenho Coradini tem sua origem datada de 1955, fundado pela sociedade entre dois irmãos no 5º distrito de Cachoeira do Sul (RS), hoje município de Faxinal do Soturno. Acompanhando o desenvolvimento da lavoura arrozeira, o grupo econômico teve gradualmente sua estrutura aumentada, priorizando a mais avançada tecnologia existente no ramo e observando, paralelamente a preservação do meio ambiente e integração social (ENGENHO CORADINI, 2016).

A Engenho Coradini possui uma pequena central termoelétrica, com potência de 1200 kW no Rio Grande do Sul, e sua capacidade representa 0,0008% da capacidade do País.

5.4.1.9 Arevale Indústria e Comércio de Artefatos de Concreto Ltda.

Fundada em 1980, a Arevale inicialmente atuava na distribuição no setor de areia e pedra na região do Vale do Paraíba e São Paulo. A partir de 2004, implantou a fábrica de artefatos de concreto em Quiririm, Taubaté (SP). Em 2008 iniciou a 2ª linha de produção ampliando a variedade e a oferta de produtos. Em 2013 a Arevale implantou sua 1ª linha de produção 100% automatizada na Planta de Roseira (SP). A aquisição de equipamentos e tecnologia dos EUA ampliou significativamente a produção, além de realizar o lançamento de novas linhas de produtos na região. Com ênfase no alcance de eficiência nos processos, transparência nos resultados e redução de custos, a Arevale lançou, em 2016, sua primeira usina de cogeração de energia por meios renováveis. Com capacidade para atender até 20 mil residências (AREVALE, 2016).

A Arevale possui uma termoelétrica em funcionamento no estado de São Paulo com potência de 2000 kW, representando 0,0014% da capacidade do País.

5.4.1.10 Usina Termoelétrica CAAL

A Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., localizada no Rio Grande do Sul, é a 5ª maior beneficiadora de arroz gaúcha. Seu parque industrial recebe anualmente cerca de 3 milhões de sacas de arroz de seus 600 associados e beneficia mais de 3 milhões de fardos/ano. A CAAL possui uma capacidade de armazenagem superior a 3,4 milhões de sacos, contando com processos de produção altamente qualificados, começando pelo recebimento e expedição de produtos em balança eletrônica de precisão e controle de qualidade em laboratório.

Utilizando o principal resíduo do beneficiamento do arroz como combustível, a CAAL construiu a sua Usina Termoelétrica, com capacidade nominal instalada de 3,8 Megawatts representando 0,0026% da capacidade do País. A energia gerada pela Usina é equivalente ao suprimento de uma cidade de 40 mil habitantes, e consequente retirada de 45 mil toneladas de carbono do meio ambiente anualmente, podendo ser comparado à redução de gases do efeito estufa emitidos por cerca de 38 mil carros por ano.

A usina termoelétrica conta ainda com um eficiente sistema de filtração formado por um conjunto de 490 mangas filtrantes que controla e retém a emissão de gases e particulados resultantes da queima de casca de arroz.

A operação da Usina é toda automatizada, proporcionando segurança aos operadores e garantindo um fornecimento de energia de qualidade para a planta industrial da CAAL, que se tornou autossuficiente na produção de eletricidade, trazendo uma considerável economia mensal. A energia excedente gerada pela Usina Termoelétrica CAAL pode ser disponibilizada no Sistema Nacional para comercialização. Os resíduos resultantes da queima da casca, ou sejam, as cinzas, estão sendo utilizadas para recuperação de solos degradados (CAAL, 2015).

A Tabela 4 sumariza as principais informações pertinentes de cada empreendimento, sendo o destino da energia os seguintes: PIE - Produção Independente de Energia, APE - Autoprodução de Energia e REG – que ainda aguardam registro.

Tabela 4: Empreendimentos geradores de energia por casca de arroz.

<i>UTES</i>	<i>Potência Fiscalizada (kW)</i>	<i>Destino da energia</i>	<i>Proprietário</i>	<i>Porte da Empresa</i>	<i>Município</i>	<i>Destino dos resíduos da queima</i>
<i>Itaqui</i>	4.200	PIE	100% para Camil Alimentos	Grande	Itaqui RS	Aterro
<i>Urbano Sinop</i>	1.200	REG	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	Grande	Sinop MT	-
<i>Urbano São Gabriel</i>	2.220	REG	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	Grande	São Gabriel RS	-
<i>CAAL</i>	3.825	PIE	100% para Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda.	Grande	Alegrete – RS	Recuperação de solos degradados
<i>SVA</i>	4.900	REG	100% para Sílica Verde do Arroz Ltda.	NI	Alegrete RS	Produção de concreto
<i>São Borja</i>	12.500	PIE	100% para UTE IGUACU BORJA ENERGETICA Ltda.	NI	São Borja RS	Indústrias de cimento, borracha e fertilizantes
<i>Rical</i>	2.288	REG	NI	NI	Vilhena RO	-
<i>Camil Alimentos Camaquã</i>	4.000	REG	NI	Grande	Camaquã RS	Aterro
<i>Kiarroz</i>	1.200	REG	100% para Indústria e Comércio de Arroz Fumacense Ltda.	NI	Morro da Fumaça	Extração da sílica e indústria de cimento
<i>PCT SLC Alimentos</i>	5.800	APE	100% para SLC Alimentos Ltda.	Grande	Capão do Leão RS	Aterros, fertilizante
<i>Engenho Coradini</i>	1.200	REG	100% para Engenho Coradini	Pequeno	Dom Pedrito RS	-
<i>AREVALE</i>	2.000	REG	100% para Arevale Industria e Comercio de Artefatos de Concreto Ltda.	NI	Roseira SP	-

NI: Não identificado; PIE - Produção Independente de Energia, APE - Autoprodução de Energia e REG – que ainda aguardam registro

Fontes: Find the company, 2016; Jornal do comércio, 2015; PERS-RS, 2016.

