

**PROPOSTA DE ROTA TECNOLÓGICA AMBIENTALMENTE AMIGÁVEL
UTILIZANDO TECNOLOGIA SUB/SUPERCRÍTICA E PIRÓLISE PARA
PROCESSAMENTO DA PALHA, CASCA E FARELO DE ARROZ**

ROMERO G., Liege^{1*}; EICKHOFF, Larissa²; DRASZEWSKI, Crisleine³; ABAIDE, Ederson⁴

^{1 2 4} UNIJUÍ, Curso de Engenharia química, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rua do Comércio, nº 3000, Ijuí, RS, Brasil.

³ UFSM, Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede, Avenida Roraima, nº 1000, Santa Maria, RS, Brasil.

*ROMERO G., Liege: liege.goergen@hotmail.com.

RESUMO

O arroz é um dos produtos mais cultivados na região sul do Brasil, sendo assim um grande responsável pelo giro da economia de nosso país. Além de ser considerado um dos alimentos mais consumidos, o cultivo do arroz também é responsável pela geração de resíduos como a casca, palha e farelo do mesmo. Para encontrar uma maneira de diminuir o descarte desses resíduos foi elaborado uma proposta de rota tecnológica, a qual visa à diminuição de alguns impactos ambientais e consequentemente a geração de novos produtos através da biomassa que seria descartada, sendo um deles o etanol. Com esse intuito foi realizado o estudo para a utilização de inovações tecnológicas, tais como pirólise e tecnologia sub/supercrítica durante o processamento do grão para chegar ao objetivo de reduzir os resíduos gerados no processo.

Palavras chave: Indústria, Arroz, Biomassa, Resíduo, Reaproveitamento

**PROPOSAL OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGICAL ROUTE
USING SUB/SUPERCRITICAL TECHNOLOGY AND PYROLYSIS FOR RICE
STRAW, HUSK AND BRAN PROCESSING**

ABSTRACT

Rice is one of the most cultivated products in the southern region of Brazil, being thus a major responsible for the turning of the economy of our country. Besides being considered one of the most consumed food, rice cultivation is also responsible for the generation of residues, as the rice straw, husk and bran. To find a way to reduce the disposal of these waste, a proposal was made for a technological route, aiming at reducing some environmental impacts, and consequently generating products through the biomass that would be discarded, one of them being ethanol. With this purpose, the study was carried out to use technological innovations, such as pyrolysis and sub/supercritical technology, during grain processing in order to reach the objective of reducing waste generated in the process.

Keywords: Industry, Rice, Biomass, Residue, Reutilization

1 INTRODUÇÃO

A produção de arroz (*Oryza sativa L.*) é uma das atividades agrícolas mais importantes no Brasil. Na safra de 2015/2016 a área plantada com arroz no Brasil era de aproximadamente 2 milhões de hectares, e a produção foi de cerca de 12 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

De acordo com IRGA (2019), a produção de arroz no Rio Grande do Sul referente a safra de abril de 2018 a abril de 2019 foi de 5.801.185 toneladas de arroz. Conseqüentemente a quantidade de resíduos gerados na colheita e beneficiamento do arroz também é elevada. Quantidades significativas de palha, casca e farelo de arroz são produzidas anualmente em fazendas e indústrias de beneficiamento de arroz, mas são economicamente subutilizadas. Em média a palha de arroz que resta na colheita do grão representa 38% do arroz colhido, já a casca e o farelo de arroz que são gerados na manufatura do arroz correspondem a 20% e 8% do peso do arroz respectivamente (Regulatory, 2015).

A palha e a casca de arroz são utilizadas pelas próprias famílias produtoras para cozinhar e aquecer água, e grandes quantidades são queimadas em campos abertos para preparar a terra para a próxima estação de plantio. O farelo de arroz é um produto de baixo valor comercial e tem sido empregado pela indústria brasileira para extração de óleo como ingrediente na ração animal, e como fertilizante orgânico (Soares et al, 2016).

