

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO POR MEIO DA VALORIZAÇÃO DA PALHA DE ARROZ: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS Y METANO MEDIANTE LA RECUPERACIÓN DE PAJA DE ARROZ: ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

BIOGAS AND METHANE GENERATION POTENTIAL THROUGH THE RECOVERY OF RICE STRAW: BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Apresentação: Comunicação Oral

Flávio Lucas Azevedo Ferreira¹; Guilherme Gomes de Sousa Magalhães²; Liliana Andréa dos Santos³; Tatiana Souza Porto⁴; André Felipe de Melo Sales Santos⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VCIAGRO.0059>

RESUMO

A palha de arroz, um subproduto da colheita de arroz, é uma biomassa abundante gerada na cultura do arroz, visto que é consumido mundialmente, desde as planícies do sudeste asiático até as extensões dos campos de arroz na América Latina e África, onde o consumo de arroz varia consideravelmente entre regiões e culturas, com algumas áreas dependendo fortemente do arroz como alimento básico, enquanto outras o utilizam de forma mais complementar em suas dietas e um interesse crescente na valorização desse resíduo nas últimas duas décadas. A presente pesquisa apresentou o objetivo de realização de uma análise bibliométrica a respeito da caracterização da palha de arroz para determinação do potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica. Assim, foi feito um levantamento da produção científica acerca do tema escolhido em um período de 23 anos (2000-2024). Para a análise sistemática, utilizou-se a base de dados do *Scopus* e o software VOSviewer para a elaboração das redes e da análise bibliométrica. O levantamento bibliométrico utilizou a combinação de palavras-chave e operadores booleanos: “RICE” AND “STRAW” OR “BAGASSE” OR “MARC”; “ANAEROBIC DIGESTION” OR “METHANE” OR “BIOGAS”; THEORETICAL. Por fim, foram encontrados 67 artigos que se enquadram no âmbito da pesquisa, contudo, para garantir a relevância da pesquisa no que se refere ao tema abordado e os trabalhos vigentes em relação a geração de energia a partir da biomassa da palha de arroz, foi necessário uma filtragem dos trabalhos que resultou em 32 artigos adequados. Como países com maior produção científica no período estudado, destacaram-se: a China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã e a Tailândia, países que também se destacam pela elevada produção e consumo do arroz. Foram também elaboradas redes bibliométricas, por: palavras-chave; autores de maior ocorrência nos artigos; e a de coautoria de autores nos artigos selecionados. Nesse contexto, foi observado que a cultura do arroz se mostra influente em relação a geração de resíduos que corroboram para a elaboração de estratégias de reutilização para gerar energia, o que é confirmado pelos estudos analisados e o desenvolvimento de uma área de pesquisa promissora.

Palavras-Chave: resíduos agrícolas, biogás, metano, valorização de resíduos, bibliometria

RESUMEN

La paja de arroz, un subproducto de la cosecha del arroz, es una biomasa abundante generada en el cultivo del arroz, ya que se consume en todo el mundo, desde las llanuras del Sudeste Asiático hasta las

¹ Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, flavio.lucas@ufrpe.br

² Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, guilhermegomesdesousa123@gmail.com

³ Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, liliana.andrea.santos@gmail.com

⁴ Doutora em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, tatiana.porto@ufrpe.br

⁵ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, andre.felipesantos@ufrpe.br

extensiones de los arrozales de América Latina y África, donde el consumo de arroz varía considerablemente entre regiones. y culturas, con algunas zonas dependiendo en gran medida del arroz como alimento básico, mientras que otras lo utilizan de forma más complementaria en sus dietas y con un interés creciente en la valorización de este residuo en las últimas dos décadas. La presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico respecto a la caracterización de la paja de arroz para determinar el potencial teórico para generar biogás y energía eléctrica. Así, se realizó un relevamiento de la producción científica sobre el tema elegido durante un período de 23 años (2000-2024). Para el análisis sistemático se utilizó la base de datos Scopus y el software VOSviewer para la creación de redes y análisis bibliométrico. La encuesta bibliométrica utilizó una combinación de palabras clave y operadores booleanos: “ARROZ” Y “PAJA” O “BAGAZO” O “MARC”; “DIGESTIÓN ANAERÓBICA” O “METANO” O “BIOGÁS”; TEÓRICO. Finalmente se encontraron 67 artículos que se ajustan al alcance de la investigación, sin embargo, para asegurar la relevancia de la investigación con respecto al tema abordado y el trabajo actual en relación a la generación de energía a partir de biomasa de paja de arroz, fue necesario filtrar los trabajos, que dieron como resultado 32 artículos aptos. Como países con mayor producción científica en el período estudiado destacaron: China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam y Tailandia, países que también destacan por su alta producción y consumo de arroz. También se crearon redes bibliométricas, utilizando: palabras clave; autores con mayor aparición en artículos; y coautoría de autores en artículos seleccionados. En este contexto, se observó que el cultivo de arroz influye en la generación de residuos que apoya el desarrollo de estrategias de reutilización para generar energía, lo cual se confirma con los estudios analizados y el desarrollo de un área de investigación prometedora.