5.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DA CASCA DO ARROZ

Como citado anteriormente a produção orizícola brasileira estimada no ano 2016 até agosto foi de aproximadamente 8,5 milhões de toneladas. A partir desse valor é possível calcular o potencial de MW/ano. O cálculo do potencial a partir da casca de arroz é realizado pela equação 1 obtida do Atlas de Bioenergia do Brasil (2016):

$$\text{Potencial MW/ano} = [(Ton. Arroz \times 0,3) \times PCI \times 0,15] 860 \times 8322 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

PCI: Poder Calorífico Inferior.

Para calcular o potencial deve-se considerar apenas a casca como resíduo agrícola aproveitável, que representa 30% do peso total do arroz com casca. O Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca é de 3300 kcal/kg (COELHO *et al.*, 2002), sendo a quantidade de calor (energia) liberada quando um material entra em combustão e os gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada. O valor de PCI corresponde somente a energia liberada na forma de calor. Para o cálculo considerou-se o uso de ciclos a vapor de pequeno porte com rendimento de 15%. A conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860.

Para efeito de cálculo, considerou-se que o sistema opera o ano todo com os resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8.322 horas de operação/ano. Dessa forma, de acordo com a equação 1, tem-se que:

$$\text{Potencial MW/ano} = [(Ton. Arroz \times 0,3) \times PCI \times 0,15] 860 \times 8322$$

$$\text{Potencial MW/ano} = [(8500000 \times 0,3) \times 3300 \times 0,15] 860 \times 8322$$

$$\text{Potencial MW/ano} = [(2550000) \times 495] 860 \times 8322$$

$$\text{Potencial MW/ano} = 1262250000 \times 7156920$$

$$\text{Potencial MW/ano} = 176,36$$

Com o total de casca de arroz produzido pelo Brasil no período determina-se a potência de 176,36 MW/ano. Este valor corresponde a uma produção energética de 1,54 TWh, que,

convertido em reais pelo valor divulgado em dezembro de 2016 geraria uma economia de R\$ 224,840 bilhões. Esta capacidade seria suficiente para abastecer 9,5 milhões de residências (BRIX, 2016; EPE, 2015; ENERGY UNITS, 2016).

A China produziu 146.8 milhões de toneladas de arroz até agosto de 2016, dado utilizado para calcular o potencial de geração energético (Eq.1) a seguir. Os valores para o ciclo a vapor e o tempo de operação considerado foram os mesmos utilizados para o Brasil.

$$\text{Potencial MW/ano} = [(Ton. Arroz \times 0,3) \times PCI \times 0,15] / 860 \times 8322$$

$$\text{Potencial MW/ano} = [(145800000 \times 0,3) \times 3300 \times 0,15] / 860 \times 8322$$

$$\text{Potencial MW/ano} = [(44040000) \times 495] / 7156920$$

$$\text{Potencial MW/ano} = [22156740000] / 7156920$$

$$\text{Potencial MW/ano} = 3045,97$$

Com o total produzido de casca de arroz na China estabelece-se uma potência 3045,97 MW ano, correspondendo a uma produção de 26,68 TWh, energia essa que pode ser de grande vantagem em localidades onde ocorre falta de energia como áreas rurais longe dos grandes centros urbanos. A China não tem dados precisos sobre a geração de energia utilizando apenas a casca do arroz, mas no Brasil a capacidade de geração é quatro vezes maior do que é atualmente gerado (ENERGY UNITS, 2016). A Tabela 5 compara os valores de energia dos dois países.

Tabela 5: Comparação da capacidade energética entre Brasil e China de 2016.

	Produção de arroz (Milhões de toneladas)	Potência anual (MW)	Capacidade anual de geração (TWh)
Brasil	8,5	176,36	1,54
China	145,8	3045,97	26,68

Fonte: Autoria própria.

5.6 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

A maior parte das usinas que utilizam a casca de arroz como combustível no Brasil destinam as cinzas geradas para a produção de sílica ou vendem para empresas de cimento ou cerâmica para serem utilizadas como aditivo em seus produtos. Além de agregar valor aos resíduos, essa prática mostra que a biomassa pode oferecer inúmeras possibilidades para sua destinação sem incluir aterros ou queima ao ar livre. A seguir serão descritas outras possibilidades para a destinação das cinzas geradas na queima da casca de arroz que apesar de estarem mais no campo teórico, demonstram que um material aparentemente descartável possui um enorme potencial.

5.6.1 Produção de Carbetto de Silício (SiC)

Para produção do carbetto de silício são necessárias uma fonte de carbono e uma fonte de silício. A cinza de casca de arroz pode ser utilizada como uma fonte barata de silício. A síntese de SiC a partir de cinzas de cascas de arroz foi iniciada por Lee e Cutler em 1975. Existem várias rotas que levam à transformação da casca do arroz em SiC8-15, mas elas têm a pirólise da casca como etapa principal, ocorrendo em temperaturas que variam entre 1200-2000°C, dependendo do processo adotado. Filamentos de SiC são utilizados como reforços para a produção de componentes de matrizes metálicas e cerâmicas mais resistentes. Devido a sua natureza de durabilidade e resistência à fusão (material refratário) o SiC se torna um material semicondutor bastante promissor e, portanto, muito desejado. Pesquisas estão desenvolvendo o SiC como um material para aplicações em avançados dispositivos de semicondutores. Aparelhos eletrônicos e sensores à base de carbetto de silício podem operar em atmosferas adversas, com temperaturas na faixa de até 600 °C, onde eletrônicos à base de silício puro não podem, conferindo ao SiC uma larga utilização (FOLETTTO *et al.*, 2005).