Assim tendo como base a grande quantidade de produção desses resíduos, definiu-se como objetivo deste trabalho propor uma rota tecnológica ambientalmente amigável que

utiliza tecnologias sub/supercríticas e pirólise para reaproveitamento integrado da palha, casca e farelo de arroz com intuito de aumentar o valor agregado destas biomassas. Para atingir o objetivo proposto, o presente documento está dividido em quatro partes. Inicialmente uma breve revisão da literatura acerca do uso comum dessas biomassas que são resíduos da manufatura do arroz seguido das principais características dessas mesmas. A metodologia de coleta de dados e proposição de uma rota tecnológica ambientalmente amigável utilizando tecnologias sub/supercrítica tem como base as pesquisas realizadas recentes, as quais são apresentadas na seção de resultados e também com base nas tecnologias que promoveram maiores rendimentos e eficiências de processamento da biomassa. Em seguida foi realizada a análise dos resultados obtidos e as considerações finais.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Palha, casca e farelo de arroz: produção e custo.

Como apresentado na introdução, a produção de arroz no Rio Grande do Sul na última safra demonstrou que esse grão representa uma grande receita para o estado. Para o processamento do arroz o mesmo passa por algumas etapas, as quais são descritas como: cultivo; colheita, descascamento e polimento. Estas etapas geram conseqüentemente alguns resíduos, os quais são: palha, casca e farelo de arroz.

A palha de arroz é comumente utilizada na alimentação de bovinos e queimada junto da própria terra de modo a eliminá-la (Martins, et al,2008) (JACOBS, et al, 1997). Segundo ASSOCON (2016), para manter a produtividade do rebanho, eles vêm fazendo a suplementação utilizando palha de arroz e outros aditivos no confinamento. O principal fator limitante ao uso de palhas de cereais está relacionado ao baixo valor nutritivo. A palha de arroz tem capacidade calorífica um pouco inferior (15,2 MJ/kg) à do carvão vegetal (23,1 MJ/kg) (Yang, et al, 2017).

Com relação a casca do arroz, a mesma é nutricionalmente pobre, sendo raramente usada como alimento animal, mas nas indústrias de processamento de arroz as cascas são usadas como fonte de energia em caldeiras e para gerar energia elétrica, em virtude de possuírem uma capacidade calorífica de 16,6 MJ/Kg (Shafie et al., 2013). O farelo de arroz tem recebido muita atenção devido aos seus efeitos benéficos à saúde humana, como, por

exemplo na diabetes, no sistema imunológico, no câncer e nas doenças do coração, além de ser uma importante fonte de antioxidantes naturais, o que é atribuído às quantidades elevadas de compostos bioativos presentes no óleo (Soares, et al. 2016).

A maior limitação para a utilização do farelo de arroz tem sido a sua natureza altamente instável durante o armazenamento, devido ao seu elevado teor de lipídeos. Após polimento do arroz, as enzimas presentes no farelo (lipase, fosfolipase, glicolipase, lipoxigenase e oxidase) (FUJINO, 1978) hidrolisam rapidamente o óleo neutro aumentando o conteúdo de ácidos graxos livres, o que promove o desenvolvimento do odor e sabor de ranço e, conseqüentemente deteriora a qualidade nutricional do óleo.

Segundo AGROLINK (2019) e MFRURAL (2019), empresas que comercializam a casca e o farelo de arroz, o preço médio dessas biomassas é em torno de R\$ 220,00 e 550,00 por tonelada de casca e farelo respectivamente. De forma a aumentar o valor agregado das biomassas residuais de palha, casca e farelo de arroz, pode-se propor uma rota tecnológica que utilize tecnologia sub/supercrítica e pirólise com a intenção de converter essas matérias-primas em produtos de maior valor agregado. Para propor essa rota é importante entender características dessas biomassas, principalmente relacionadas aos componentes em sua estrutura.

2.1.2 Palha, casca e farelo de arroz: características

A palha e a casca de arroz são materiais lignocelulósicos compostos principalmente de celulose, hemiceluloses e lignina (Moliner, et al. 2016). A palha de arroz tem aproximadamente 35% de celulose, 22% de hemicelulose e 18% de lignina. Para a casca de arroz o teor aproximado de celulose, hemicelulose, e lignina é respectivamente de 38, 21 e 16% (Abaide, et al, 2019a). Já o farelo de arroz é composto por aproximadamente, 15-20% de lipídeos, 12-15% de proteínas, 7-12% de fibras, 30% de celulose, 20% de hemicelulose e 14% de lignina. Essa composição varia de acordo com o tipo de arroz, com as condições climáticas e com os métodos de beneficiamento do arroz (Soares, et al 2016).