Palabras clave: residuos agrícolas, biogás, metano, valorización de residuos, bibliometría

ABSTRACT

Rice straw, a byproduct of rice harvesting, is an abundant biomass generated in rice cultivation, as it is consumed worldwide, from the plains of Southeast Asia to the expanses of rice fields in Latin America and Africa, where consumption of rice varies considerably between regions and cultures, with some areas relying heavily on rice as a staple food, while others use it in a more complementary way in their diets and a growing interest in the valorization of this residue in the last two decades. The present research aimed to carry out a bibliometric analysis regarding the characterization of rice straw to determine the theoretical potential for generating biogas and electrical energy. Thus, a survey of scientific production was carried out on the chosen topic over a period of 23 years (2000-2024). For the systematic analysis, the Scopus database and the VOSviewer software were used to create networks and bibliometric analysis. The bibliometric survey used a combination of keywords and Boolean operators: “RICE” AND “STRAW” OR “BAGASSE” OR “MARC”; “ANAEROBIC DIGESTION” OR “METHANE” OR “BIOGAS”; THEORETICAL. Finally, 67 articles were found that fit within the scope of the research, however, to ensure the relevance of the research with regard to the topic addressed and current work in relation to energy generation from rice straw biomass, it was necessary to filter the works, which resulted in 32 suitable articles. As countries with the greatest scientific production in the period studied, the following stood out: China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam and Thailand, countries that also stand out for their high production and consumption of rice. Bibliometric networks were also created, using: keywords; authors with the highest occurrence in articles; and co-authorship of authors in selected articles. In this context, it was observed that rice cultivation is influential in relation to the generation of waste that supports the development of reuse strategies to generate energy, which is confirmed by the studies analyzed and the development of a promising research area.

Keywords: agricultural waste, biogas, methane, waste recovery, bibliometrics

INTRODUÇÃO

O arroz é considerado um alimento fundamental em muitas culturas ao redor do mundo, apresentando uma longa história que abrange milênios e continua a desempenhar um papel crucial na alimentação global, tornando-se não apenas um grão vital, mas também um símbolo

de sustento e prosperidade. Diante disso, não se conhece perfeitamente a origem do arroz, mas teorias sugerem que esse cereal é originário do sudoeste asiático, em especial o sul da China, Indochina, Indonésia e Índia (DOMENE, 2021).

A cultura do arroz é de suma importância para alimentação da população, sendo considerado um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, sendo responsável por 18% das calorias e 12% das proteínas da dieta básica da população, além de apresentar uma ampla adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima e sendo a espécie com o maior potencial de aumento de produção e combate a fome no mundo. Assim, em muitos países em desenvolvimento, o arroz é considerado o produto de maior importância econômica, constituindo-se em alimento básico para bilhões de pessoas, garantindo a busca de novas técnicas que possam aumentar a produção (CUNHA, 2021).

No âmbito global, na safra de 2021/2022, foram cultivados 166,6 milhões de hectares, o que proporcionou a colocação do arroz como o terceiro cereal mais produzido e consumido no mundo, estando abaixo apenas para o milho e o trigo (NERY, 2022). Desse modo, é entendido que a cultura do arroz apresenta boa capacidade de adaptação a diferentes climas e tipos de solo, sendo possível o seu cultivo em ecossistemas sequeiros e em áreas inundadas, o que corrobora para um relevante papel econômico para países da Ásia, África e na América Latina, especialmente no Brasil (NERY, 2022).