5.6.2 Produção de Sílica Pura

A sílica, como mineral ou pura, é uma substância amplamente utilizada na indústria química inorgânica, com grande destaque para a indústria cerâmica, onde é principalmente utilizada como matéria-prima para refratários, tubos cerâmicos, fabricação de vidros, abrasivos e isolantes térmicos. Na indústria da construção civil, é aplicada como componente em cimentos, concretos e argamassas, onde tem fundamental importância, já que é responsável pela

resistência mecânica, viscosidade e tempo de endurecimento. A sílica se encontra na CA e na CCA e, além do processo de simples combustão, pode ser extraída por tratamento físico-químico com soluções de diferentes ácidos em várias concentrações, sendo precedido de lavagem com água deionizada e queima da parte orgânica em determinados ciclos (DELLA *et al.*, 2006).

5.6.3 Utilização da Cinza como Carga em Polímeros

As poliamidas (PA 6 e PA 6.6) são os principais termoplásticos de engenharia, em termos de volume de material consumido mundialmente e devido à combinação de excelentes propriedades físicas e mecânicas, onde estão incluídas sua grande resistência à abrasão, o baixo coeficiente de atrito, resistência ao impacto e resistência a solventes. Seu custo relativamente competitivo se deve grande capacidade de produção mundial dos seus monômeros, que fabricados principalmente para atender o grande consumo das fibras têxteis. Em paralelo ao desenvolvimento de novos materiais são elaboradas novas cargas objetivando proporcionar aos polímeros melhores propriedades de resistência, melhor estabilidade dimensional, elétrica, mecânica e ao calor. Os materiais usados comumente para atribuir estas características são as fibras de vidro e de carbono, as cargas minerais (CM) como o carbonato de cálcio precipitado, a microesfera de vidro e o talco (FERRO *et al.*, 2007).

A casca de arroz queimada em condições controladas (com temperatura máxima de 1000 °C), ao atingir 800 °C com um tempo de queima de duas horas, é capaz de produzir cinza residual composta de sílica em forma cristalina de quartzo. Para temperaturas no intervalo de 450 a 700 °C, durante três a quatro horas, se obtém sílica no estado amorfo. A pesquisa desenvolvida por Ferro *et al.*, (2007) demonstra que a cinza da casca de arroz pode ser uma alternativa interessante ao ser utilizada como carga. O seu comportamento relacionado a resistência a tração, flexão e a impactos foi semelhante ao talco, comumente utilizado e em algumas condições, até melhor. A peça injetada usando a poliamida 6.6 e como carga a cinza da casca de arroz apresentou um aspecto visual e estrutural perfeito (FERRO *et al.*, 2007).

5.6.4 Produção de Cimento e Uso em Concreto

Novos materiais ao serem utilizados na construção civil, devem atender às exigências físicas e mecânicas, de acordo com a normatização como, por exemplo, serem resistentes,

duráveis e de fácil manuseio, entre outras características, para que sejam superiores ou similares aos produtos já existentes no mercado (LIMA & ROSSIGNOLO, 2010).

Essas exigências são necessárias já que o setor da construção civil precisa oferecer, ao mercado, materiais que tenham vida útil prolongada e de boa qualidade. As cinzas minerais derivadas de diferentes atividades agroindustriais possuem destaque entre os resíduos, pois apresentam altas porcentagens de sílica e de outros óxidos, podendo ser então utilizadas como pozolanas (PAULA *et al.*, 2009).

A CCA ao ser reduzida a um pó fino, em presença de água e à temperatura ambiente, solubiliza em meio alcalino e reage com íons Ca^{+2} para formar silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), o C-S-H obtido destas reações pozolânicas é semelhante ao C-S-H produzido nas reações de hidratação do cimento *Portland* e o hidróxido de cálcio formado durante a hidratação do cimento *Portland* é a principal fonte de cálcio para as reações pozolânicas. A reação pozolânica tem como objetivo desenvolver o poder aglomerante e maior estabilidade, que são os principais responsáveis pela resistência das pastas de cimento hidratadas (BEZERRA *et al.*, 2011).

5.6.5 Uso de Cinzas como Adsorventes

A adsorção consiste em um processo de separação, tecnologia muito utilizada na área química. Os adsorventes mais utilizados são produzidos a partir de carvões ativados, por apresentarem porosidade desenvolvida e uma elevada área superficial. Uma das dificuldades para seu uso em larga escala industrial é o elevado custo envolvido, o que tem incentivado o desenvolvimento de novos produtos adsorventes, de custo inferior aos carvões ativados comerciais (CHAVES *et al.*, 2009).

Estudos já efetuados demonstram que a cinza de casca de arroz apresenta boas propriedades adsorventes, podendo ser utilizada na remoção de íons metálicos, bem como na filtração de arsênio presente na água. Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas na Índia relacionadas ao aproveitamento de cinza de casca de arroz como adsorvente. Cabe ressaltar que, para esta aplicação devem ser consideradas como variáveis o pH, o tempo de contato, a concentração inicial do metal, a temperatura, a dosagem e a natureza do adsorvente (KIELING, 2009).

5.6.6 Uso de Cinza como Suporte de Catalisadores Metálicos

Por serem compostas majoritariamente de sílica amorfa, as cinzas da casca de arroz podem ser utilizadas como suporte. Vários estudos têm sido feitos nesta área como ZANOTELI *et al.*, (2014) que utilizou as CCA como suporte para catalisadores de níquel, utilizados na reforma do metano com CO₂. As CCA se mostraram mais vantajosas para certas aplicações, pois fornece gás de síntese com uma menor relação H₂/CO, que é mais adequada para a reação de *Fischer-Tropsch* e a outros processos industriais, como a hidroformilação e síntese de ácido acético. Além desses fatores, a reforma com CO₂ possui grande apelo ambiental, devido à diminuição das emissões de CO₂. SILVEIRA (2014) também mostrou a possibilidade da utilização da CCA como suporte aos catalisadores na produção de biodiesel, nesse caso as ferritas do tipo espinélio que são mais fáceis de serem processadas. Por possuírem um custo economicamente viável de produção e ter, além de elevada resistividade elétrica, combinada à boa magnetização de saturação e baixas perdas magnéticas para diferentes faixas de frequência de trabalho, são mais utilizadas comercialmente. Os resultados encontrados no seu estudo se mostram promissores na utilização da CCA como suporte para o processo de obtenção do biocombustível líquido. Neste contexto, o catalisador NiFe₂O₄-CCA 1000 °C, demonstrou ser eficiente, visto que possui fase cristalina com picos bem definidos (SILVEIRA, 2014).