De acordo com as características dessas biomassas, é possível propor tecnologias para o processamento que visam obter produtos de maior valor agregado. Por exemplo, como a palha e a casca de arroz possuem composição majoritariamente lignocelulósica, com exceção da sílica que existe na casca de arroz, é possível pensar em estratégias que dissociem a celulose e a hemicelulose em açúcares fermentescíveis, para posterior uso do caldo para fermentação e produção de etanol.

O farelo de arroz por possuir elevado teor de lipídios, tem potencial uso na extração deste óleo, que é comumente comercializado devido as suas propriedades nutricionais. O farelo de arroz sem óleo, que é denominado de farelo de arroz desengordurado ainda possui em sua composição celulose, hemicelulose e lignina, e assim pode produzir um caldo rico em açúcares fermentescíveis a partir da dissociação da celulose e hemicelulose.

As biomassas restantes após a extração (para o farelo) e hidrólise da palha, casca e farelo desengordurado de arroz podem então serem submetidas a um processo de pirólise para se obter gás de síntese, óleo pirolítico (bio-óleo) e carvão. Assim é importante realizar uma busca bibliográfica orientada em tecnologias ambientalmente corretas, que utilizam tecnologias sub/supercrítica e pirólise que processem a palha, casca e farelo de arroz de modo a se obter produtos de maior valor agregado. A partir do conhecimento dessas tecnologias e de alguns resultados obtidos por pesquisas que utilizaram essas tecnologias de processamento, é possível propor uma rota tecnológica.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

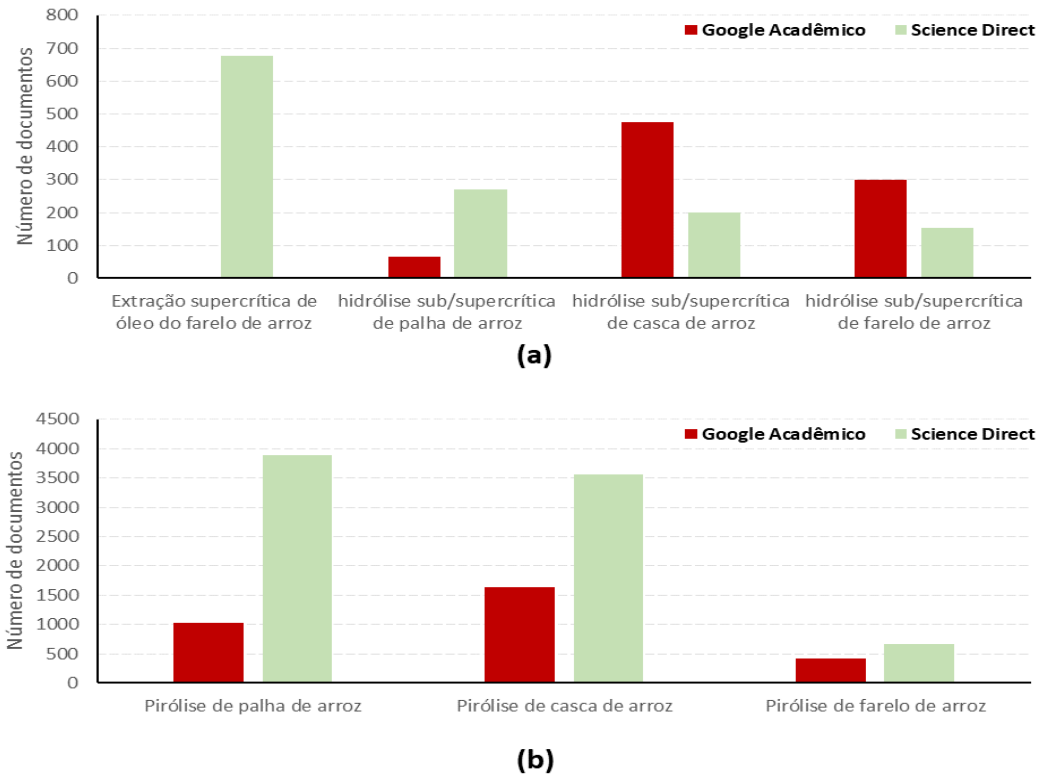
Para propor uma rota tecnológica ambientalmente amigável, a qual utiliza tecnologias sub/supercrítica e pirólise, é preciso primeiramente realizar uma breve pesquisa de trabalhos recentes utilizando a plataforma do Google Acadêmico e Science Direct, sendo que os termos utilizados na busca foram: extração supercrítica de óleo do farelo de arroz, hidrólise sub/supercrítica de palha de arroz, hidrólise sub/supercrítica de casca de arroz, hidrólise sub/supercrítica de farelo de arroz, pirólise de palha de arroz, pirólise de casca de arroz e pirólise de farelo de arroz. Os termos utilizados na busca também foram colocadas em inglês. A busca utilizou como filtro a produção intelectual no intervalo de tempo de 2009 a 2019.