Entretanto, a produção do grão também leva a produção de resíduos em grandes quantidades: a palha do arroz. Esta biomassa de natureza lignocelulósica pode ser utilizada para queima, incorporação em ração animal, compostagem e produção biocombustíveis. Como fonte de combustível torna-se possível o seu armazenamento e a utilização do gás gerado pela fermentação anaeróbica com possível utilização para aquecimento, iluminação e geração de eletricidade. Essa utilização destaca-se como aderente a produção sustentável de biocombustíveis a partir de resíduos agrícolas, onde a produção de energia/calor pode ser capaz de alcançar ganhos ambientais e econômicos. Destaca-se como uma área promissora levando em consideração o alto e crescente consumo e produção desse cereal, bem como a gestão adequada desse resíduo para a possível geração de energia elétrica (THOMSEN, 2014).

O objetivo desse trabalho foi realizar o mapeamento bibliométrico das publicações relacionadas ao potencial de geração de biogás e metano pela valorização da palha de arroz.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Cadeia produtiva orizícola

A cadeia produtiva orizícola envolve diversas etapas que abrangem desde o cultivo do arroz, por meio da produção agrícola, até o seu processamento e comercialização. Então, destacando a etapa de processamento desse cereal, pode-se observar que, após a colheita, os grãos de arroz são secos para reduzir sua umidade a níveis adequados para armazenamento, seguindo ao descasque, que é a etapa destinada a remover a casca externa e revelar o grão de arroz comestível, para enfim passar pelo polimento, que é caracterizado por remover a película externa para a obtenção de um arroz branco mais refinado, já que, em relação ao armazenamento, os grãos polidos são mais estáveis que os integrais, fator que se deve ao maior teor lipídico e atividades enzimáticas (MENDES, 2024).

As atividades na agroindústria de arroz têm sofrido modificações com objetivo de atender ao consumidor cada vez mais exigente e informado. Assim, os maiores avanços são voltados para boas práticas de fabricação, como análise de perigos, critérios de controle, critérios na seleção e processamento da matéria-prima, rastreabilidade, armazenamento com precisão e diversificação de produção, o que corrobora para um sistema de gestão de segurança alimentar adequado e se baseia em controles de diversas etapas da produção alimentar (DE OLIVEIRA, 2021).

No Brasil, o principal modo de consumo do arroz é na forma de grãos inteiros, destacando o arroz beneficiado polido, o arroz integral e o arroz parboilizado. Assim, como destacado, o arroz beneficiado polido é obtido pelo descascamento e pelo polimento do grão integral, a partir de máquinas que removem parte de suas camadas mais externas, por meio do atrito com os grãos, que corroboram para a obtenção de subprodutos como a casca, o farelo, o gérmen e os grãos quebrados (DE SOUZA, 2022). O arroz integral resulta na retirada somente da casca e é pouco consumido no Brasil, embora seja mais rico em nutrientes que o arroz polido por apresentar uma cobertura fibrosa e gordurosa denominado farelo, levando a dificuldade de cozimento em água. Assim, por preservar a constituição original do grão, possui concentrações mais elevadas de nutrientes, lipídios, proteínas, vitaminas, fibras dietéticas e minerais (DE OLIVEIRA, 2021). Já o arroz parboilizado pode ser consumido na forma integral ou polido, sendo resultado de um processo hidrotérmico, com o arroz ainda em casca, o que provoca a gelatinização parcial ou total do amido, passando, posteriormente, pelo descasque e quando desejado o polimento. Desse modo, em relação ao arroz beneficiado, o processo de parboilização melhora a qualidade nutricional do grão, pois alguns de seus componentes são

redistribuídos como consequência dos efeitos da umidade e temperatura no decorrer do processo hidrotérmico (DE SOUZA, 2022).

Características do resíduo palha de arroz

A estrutura externa do grão de arroz é formada pela casca, ou palha, que é composta por um conjunto de folhas modificadas denominado pálea e grande lema, que constitui uma parte siliciosa e fibrosa não comestível para os seres humanos, cuja principal função é a proteção do grão contra fatores extrínsecos prejudiciais às suas características e qualidade. Contudo, é muito utilizada em sistemas agrícolas como alimento para gado, ovelha, cabras e outros animais ruminantes que apesar de apresentar um valor nutricional relativamente baixo, pode fornecer alguma fibra e nutriente para os animais (DE OLIVEIRA, 2021).