5.6.7 Síntese de zeólitas

As zeólitas consistem em aluminossilicatos cristalinos microporosos, possuindo uma estrutura baseada em uma extensa rede tridimensional. Seus microporos (ou canais) possuem dimensões fixas, definidas pela estrutura, usualmente incluindo uma faixa de 3 a 13 Å (Ångström). As cavidades são preenchidas por íons e moléculas de água com significativa liberdade de movimento, podendo ocorrer troca iônica e desidratação reversível. A estrutura é composta de uma cadeia de tetraedros SiO₄ e AlO₄⁺, com os átomos de silício e alumínio ocupando o centro dos tetraedros, e estes últimos são ligados entre si devido ao compartilhamento dos elétrons de oxigênio. O número de cátions que uma zeólita pode trocar com o ambiente advém de sua composição química, ou exatamente do teor de alumínio, já que a presença deste elemento é a causa do desbalanceamento da rede, se fazendo necessário um cátion compensador de carga (FOLETTTO *et al.*, 2005).

As zeólitas sintéticas podem ser obtidas por cristalização, a partir de condições hidrotérmicas, de meios reacionais que contenham os elementos necessários a formação da estrutura de interesse, que são fontes de SiO_2 , Al_2O_3 , cátions, OH^- e H_2O . Diante disso, as cinzas da casca de arroz, devido seus elevados teores de silício, podem ser utilizadas como fonte deste elemento na produção de zeólitas. Em sua pesquisa WANG *et al.* Realizaram a síntese da zeólita ZSM-48 aplicando a CCA como fonte de sílica e empregaram este material como catalisador para craqueamento do n-hexano. Em outros estudos, preparou-se a zeólita ZSM-5 a partir de CCA como fonte de sílica, apresentando atividade catalítica para a reação de hidrogenação do CO_2 comparável à ZSM-5 derivada da sílica comercial (WANG *et al.*, 1998).

5.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A produção brasileira de arroz, apesar de se concentrar no sul do país, é encontrada em vários estados e a tecnologia empregada no campo tem tornado a produção cada vez mais eficiente. A utilização de seus resíduos é um caminho natural a ser seguido, pois a economia envolvida no processo se converteria em mais investimentos na produção.

Países como Tailândia, Camboja e China tem desenvolvido projetos e pesquisas utilizando a casca como fonte de energia, porém a maior parte dos projetos são demonstrativos. Apesar de esses países possuírem uma produção de arroz maior, verifica-se que o Brasil se encontra à frente no aproveitamento dessa biomassa com várias empresas já em atividade produzindo energia.

Além da economia, outro importante benefício é a destinação correta do resíduo, já que, ao ser dispensada na natureza, a casca de arroz, durante sua degradação, libera gás metano, nocivo ao meio ambiente, por ter um potencial de aquecimento de cerca de 21 vezes o observado para o gás carbônico.

Outro ponto de destaque é relacionado ao aproveitamento posterior das CCA, com aplicações que vão desde a indústria cimenteira até a produção de catalisadores para importantes processos da Química.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como detalhado durante o trabalho, a utilização da biomassa para produção de energia possui muitas possibilidades. A queima direta da casca de arroz ou de qualquer resíduo de composição lignocelulósica apresenta-se como uma alternativa para a agroindústria, já que pode contribuir para estimular a autossuficiência energética, além de evitar a queima descontrolada. O trabalho também destaca os muitos recursos existentes que podem explorados e reúne dados relevantes da utilização da biomassa e do aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais.

O Brasil pode investir na área de resíduos agroindustriais que, além de não competir com a produção de alimentos, sua quantidade cresce a cada ano e o país tem uma grande variedade de culturas, além do arroz, que poderiam ser aproveitadas para geração de energia. O trabalho conseguiu demonstrar que uma matriz energética renovável pode ir muito além da hidroeletricidade e que aplicações aparentemente simples para destinação de resíduos podem direcionar para uma nova forma de sustentabilidade. Desta forma, o País encontra-se em posição bastante privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral de biomassas e seguir sua vocação natural para desenvolvimentos nesta temática.

Diante dos dados expostos, as conclusões obtidas foram:

- Frente ao panorama nacional de aproveitamento dos resíduos foi mostrado, que o Brasil possui muitos empreendimentos inovadores, com capacidade de tornar as beneficiadoras de arroz autossuficientes em geração energética, verificando-se um grande espaço para crescimento;
- Quanto à capacidade de geração brasileira de bioeletricidade a partir de casca de arroz, as 12 termoelétricas em funcionamento possuem a potência instalada total de 45,33 MW. Isso significa que apenas 17% do potencial gerador brasileiro a partir da casca de arroz é utilizado. A estimativa para geração de 1,54 TWh de eletricidade mostra que ainda existem muitas possibilidades para o país, já que o constante aumento da demanda energética força a procura de novos meios de geração e a utilização de biomassa, que precisa de pouco ou nenhum beneficiamento, faz com que se torne o combustível ideal;

- Em relação a bioenergia, a queima visando à cogeração de energia se mostra a forma de utilização mais viável, já que é uma tecnologia consolidada, e a transformação da biomassa em biocombustíveis ainda possui um alto custo, além do fato que a produção de etanol lignocelulósico só é viável quando está integrado a uma planta de etanol de primeira geração.
- O panorama mundial mostra que muitos países empregam a biomassa como forma de geração elétrica, mas as informações são escassas e há poucos estudos direcionados especificamente a este tema.
- No caso da China a biomassa mais utilizada é a palha de diversas culturas e, apesar de a casca de arroz possuir a capacidade de gerar 26,68 TWh de energia, o país possui muitas barreiras para uma implantação eficiente da queima da biomassa. Além de faltar incentivos governamentais, há uma questão de logística do país a ser superada, já que os grandes centros geradores de energia se encontram a grandes distâncias das áreas rurais e o transporte seria custoso.
- Com relação à poluição, as cinzas geradas pela queima da casca de arroz, geralmente destinadas a aterros, que poderiam ser um problema, podem ser empregadas para as mais diversas finalidades. Adicionalmente, possuem propriedades que agregam valor a queima da casca, trazendo uma economia além da gerada pela produção energética.