Após analisadas as produções científicas, as quais utilizam tecnologias sub/supercrítica e pirólise para o processamento das biomassas residuais da indústria do arroz, foram selecionadas aquelas que demonstraram-se obter melhores rendimentos e eficiências de processamento, para então propor uma rota tecnológica ambientalmente correta.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da busca realizada nas plataformas indicadas na faixa de tempo em anos de 2009 a 2019 foi possível construir a Figura 1.

Figura 1. Produção científica relacionada em (a) a tecnologias sub/supercrítica e em (b) a pirólise para processamento da palha, casca e farelo de arroz.



Fonte: elaborado pelos autores (2019)

De acordo com a Figura 1(a), é possível observar que para o termo extração supercrítica utilizado no google acadêmico só foi encontrado um trabalho científico. Quando realizou-se a mesma busca na plataforma Science Direct, observou-se um grande aumento na produção intelectual (676 trabalhos). Utilizando os termos hidrólise sub/supercrítica para palha, casca e farelo de arroz pela plataforma Science Direct, a produção intelectual caiu para menos que a metade em relação a que foi observada utilizando o termo extração supercrítica de óleo do farelo de arroz.

Pela Figura 1(b) é possível observar que a produção científica relacionada a pirólise é muito superior. De acordo com a plataforma Science Direct verificaram-se valores próximos de 4000 publicações referentes à pirólise da palha de arroz, e 3600 referentes à pirólise da casca de arroz. As pesquisas em pirólise do farelo de arroz apresentaram menor quantidade de documentos, em torno de 500 publicações.

A partir dos documentos avaliados foram encontrados trabalhos com elevados rendimentos e eficiências de processamento de palha, casca e farelo de arroz. Na Tabela 1, são expostos alguns resultados obtidos para pesquisas recentes que utilizaram tecnologia

sub/supercrítica para extração de óleo do farelo de arroz e hidrólise de palha, casca e farelo.

Tabela 1 – Principais resultados obtidos em pesquisas recentes que estudaram extração supercrítica de farelo de arroz e hidrólise sub/supercrítica de palha, casca e farelo de arroz.