Esse conjunto representa em média 23% de um grão e pode variar com relação à sua percentual, de 17% a 28% entre diferentes culturas e origens, onde a casca é composta de celulose (de 37% a 40%), hemicelulose (de 18% a 24%), lignina (de 12% a 22%) e outros componentes (de 17% a 33%) (DE OLIVEIRA, 2021). Contudo, no processo de beneficiamento do arroz, a casca é responsável por gerar o maior volume entre os subprodutos obtidos, chegando, em média, a 22%. Diante disso, em sua composição, normalmente, observa-se o teor de proteína variando de 2% a 2,8%, gordura de 0,3% a 0,8%, cinzas de 13,2% a 21%, fibras de 34,5% a 45,9% e carboidratos de 22% a 34%. Já o farelo constitui uma das partes mais nutritivas do grão e representa, aproximadamente, 8% do processo de beneficiamento. O farelo, da maneira em que é comercializado, além de ser composto pelo próprio farelo em si, também, possui o gérmen, o que explica seu alto valor nutritivo. O grão, também conhecido como endosperma, é rico em amido e é uma das partes mais consumidas, representando cerca de 70% do cereal (DE SOUZA, 2022).

Gestão de resíduos da indústria orizícola

Observando o processo de beneficiamento do arroz, observa-se a grande geração de resíduos, ou subprodutos, que são: casca de arroz, o farelo e os grãos quebrados, que são chamados de quirera. Dentre os reaproveitamentos diretos dos resíduos, destacam-se a transformação em óleo ou ração para o farelo, matéria-prima para a produção de farinha e de amido pré-cozido voltados para os grãos quebrados e a produção de papel ou até para uso como fonte energética (queima) ou incorporação em ração animal. Cerca de 20% a 25% do peso total de arroz em casca processado se transforma em palha de arroz, o que significa que para cada

tonelada de arroz beneficiado, aproximadamente 200 a 250 quilogramas de palha de arroz são gerados (LORENZETT, 2012). Esse processo é característico pela retirada de impurezas do arroz, que após a limpeza, é seco e armazenado com o intuito de passar novamente por uma peneira, para ser descascado e polido. Gera-se assim diversos resíduos provenientes das impurezas provenientes da lavoura e elementos do próprio cereal (HALBERSTADT, 2015).

A casca de arroz, portanto representa um problema na indústria arroseira, sobretudo em relação ao tratamento de casca de arroz e cinza da casca (quando queimado) devido ao grande volume produzido e dificuldades no seu armazenamento e transporte, já que a maioria das empresas são classificadas como de pequeno porte e não apresentam processos de aproveitamento e descartes adequados dos resíduos e das cinzas produzidas, que são descartadas, geralmente, em terrenos baldios, lixões ou lançadas em cursos d'água, corroborando para a poluição e contaminação de mananciais (HALBERSTADT, 2015).

Em relação a casca de arroz, existem diversas formas de reutilização na agroindústria, como a utilização como combustível direto através da queima direta nas caldeiras por ser classificada como uma ótima fonte de carbono, onde a combustão da casca do arroz nas fornalhas tem-se a cinza como principal resíduo, que é reutilizado, na maioria dos casos, nas lavouras como adubo e produção de cimentos e argamassas, já que não pode ser descartado diretamente no meio ambiente (SAIDELLES, 2012). Destacam-se outros reaproveitamentos desse resíduo, como: processamento de sucos, onde é utilizada como elemento auxiliar na prensagem, sendo misturada uniformemente na polpa da fruta triturada; produção de papel, já que apresenta 32% de celulose, o que viabiliza a sua utilização na indústria, porém é observado 21% de lignina, que dificulta o processo fabril, sendo necessário um pré-tratamento direcionado para a extração dessa lignina; condicionante do solo, sendo utilizado como mistura na composição de substratos para o cultivo de plantas e enraizamento de estacas, por possuir propriedades como baixa densidade, baixa capacidade de reter água, alta concentração de macro poros entre outras (LORENZETT, 2012).

O potencial da palha de arroz para a geração de biogás, metano e energia é uma das alternativas para a solução dessa problemática e pode ser efetiva, já que, a palha de arroz é uma biomassa abundante e de fácil acesso em regiões onde o arroz é cultivado em larga escala. Esse resíduo pode contribuir para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo a transição para fontes mais renováveis e sustentáveis, contribuindo também para economia circular (OLIVEIRA, 2022).

METODOLOGIA

A coleta de dados para pesquisa bibliométrica foi realizada no dia 07 de fevereiro de 2024, a partir do Portal de Periódicos CapesCafe, que permite a utilização das principais bases de dados voltadas para o âmbito acadêmico e de pesquisa, pesquisando documentos científicos sobre a temática: “Potencial de geração de biogás e metano por meio da valorização da palha de arroz”.