8.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com a variedade de culturas existentes no Brasil recomenda-se avaliar o potencial energético do resíduo de outras culturas, como o café, soja, entre outras. Pode se avaliar quais países tem potencial em relação a biomassa semelhante ao Brasil e formas de melhorar a eficiência da geração de termoelectricidade, bem como formas de implantação de biorrefinarias em conjunto as culturas mais relevantes no país.

7 REFERÊNCIAS

ACIOLI, J.L. Fontes de Energia. Editora da Universidade de Brasília, p.277-279, 1994.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. São Paulo, 1991. 204p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.

AIREA – All India rice exporters association. World Rice Production Consumption and Stocks. Disponível em: <<http://www.airea.net/page/65/statistical-data/world-rice-production-consumption-and-stocks>> Acesso em: setembro 2015.

ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico**. 2008. 167 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AMATO, G. W. Casca: Agregando valor ao arroz. IRGA, Porto Alegre, 2003, Artigo 50810.

AREVALE - Arevale Industria e Comercio de Artefatos de Concreto LTDA. Disponível em: <<http://www.arevale.com.br/sobre>> Acesso em 2m 10 jan. 2016.

ATLAS DE BIOENERGIA DO BRASIL - Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas. Disponível em: <<http://143.107.4.241/download/metodologiabiomassa.pdf>> Acesso em: dezembro 2016.

ATLAS DE BIOENERGIA DO ESPÍRITO SANTO - **Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE)**. 100 p.; Il. Vitória, ES, 2013.

BASTAWDE K. B. (1992) Xylan structure, microbial xylanases, and their mode of action. **World Journal of Microbiology & Biotechnology** 8 (4): 353-368.

BASTOS, V. d. Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias, BNDES Setorial, n. 25, p. 5-38, Rio de Janeiro, BNDES, mar. 2007.

BASTOS, V.D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. In: _____. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. Rio de Janeiro: Ed. BNDES, 2007.

BAZARGAN, A; BAZARGAN, M; MCKAY, G. Optimization of rice husk pretreatment for energy production. **Renewable Energy**, Hong Kong, n. 77, p. 512 – 520, 2015.

BEZERRA, I. M. T; SOUZA, J; CARVALHO, J. B. Q; NEVES, G. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.6, p.639–645, 2011.

BIG – Banco de Informação de Geração. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=13&gg=Combustivel&principal=Biomassa>> Acesso em: 10 jan. 2016.

BIORREFINARIAS e Biotecnologia Industrial. Sociedade Portuguesa de Biotecnologia. v. 2, n. 3, P. 2 – 48, 2013.

BP ENERGY Outlook. Country and regional insights – China. Disponível em: <<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016-country-insights-china.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

BP Global - Statistics review of world energy 2012. British Petroleum (BP); 2012. Disponível em: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>> acessado em: novembro 2015.

Brazilian Rice - Perfil da Produção. Disponível em: <<http://brazilianrice.com.br/br/sobre-o-brasil>> Acesso em: outubro 2015.

BRINGHENTI, L; CABELLO, C; URBANO, L. H. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE SUBSTRATO AMILÁCEO HIDROLISADO ENRIQUECIDO COM MELAÇO DE CANA. **Ciênc. agrotec.** Lavras, v. 31, n. 2, p. 429-432, mar./abr., 2007.

BRIX - Boletim Preço de Energia Elétrica Spot. Disponível em: <https://brix.com.br/publicdocs/brix/data_files/BRIX_INDEX.pdf> Acesso em: dezembro 2016.

CARDOSO, A.L. **BIORREFINARIA: INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICO, FERMENTATIVO E TÉRMICO PARA O APROVEITAMENTO DE SERRAGEM DE EUCALIPTO**. 2009. 110 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CHAVES, T. F; QUEIROZ, Z. F; SOUSA, D. N. R; GIRÃO, J. H. S. USO DA CINZA DA CASCA DO ARROZ (CCA) OBTIDA DA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA COMO ADSORVENTE DE Zn (II) EM SOLUÇÕES AQUOSAS. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 6, 1378-1383, 2009.

CHEN Y, EBENSTEIN A, GREENSTONE M, LI H. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy. In: **Proceedings of the national academy of sciences**; 2013.

COELHO, S.T. *et al.* Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil. Brasília: ANEEL, 2002. 75p.

CONAB - Acompanhamento da safra brasileira de grãos. – Safra 2015/16 - primeiro levantamento, v. 1, n.3, p. 1-104, Brasília, 2015.

DELLA, V. P; HOTZA, D. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SÍLICA OBTIDA POR LIXÍVIA ÁCIDA DA CASCA DE ARROZ E SÍLICA OBTIDA POR TRATAMENTO TÉRMICO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ. **Quim. Nova**, Vol. 29, No. 6, 1175-1179, 2006.

DELLA, V. P; KÜHN, I; HOTZA, D. CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA NA FABRICAÇÃO DE REFRAATÓRIOS DE SÍLICA. **Química Nova**, Florianópolis – SC, Vol. 24, No. 6, 778-782, 2001

DEMIRBAS, A. Biorefineries: Current activities and future developments. **Energy Conversion and Management**, v.50, p.2782-2801, 2009.