Biomassa	Tecnologia e parâmetros operacionais	Principais resultados	Fonte
Farelo de arroz	Extração com CO ₂ supercrítico Vazão: 4 mL/min Pressão: 250 bar Temperatura: 40°C Tempo: 240 minutos Volume do reator: 100 mL	Rendimento de óleo (g óleo/100g de biomassa) = 12,68 Recuperação de óleo (g de óleo/100g de óleo disponível) = 82,12	Soares, et al 2016
Casca de arroz	Hidrólise com água subcrítica Vazão: 15 mL/min Pressão: 250 bar Temperatura: 220°C Razão líquido/sólido: 7,5 Tempo: 15 minutos Volume do reator: 50 mL	Rendimento em açúcar (g açúcar/100g de biomassa) = 18 Conversão (g de açúcar/100g de holocelulose*) = 39,5	Abaide, et al, 2019b
Palha de arroz	Hidrólise com água subcrítica Vazão: 10 mL/min Pressão: 250 bar Temperatura: 220°C Razão líquido/sólido: 7,5 Tempo: 15 minutos Volume do reator: 50 mL	Rendimento em açúcar (g açúcar/100g de biomassa) = 33,4 Conversão (g de açúcar/100g de holocelulose*) = 72,1	Abaide, et al, 2019c
Farelo de arroz	Extração com CO ₂ supercrítico Vazão: 3 mL/min Pressão: 200 bar Temperatura: 40°C Tempo: 150 minutos Volume do reator: 10 mL	Rendimento de óleo (g óleo/100g de biomassa) = 21,6 Recuperação de óleo (g de óleo/100g de óleo disponível) = 97	Tomita, 2014.
Palha de arroz	Hidrólise com água subcrítica Pressão: 200 bar Temperatura: 280°C Razão líquido/sólido: 20 Tempo: 45 minutos Volume do reator: 150 mL	Rendimento em açúcar (g açúcar/100g de biomassa) = 34,6	Richen Lin, 2015.

*Holocelulose: hemicelulose + celulose

Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

Os resultados apresentados na Tabela 1 são importantes, uma vez que a partir deles pode se propor uma rota tecnológica ambientalmente correta que integre a tecnologia sub/supercrítica com uma etapa posterior de pirólise das biomassas de palha, casca e farelo de arroz.

Utilizando os parâmetros operacionais estudados nessas pesquisas e os resultados em rendimento de óleo, recuperação de óleo, rendimento em açúcares e conversão de açúcares pode-se realizar também um breve balanço de massa para demonstrar o grande potencial dessas tecnologias. Na Tabela 2 são expostos alguns resultados obtidos para pesquisas recentes que realizaram a pirólise de biomassas como de palha, casca e farelo de arroz. O intuito aqui é utilizar esses dados também para que seja possível realizar um balanço de massa simples, e assim verificar o potencial da pirólise na obtenção de produtos de maior valor agregado.

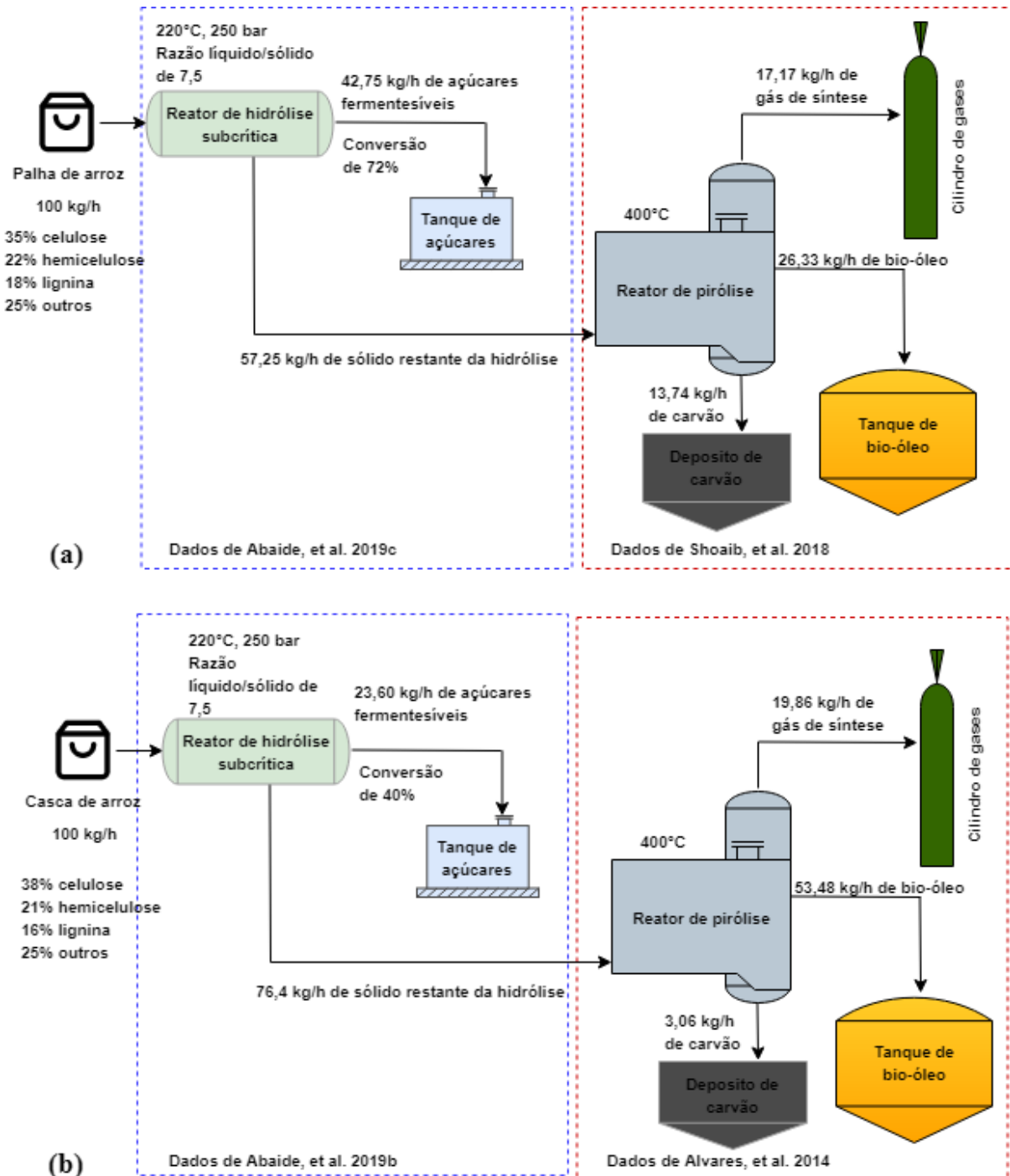
Através das análises dos dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, e também utilizando alguns dados expostos nesse documento que são baseados na literatura, foi possível propor uma rota tecnológica para o processamento ambientalmente amigável da palha, casca e farelo de arroz como é apresentado na Figura 2.