Dentre as bases disponíveis, a plataforma *Scopus* se mostrou mais promissora no que se refere ao número de publicações para as palavras-chave selecionadas, o que corroborou para a geração de um banco de dados mais amplo.

Foram utilizadas palavras-chave, seus sinônimos e operadores booleanos ordenados para obtenção de relações que apontassem mais assertivamente para a temática especificada.

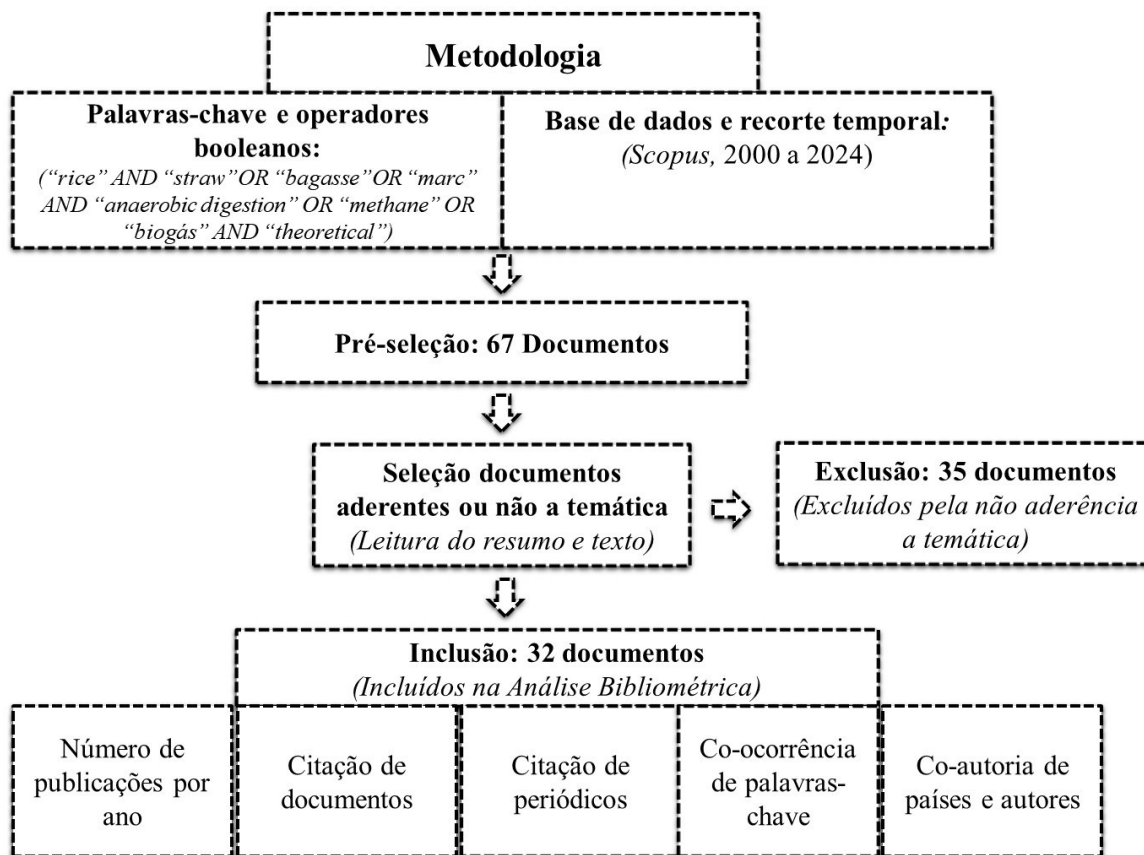
A busca dos documentos foi realizada na plataforma *Scopus*, em inglês, utilizando critérios de seleção baseados nas palavras-chave presentes no TITLE-ABS-KEY. Para a pesquisa, foram utilizados três buscadores: um utilizando “*Rice*” ligado pelo operador booleano “AND” com “*straw*” com outro operador booleano “OR” com “*bagasse*” e “*marc*”; o segundo buscador é destacado por “*Anaerobic digestion*” seguido pelo operador booleano “OR” com “*methane*” e “*biogas*”; por fim o último buscador com “*theoretical*” a fim de direcionar a pesquisa para o âmbito teórico a fim de analisar novos modelos de cálculos e comparações.