DOTTO, R.B.; WOLFF, D.B. **Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos**. Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v.13, n.1, p.13-26, 2012.

eCycle - Com vasto potencial, Canadá incentiva diversas fontes renováveis para geração de energia. <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/38/3063-com-vasto-potencial-canada-incentiva-diversas-fontes-renovaveis-para-geracao-de-energia.html>> Acesso em 22 ago. 2016.

EIA - U.S. Energy Information and Administration. PETROLEUM & OTHER LIQUIDS. Disponível em: <<http://www.eia.gov/biofuels/biodiesel/production/>> Acesso em 22 ago.

2016.

EMBRAPA - Agência Embrapa de Informação Tecnológica - Estatísticas de produção. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5ee07qw4xezy8czjj.html>> Acesso em: outubro 2015.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Dados de conjuntura da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no Brasil (1985-2013). Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

EMPRAPA - Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. Disponível em: - <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.ht>> Acesso em: 12 dez. 2014

ENERGY UNITS. Disponível em: <<http://www.aweo.org/windunits.html>> Acesso em: dezembro 2016.

ENGENHO CORADINI – Grupo Engenho Coradini. Disponível em: <<http://coradini.com.br/website/conteudo/default.asp?CodArea=147&CodSecao=181>> Acesso em 11 jan. 2016.

EPE – Empresa de pesquisa energética. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis. EPE-DPG-SDB-Bios-NT-01-2015.

EXAME - China vê consumo de energia em alta em 2016. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/china-ve-consumo-de-energia-em-alta-em-2016>> Acesso em: 01 set. 2016.

FENG Z. China low carbon yearbook 2012. **Beijing: Metallurgical Industry Press**; 2012.

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

FERREIRA, C. M. *et al.* BIODIGESTOR PARA O GÁS DO LIXO ORGÂNICO. **E-xacta**, 2011, v. 4, n. 2 – Edição Especial Interdisciplinaridade. p. 5-17.

FERRO, W. P; SILVA, L. G. A. **Cinza da Casca de Arroz como Carga em Matrizes de PA 6 e PA 6.6**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 17, nº 3, p. 240-243, 2007.

FIND THE COMPANY. Disponível em: <<http://www.findthecompany.com.br/>> Acesso em: agosto 2016.

FOLLETO, L. F; HOFFMANN, R; HOFFMANN, R. S. Portugal, U. L; Jahn, S. L. APLICABILIDADE DAS CINZAS DA CASCA DE ARROZ. **Quim. Nova**, Vol. 28, No. 6, 1055-1060, 2005.

FUKUSHIMA, R. S.; HATFIELD, R. D. Composição fenólica de ligninas dioxano pela reação oxidativa com o nitrobenzeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n 3, p. 373-378, 2003

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J. Energia no Brasil e no mundo. Estadão, Disponível em: <<http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,energia-no-brasil-e-no-mundo-imp-,1075220>>. Acesso em 15 nov. 2016.

GOVERNO DO CANADÁ - Disponível em: <http://www.canadainternational.gc.ca/brazil-bresil/about_a-propos/energy-energie.aspx?lang=por> Acesso em : 22 ago. 2016.

GRAMINHA, E. B. N.; GONÇALVES, A.Z. L.; PIROTA, R. D. P. B.; BALSALOBRE, M. A. A.; SILVA, R.; GOMES, E. Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 144, p. 1-22, 2007.

GRUPO SLC ALIMENTOS. Disponível em: < <http://www.slc.com.br/?p=701>> Acesso em 10 jan. 2016.

HALL, D. O.; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. Overview of biomass energy. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil**. London: Taylor & Francis, 2000.

HU, Y; HUANG, W; WANG, J; CHEN, S; ZHANG, J. Current status, challenges, and perspectives of Sichuan's renewable energy development in Southwest China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 57, (2016), 1373–1385.

HU, Y; HUANG, W; WANG, JING; CHEN, S; ZHANG, J. Current status, challenges, and perspectives of Sichuan's renewable energy development in Southwest China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 57, p. 1373–1385, 2016.

IBGE - LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro v.29 n.6 p.1-79 junho. 2016.

IBGE - LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro v.29 n.6 p.1-79, 2016

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**. Rio de Janeiro, v.29, n.6, p.1-81. 2015

IBGE- LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro v.29 n.1 p.1-83, 2015.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência energética. Disponível em: <http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa> Acesso em: 10 dez. 2014.

IPEA - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf> Acesso em: 20 nov. 2016.

IRENA - International Renewable Energy Agency. Renewable Energy Prospects: China REmap 2030 analysis. Disponível em: <www.irena.org/remap> Acesso em: novembro 2015.

ISBALÃO, G. O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

JORNAL DO COMÉRCIO. Ed. Setembro 2015. Disponível em: <<http://edicao.jornaldocomercio.com.br/jornal/jcomercio/2015/09/21/1554/pdf/21-JC009.pdf>> Acesso em 01 set. 2016.

JUNIOR, M. A. S. **Ativação Química do Carvão de Casca de Arroz Utilizando NaOH**. 2004. 79 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal Do Espírito Santo, Vitória.

KAMM B; KAMM, M. Biorefinery – Systems, *Chem. Biochem. Eng. Q.* **18** (1) 1–6 (2004)

KAMM B; KAMM, M. Biorefinery – Systems, **Chem. Biochem. Eng.** v. 18, n. 1, p. 1–6. 2004.

KANN, B; *et al.* **Biorefineries - Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions.** Weinheim: WILEY-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA, v.1. 2006.

KIARROZ - Indústria e Comércio de Arroz Fumacense Ltda. Disponível em: <<http://www.kiarroz.com.br/index.php?id=responsabilidade-socioambiental>> Acesso em 11 jan. 2016.

KIELING, A. G. **INFLUÊNCIA DA SEGREGAÇÃO NO DESEMPENHO DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ COMO POZOLANAS E MATERIAL ADSORVENTE.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2009

KIRK T., FARRELL R. (1987) Enzimatic "combustion": the microbial degradation of lignin. **Annual Review of Microbiology** 41: 465-505.