Tabela 2 – Principais resultados obtidos em pesquisas recentes que estudaram a pirólise de palha e casca de arroz.

Biomassa	Parâmetros operacionais	Principais resultados	Fonte
Palha de arroz	Temperatura: 550°C Vazão N ₂ : 0,2 L/min	Rendimento (g/100g de biomassa) Bio-óleo = 29 Gás de síntese = 39 Carvão = 32	Dong, et al. 20148
Casca de arroz	Temperatura: 400°C Vazão N ₂ : 10 L/min	Rendimento (g/100g de biomassa) Bio-óleo = 70 Gás de síntese = 26 Carvão = 4	Alvarez, et al. 2014
Palha de arroz	Temperatura: 400°C Vazão N ₂ : 40 L/min	Rendimento (g/100g de biomassa) Bio-óleo = 46 Gás de síntese = 30 Carvão = 24	Shoaib, et al. 2018
Casca de arroz	Temperatura: 600°C Vazão N ₂ : 40 L/min	Rendimento (g/100g de biomassa) Bio-óleo = 30 Gás de síntese = 32 Carvão = 38	Hsu, et al. (2015)

Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

Figura 2. Rota tecnológica ambientalmente amigável proposta que utiliza tecnologia sub/supercrítica e pirólise para o processamento da (a) palha e (b) casca de arroz.