Foi definido o recorte temporal entre os anos 2000 a 2024, resultando em 23 anos de pesquisa.

A Figura 01 apresenta as etapas da coleta de dados na base *Scopus* e análise bibliométrica.

Para a análise bibliométrica foi utilizado o software *VOSviewer*[®] e do *Excel*[®] para elaboração de gráficos e tabelas, que permitiram a compilação e classificação dos estudos com base nas palavras-chave, organizações, autores, citações e países que mais publicam.

Figura 01. Descrição da sequência metodológica para seleção de artigos para a análise bibliométrica



Fonte: Própria (2024)

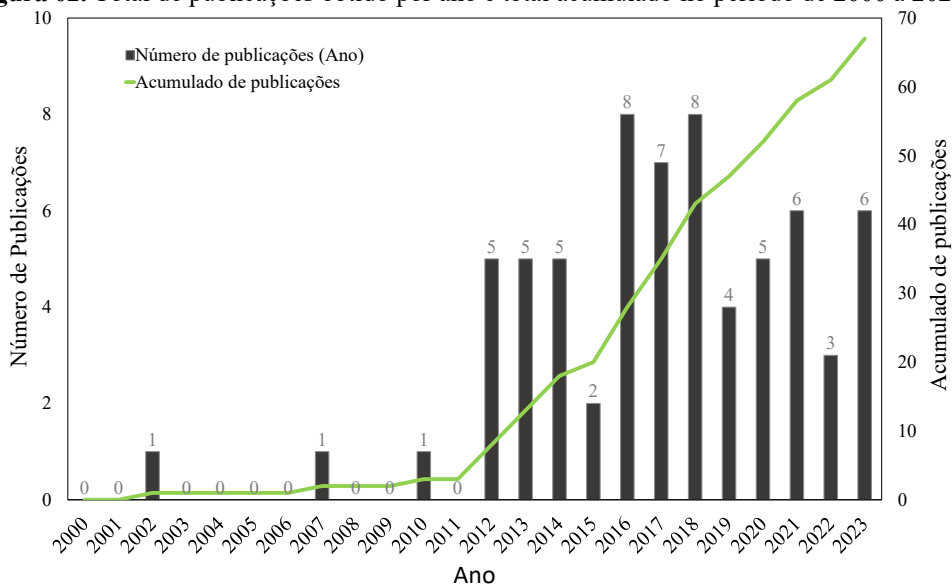
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação metodológica descrita na Figura 01, foram obtidos 32 artigos adequados para a elaboração da análise bibliométrica com relevância para a temática-foco.

A Figura 02, apresenta a evolução no número das publicações por ano e dos totais acumulados, referentes a produção de biogás e metano a partir da valorização da palha de arroz.

Observar que o interesse pelo tema entre os anos 2000 e 2012 foi pequeno, havendo um crescimento substancial a partir do ano de 2012 (Figura 02). O ápice da produção ocorreu entre os anos de 2016 e 2018 com 8 publicações em cada. É possível que o aumento de interesse tenha relação com políticas mundiais de aproveitamento e valorização de resíduos e ainda aspectos relacionados às mudanças climáticas, cujo interesse e aplicação vêm crescendo em aplicações práticas em vários setores.

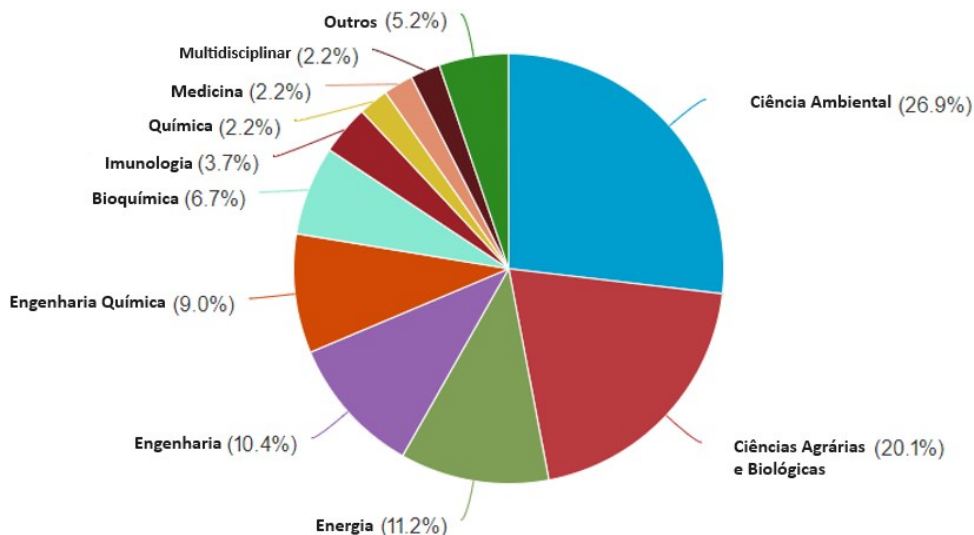
Figura 02. Total de publicações obtido por ano e total acumulado no período de 2000 a 2024.