LARSON, D. E.; Biofuel production technologies: status and prospect. In: United Nations Conference on Trade and Development. 2007.

LEDFOURD H. Liquid fuel synthesis: making it up as you go along. **Nature** 2006; 444:677–8.

LIMA J. C.; SAMPAIO, E. V. S. B., LIMA R. L. F. A., MENEZES, R. S. C. Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v.07, n. 02, 207-221, 2014.

LIMA, L. L.; Produção de biodiesel a partir de hidroesterificação dos óleos de mamona e soja. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2007.

LIMA, M. T. S. L; SOUZA, M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, Diamantina, v. 37 Ed; p. 17–23, 2014.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. Estudo das características químicas e físicas da concha da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, p.383-389, 2010.

MA, D. 2015. Rebalancing China's Energy Strategy. **Paulson Papers on Energy and Environment**. Disponível em: <http://www.paulsoninstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/PPEE_Rebalancing-Chinas-Energy-Strategy_Ma_English.pdf>

Acesso em: novembro 2015.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **BRASIL PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO 2015/2016 a 2025/2026**. 7ª edição. 136 f. Ano 2016.

MAPA – Ministério da agricultura. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>> Acesso em: 11 dez. 2014.

MAPA - Projeções do Agronegócio - Brasil 2014/15 a 2024/2025. 6ª edição. 333 f. 2015.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. ATLAS EDITORA. 7ª Edição. 320 p. 2010.

MEISEN, P; HAWKINS, S. Renewable Energy Potential of China: Making the Transition from Coal-Fired Generation. **Global Energy Network Institute**, v. 1, 30 f, 2015.

MIGLIORINI, A. J. Densificação de Biomassa Florestal. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. C1 – C9, 1980.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – Economia. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/03/pib-da-agropecuaria-tem-alta-de-1porcento-em-2015>> Acesso em: janeiro 2017.

MME - Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro Janeiro – 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Janeiro-2016.pdf/5977c97c-c5bf-433c-9c0a-b92cb32df517>> Acesso em 01 set. 2016.

MME - Resenha Energética Brasileira - Resultados de 2014 / Ministério de Minas e Energia. V. 1, 36 f. 2015.

MME/EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: 2v.: il; 466 f. 2015.

MORETTO, E; FETT, R. Tecnologia dos óleos e gorduras vegetais. Rio de Janeiro: Varela, 1989.

MOSIER, N; WYMAN, C; DALE, B; ELANDER, R; LEE, Y; HOLTZAPPLE, M; LADISCH, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresour Technology** 2005, 96:673-686.

OLIVEIRA, L. G. S. **APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS AGRICOLAS – O CASO DA AGROELETRICIDADE DISTRIBUÍDA**. 300 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

PAULA, M. O; TINÔCO, I. F. F; RODRIGUES, C. S; SILVA, E. N; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.353-357, 2009.

PEREIRA Jr., N. (2006) Palestra II: Biotecnologia de Lignocelulósicos e o contexto de Biorrefinaria Associado. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ). 24-27 Setembro de 2006.

PEROZZI, M. Brasil pode gerar 200 megawatts de energia com a casca do arroz. Arroz em Foco. 2004. Disponível em: <<http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/040305.php>> Acesso em: ago. 2015

PERS-RS. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015. Disponível em: <<http://www.engebio.net/arquivos/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>> Acesso em 01 set. 2016.

PILECO NOBRE – Grupo PILECO NOBRE. Disponível em: <<http://www.pileconobre.com.br/institucional>> Acesso em 10 jan. 2016.

PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E. A. e MORAIS, S. A. L. Isolamento e análise estrutural de ligninas. **Química Nova**, v. 16, p. 435-448, 1993

PNE - Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.

PODE, R; DIOUF, B; PODE, G. Sustainable rural electrification using rice husk biomass energy: A case study of Cambodia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 530–542, 2015.

PORTAL BRASIL - Capacidade instalada de geração de energia atinge 142.610 MW em março. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/05/capacidade-instalada-de-geracao-de-energia-atinge-142-610-mw-em-marco>> Acesso em: 01 set. 2016.

PTZ Bioenergy - Contribuição do Projeto “CAMIL Camaquã de Geração de Eletricidade à Biomassa” para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0011/11424.pdf> Acesso em 11 jan. 2016.

Química verde no Brasil: 2010-2030 - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. 438 p.; il, 24 ISBN – 978-85-60755-31-8

RAMOS E PAULA, L. E. *et al.* Produção e Avaliação de Briquetes de Resíduos Lignocelulósicos. PFB - Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.66, p.103- 112, abr./jun. 2011.

REE, R. V; ANNEVELINK, B. **Status Report Biorefinery 2007**. Agrotechnology and Food Sciences Group. Wageningen: November. 2007

REVISTA DIGITAL - São Borja inaugura usina que utiliza casca de arroz como combustível. Disponível em: < <http://www.revistadigital.com.br/2012/05/sao-borja-inaugura-usina-com-casca-de-arroz-como-combustivel/>> Acesso em 10 jan. 2016.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J. M. M; CORTEZ, L. A. B. **Aspectos teóricos e práticos do processo de Pirólise de Biomassa, curso Internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Alcool** UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

ROSA, M. F; SOUZA FILHO, M S; FIGUEIREDO, M. C; MORAIS, J. P. S; SANTAELLA, S.T; LEITÃO, R.C. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA, 2011 - Foz do Iguaçu, PR.

ROYA, B; FREITAS, E; BARROS, E; ANDRADE, F; PRAGANA, M; SILVA, D. J. A. BIOGÁS – UMA ENERGIA LIMPA. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149

SANTOS, F.A; 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. **Quim. Nova**, Viçosa – MG, V. 35, No. 5, 1004-1010, 2012.