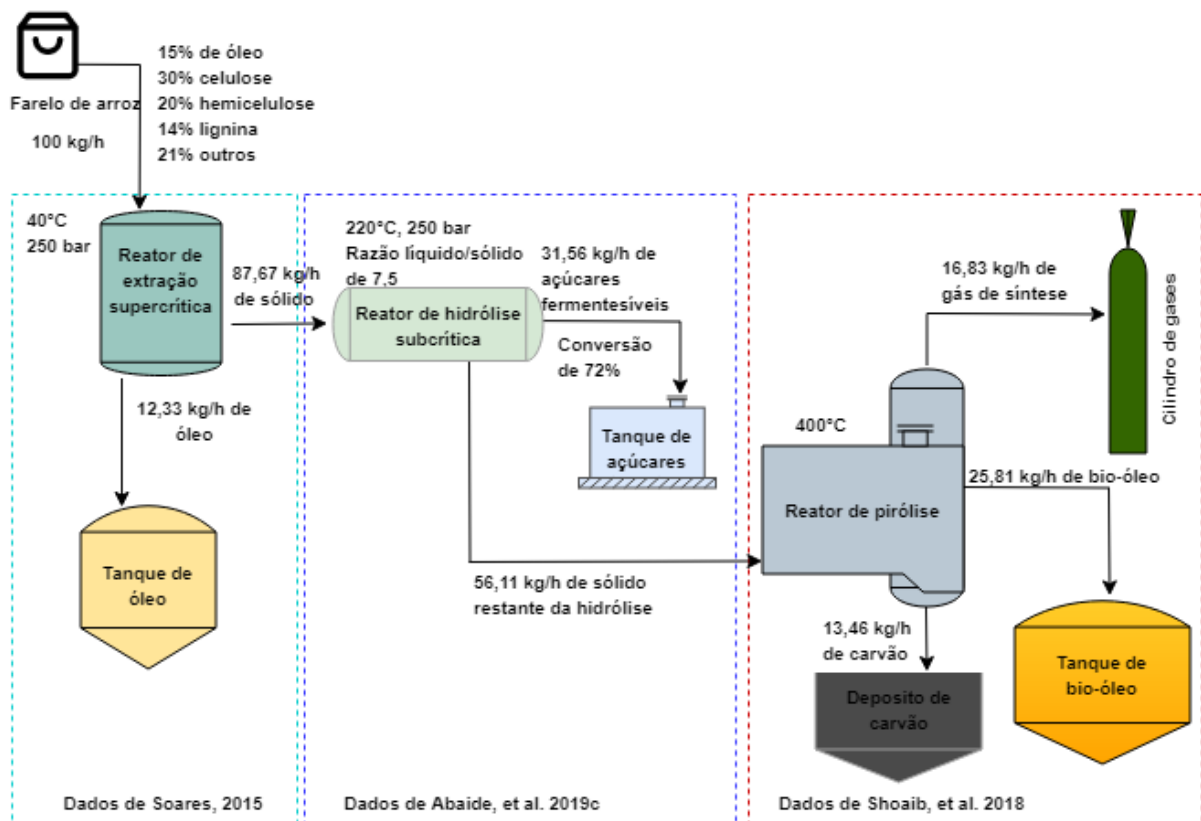
Fonte: Ebalorado pelos próprios autores (2019)

Pela análise da Figura 2(a) é possível observar que a partir de 100 kg/h de palha de arroz é possível se obter 42,75 kg/h de açúcares fermentescíveis, 26,33 kg/h de bio-óleo, 17,17 kg/h de gás de síntese e 13,74 kg/h de carvão. Já pela análise da Figura 2(b) é possível observar que a partir de 100 kg/h de casca de arroz é possível se obter 23,60 kg/h de açúcares

fermentescíveis, 53,48 kg/h de bio-óleo, 19,86 kg/h de gás de síntese e 3,05 kg/h de carvão.

Na sequência é exposta a Figura 3, na qual está proposta uma rota tecnológica ambientalmente amigável, utilizando tecnologia sub/supercrítica e pirólise para processamento do farelo de arroz. Observando com atenção a Figura 3 é possível observar que a partir de 100 kg/h de farelo de arroz é possível obter 12,33 kg/h de óleo, 31,56 kg/h de açúcares fermentescíveis, 25,81 kg/h de bio-óleo, 16,83 kg/h de gás de síntese e 13,46 kg/h de carvão.

Figura 3. Rota tecnológica ambientalmente amigável proposta que utiliza tecnologia sub/supercrítica e pirólise para o processamento de farelo de arroz.



Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

CONCLUSÃO

A grande produção de arroz no estado do Rio Grande do Sul e no mundo traz à tona a importância em pensar-se em alternativas de processamento das biomassas residuais palha, casca e farelo de arroz que sejam ambientalmente amigáveis. Para isso surge a necessidade de se propor rotas tecnológicas com elevado rendimento e eficiência em produtos. Logo, utilizar tecnologias sub/supercrítica e a pirólise tem como vantagem a obtenção de produtos de maior

valor agregado destas biomassas de maneira ambientalmente correta.