Fonte: Própria (2024)

Essa consideração pode ser corroborada quando observando-se que a Figura 03, que relaciona-se a divisão das áreas temáticas em foco dos artigos publicados, neste período. Os artigos aderentes ao tema escolhido estiveram voltados prioritariamente para as áreas Ciência Ambiental (26,9%) e Ciências Agrárias e Biológicas (20,1%), somando conjuntamente 47% do total das publicações observadas. O interesse crescente demonstra preocupações relacionadas a um melhor aproveitamento energético desses resíduos na última década, provavelmente relacionada a motivações econômicas e ambientais. A ampliação de estudos indica que a comunidade científica observa a questão como uma oportunidade real de ganhos e vantagens do aproveitamento desse resíduo para fins energéticos, podendo ser aplicado em escala.

Figura 3. Divisão das áreas temáticas observadas nos artigos avaliados no no período de 2000 a 2024



Fonte: Própria (2024)

Análise bibliométrica de citação de documentos

Dos 32 artigos analisados, foi possível destacar 17 documentos com no mínimo 10 citações. Assim, observando a rede bibliométrica, ocorreu a formação de 15 clusters que não apresentam ligação de citação entre eles, o que corrobora para a idéia que as áreas de trabalho possui produção ainda isolada. Dentre os 17 documento, foram selecionados os 5 trabalhos (top 5) mais citados no período de 2000 a 2024, a fim de destacar a abordagem deste em relação ao tema foco (Quadro 01).

Quadro 01. Top 5 documentos mais citados no período de 2000 a 2024.

Ranking	Título	Autor/ Ano	Número de citações	Periódico	Referência
1º	<i>Enhanced biogas production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment</i>	Teghammar (2012)	104	<i>Biomass and Bioenergy</i>	Teghammar et al. (2012)
2º	<i>Enhanced methane production from rice straw co-digested with anaerobic sludge from pulp and paper mill treatment process</i>	Mussoline (2013)	52	<i>Bioresource Technology</i>	Mussoline et al. (2013)
3º	<i>Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues</i>	Thomsen (2014)	41	<i>Biomass and Bioenergy</i>	Thomsen et al. (2014)
4º	<i>Effects of pretreatments on thickened waste activated sludge and rice straw co-digestion: Experimental and modeling study</i>	Abudi (2016)	39	<i>Journal of Environmental Management</i>	Abudi et al. (2016)
5º	<i>The relationships among sCOD, VFAs, microbial community, and biogas production during anaerobic digestion of rice straw pretreated with ammonia</i>	Zuo (2020)	38	<i>Chinese Journal of Chemical Engineering</i>	Zuo et al. (2020)

Fonte: Própria (2024)

O artigo mais citado (104 citações), foi o de Teghammar et al. (2012), “*Enhanced biogás production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment*”, publicado na revista “*Biomass and Bioenergy*”. Esse artigo aborda o pré-tratamento de madeira macia, palha de arroz e palha triticale (um híbrido de centeio e trigo) com N-metilmorfolina – N- óxido (NMMO) antes da digestão anaeróbia para a produção de biogás, o que corroborou para um rendimento de metano em 400 – 1200%, destacando 79% do rendimento teórico de 415 Nml CH₄/gSVde para a palha de arroz.

O segundo artigo mais citado (52 citações), foi escrito por Mussoline et al. (2013), “*Enhanced methane production from rice straw co-digested with anaerobic sludge from pulp and paper mill treatment process*”, publicado na revista “*Bioresource Technology*”, e destaca uma estratégia única de co-digestão para melhorar a produção de metano e reduzir os tempos de digestão para sistemas em escala agrícola, já que a lignina, presente na palha de arroz, retarda a fase de hidrólise, resultando em baixa recuperação de metano e longos períodos de digestão. Para isso, o trabalho adiciona águas residuais de suínos e lodos de fábricas de papel para aumentar os rendimentos específicos de metano, destacando que a hidrólise acelerada da palha esteve diretamente relacionada à quantidade de lodo adicionado.