SANTOS, K. G. **Aspectos Fundamentais da Pirólise De Biomassa em Leito de Jorro: Fluidodinâmica e Cinética do Processo**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SANTOS, M. F. R. F. **Elaboração do Technology Roadmap para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil**. 307 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, M. F. R. F; BORSCHIVIER, S; COUTO, M. A. P. G. Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil. Disponível em: <<http://ecen.com/eee82/eee82p/biorefinarias.htm>>. Acesso em: 04 Jun. 2015.

SANTOS, S. F. O. M; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. *Produção*, v. 22, n. 2, p. 309-321, mar./abr. 2012

SANTOS, T. M. B. dos. **Balanco energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 179 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Jaboticabal.

SANTOS, V.E.N. **Proposta Metodológica para Criação de Biorrefinaria de Bagaço de Cana Produtora de Bioplataformas Químicas: um Ensaio Preliminar Como Parte de um Sistema de Simbiose Industrial em Campos dos Goytacazes-RJ**. 2013. 235 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCARAMUZZO, M. Espaço maior para a energia de bagaço de cana - O Estado de S. Paulo, O Estado de S. Paulo. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,espaco-maior-para-a-energia-de-bagaco-de-cana,1723411>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SCARAMUZZO, M. Espaço maior para a energia de bagaco de cana. **O estado de São Paulo**. Julho 2015. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,espaco-maior-para-a-energia-de-bagaco-de-cana,1723411>> Acesso em out. 2015.

SILVA, L. L.; ALVES, M. S.; SILVA, V. C.; ROCHA, A. L. Princípios de Termoelétricas em Pequenas Propriedades Rurais, **KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE**, 2009.

SILVA, N.L.C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. 2010. 109 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, V. C. **Alternativas para o aquecimento de aviários frente a problemática do uso de lenha como fonte de energia**. 159 f; Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Oeste do Pará, Francisco Beltrão, 2014.

SILVEIRA, A. S. **APROVEITAMENTO DAS CINZAS DA CASCA DE ARROZ COMO SUPORTE CATALÍTICO HETEROGÊNEO NA SÍNTESE DO BODIESEL POR REAÇÃO DE HIDROESTERIFICAÇÃO**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Pombal. 2014.

SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry: fundamentals and application. **London: Academic Press**, 293 p., 1993.

SOUZA, J. T. **Aproveitamento da casca de arroz para fabricação de chapas aglomeradas**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS.

STELT M.J.C., GERHAUSER H., KIEL J.H.A., PTASINSKI K.J. “Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review”, *Biomass and bioenergy*, Vol.35 (2011) 3748-3762

TIJMENSEN, M.J.A, FAAIJ, A.P.C., HAMELINCK, C.N. AND VAN HARDEVELD, M.R.M - Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification, March, 2002.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 26, p 247 - 206, 2012.

TURKENBURG, W.C E FAALJ, A. APUD F. A. Bio-energy in Europe: changing technology choices. **Energy Policy**. 34 332-342, 2006.

UBERTI, V. A.; INDRUSIAK, M. L. S. Modelagem e estudo de rendimento termodinâmico de ciclos combinados de geração termelétrica. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 16, n. 25, p. 01-100, 2015.

UEASIN, N; LIAOB, S; WONGCHAI, A. The Technical Efficiency of Rice Husk Power Generation in Thailand: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. **Energy Procedia**, n. 75, p. 2757 – 2763, 2015.

URBANO Agroindustrial Ltda. Disponível em: < <http://www.urbano.com.br/urbano.html>> Acesso em 09 jan. 2016.

USDA - United States Department of Agriculture. Grain: World Markets and Trade. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>> Acesso em 01 set. 2016.

VALENTINE, S. V. The socio-political economy of electricity generation in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 32, p. 416–429, 2014.

VIANA, M. B; TAVARES, W. M; LIMA, P. C. R. Sustentabilidade e as principais fontes de energia. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/sustentabilidade-e-as-fontes-de-energia_varios-autores_politicas-setoriais>. Acesso em: 15 ago. 2016.

VIEIRA, E. F. L. - **AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO EM PLANTAS XTL UTILIZANDO A TEORIA DE OPÇÕES REAIS**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro

WANG, H. P.; LIN, K. S.; HUANG, Y. J.; LI, M. C.; TSAUR, L. K.; J. **Hazard. Mater.** 1998, 58,

WERTHER, J., SAENGER, M., HARTGE, E., OGADA, T., SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. (2000). **Progress in Energy and Combustion Science** vol. 26: p.1 – 27.

WIKIENERGIA PORTUGAL - Cascas de arroz podem ser a chave para baterias mais duradouras e sustentáveis. Disponível em: <http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Cascas_de_arroz_podem_ser_a_chave_par_a_baterias_mais_duradouras_e_sustent%C3%A1veis>. Acesso em: julho 2015.

WORLD RICE PRODUCTION 2016/2017. Disponível em: <<https://www.worldriceproduction.com/default.asp>> Acesso em: setembro 2016.

ZANOTELI, K; FREITAS, J. C. C; SILVA, P. R. N. ESTUDO DE CATALISADORES DE NÍQUEL SUPOSTADOS EM CINZA DE CASCA DE ARROZ NA REFORMA DE METANO COM DIÓXIDO DE CARBONO VISANDO A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO E GÁS DE SÍNTESE. **Quim. Nova**, Vol. 37, No. 10, 1657-1662, 2014.

ZHAO, X; FENG, T; MA, Y; YI, S. Y; PAN XUE, F. Analysis on investment strategies in China: the case of biomass direct combustion power generation sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 42, p. 760–772, 2015.

ZHAO, Z.Y; ZUO, J; WU, P; YAN, H; ZILLANTE, G. Competitiveness assessment of the biomass power generation industry in China: A five forces model study. **Renewable Energy** 89 (2016) 144e153.

ZHAO, Z.Y; ZUO, J; WU, P; YAN, H; ZILLANTE, G. Impacts of renewable energy regulations on the structure of power generation in China- a critical analysis, **Renew. Energy** 36 (2011) 24e30.