REFERÊNCIAS

- Abaide, E.R., Três, M.V., Zobot, G.L., M, A.M. 2019a. **Reasons for processing of rice coproducts: Reality and expectations**. Biomass Bioenergy, 120, 240-256.
- ADRIANA de Souza Martins^{1*}, PAULO de Figueiredo Vieira², TELMA Teresinha Berchielli³ e IVANOR Nunes do Prado. **Degradação ruminal da silagem de milho e da palha de arroz utilizando enzimas fibrolíticas exógenas**, 2008.
- AGRO LINK 2019. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/agrovenda/anuncio/farelo-de-arroz-e-casca-de-arroz-moida_14597.html>. Acesso em 2019
- A.M. Shoaib R.A. El-Adly M.H.M. Hassanean A. Youssry A.A. Bhran. **Developing a free-fall reactor for rice straw fast pyrolysis to produce bio-products**. Egyptian Journal of Petroleum, v.27, pp.1305-1311, 2018.
- ASSOCON 2016, disponível em <<http://www.assocon.com.br/>>. Acesso em 2019.
- C. Moliner, B. Bosio, E. Arato, A. Ribes, **Thermal and thermo-oxidative characterisation of rice straw for its use in energy valorisation processes**, Fuel 180 (2016) 71-79.
- CONAB. **Follow-up of brazilian safra 2015/2016 - grains - eleventh survey**. National supply company, v. 11, p. 1-176, 2016. ISSN 2318-6852.
- E.R. Abaide, S.R. Mortari, G. Ugalde, A. Valério, S.M. Amorim, M.D. Luccio, R.F.P.M. Moreira, R.C. Kuhn, W.L. Priamo, M.V. Três, G.L. Zobot, M.A. Mazutti, **Subcritical water hydrolysis of rice straw in a semi-continuous mode**, J. Clean. Prod 209(1) c (2019) 386-397.
- E.R. Abaide, G. Ugalde, M.D. Luccio, R.F.P.M. Moreira, M.V. Tres, G.L. Zobot, M.A. Mazutti, **Obtaining fermentable sugars and bioproducts from rice husks by subcritical water hydrolysis in a semi-continuous mode**, Bioresour. Technol 272 (2019) b 510-520
- FUJINO, Y. **Rice Lipids**. Cereal Chemistry, v. 55, p. 559-571, 1978IRGA, 2019 <https://irga.rs.gov.br/safras-2>
- IRGA, 2019. Disponível em < <https://irga.rs.gov.br/safras-2> >. Acesso em 2019.
- REGULATORY, C. E. Energy Regulatory Comission database SPP/VSPP. Thailand 2015.
- JACOBS, J.; KREUTZER, R.; SMITH, D. **Rice burning and asthma hospitalizations, butte country**, California, 1983-1992. Environmental Health Perspectives, v. 105, p.980-985, 1997.
- J.F. SOARES, V.D. PRÁ, M. SOUZA, F.C. LUNELLI, E. ABAIDE, J.R.F. SILVA, R.C. KUHN, J. MARTÍNEZ, M.A. Mazutti, **Extraction of rice bran oil using supercritical CO₂ and compressed liquefied petroleum gas**, J. Food Eng. 170 (2016) 58-63.

Jon Alvarez Gartzen Lopez Mainer Amutio Javier Bilbao Martin Olazar. **Bio-oil production from rice husk fast pyrolysis in a conical spouted bed Reactor**, 2014, Fuel, V.128, pp-162-169

MFRURAL 2019. Disponível em <
<https://www.mfrural.com.br/busca.aspx?palavras=farelo+arroz>>. Acesso em 2019

S.M. Shafie, T.M. IMahlia, H.H. Masjuki, **Life cycle assesment of rice straw co-firing with coal power generation in Malaysia**, Energy 57 (2013) 284-294.

YANG, T.; WANG, J.; LI, B.; KAI, X.; LI, R. **Effect of residence time on two-step liquefaction of rice straw in CO₂ atmosphere: differences between subcritical water and supercritical ethanol**. Bioresour. Technol, v. 229, p. 143-151, 2017.