O terceiro artigo mais citado (41 citações), foi o de Thomsen et al. (2014), “*Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues*”, publicado na mesma revista do primeiro ocupante da lista, visto que também ocorre o foco no estudo dos potenciais teóricos de bioenergia, onde, no trabalho, foram analisados os potenciais de 13 resíduos agrícolas da África Ocidental com base nas suas composições, dentre eles a palha de arroz, por meio do balanço completo da biomassa para cada um dos resíduos, fornecendo uma base para futuras pesquisas sobre a produção de biocombustíveis.

Em quarta colocação (39 citações), se destacou o artigo “*Effects of pretreatments on thickened waste activated sludge and rice straw co-digestion: Experimental and modeling study*”, elaborado por Abudi et al. (2016) e publicado na revista “*Journal of Environmental Management*”, que também como Mussoline et al (2013), explora o potencial da co-digestão, que no caso foi analisado a produção de biogás a partir de lodo ativado de resíduo espessado (TWAS) com a palha de arroz em proporções diferentes seguindo o modelo Gompertz modificado para prever o rendimento de biogás e avaliar os parâmetros cinéticos.

Por fim, com apenas 1 citação de diferença do trabalho anterior (38 citações), se encontra o quinto colocado, e mais recente, “*The relationships among COD, VFAs, microbial community, and biogás production during anaerobic digestion of rice straw pretreated with ammonia*”, de Zuo et al. (2020) publicado na revista “*Chinese Journal of Chemical Engineering*”, que apesar de estar em 5º lugar, se mostra promissor pela investigação dos efeitos da demanda química de oxigênio solúvel, ácidos graxos voláteis e comunidades microbianas na produção de biogás especificamente para a palha de arroz, que também se baseou, como Abudi et al. (2016), no modelo Gompertz modificado que se mostrou o mais adequado para os rendimentos de metano medidos, o que corrobora para que o estudo possa

fornecer base teórica para melhorar a eficiência da digestão anaeróbia de palha de arroz.

Observando-se os Top 5, verifica-se que o foco esteve em usos de pré-tratamentos e determinação de modelos cinéticos ainda em escalas laboratoriais, apontando que a pesquisa ainda encontra-se em desenvolvimento, e que os entraves para seu uso encontram-se justamente nas características de sua constituição lignocelulósica de baixa biodegradação anaeróbia.

Análise bibliométrica de periódicos

Dentre os periódicos que mais publicaram a temática, foram selecionados os 5 com maior número de publicações, concentrando 13 (40,6%) das 32 publicações selecionadas. No Quadro 02 apresenta-se o ranking das 5 revistas que apresentam o maior número de publicações e citações. Observou-se que a revista “Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering”, destacou-se entre as demais, sendo a mesma focada em publicações científicas que abrangem uma ampla gama de temas relacionados à engenharia agrícola. Esta revista é uma importante fonte de pesquisa para profissionais envolvidos na área da engenharia agrícola na China e internacionalmente, o que exemplifica mais uma vez a importância desse tema na economia agrícola chinesa e a preocupação para com a geração e tratamento dos resíduos provenientes do cultivo do arroz, amplamente consumido neste país.

Quadro 02. Top 5 periódicos com o maior número de publicações e citações

Ranking	Periódicos	Documentos	Citações
1º	Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering	5	34
2º	Bioresource Technology	3	114
3º	Biomass and Bioenergy	2	145
4º	Nongye Jixie Xuebao/Transactions of The Chinese Society for Agricultural Machinery	2	4
5º	Process Biochemistry	1	41

Fonte: Própria (2024)

As revistas destacadas em segundo e terceiro lugares, apresentaram um número de citações significativamente maior em comparação com as demais revistas. Estas duas revistas científicas são relevantes para o campo da bioenergia, biotecnologia e de recursos biológicos. A "Bioresource Technology", com 3 documentos e 114 citações, abrange uma ampla gama de tópicos relacionados à utilização de recursos biológicos para produção de energia. Já a "Biomass and Bioenergy", com 2 documentos e 145 citações, concentra-se especificamente na

área de biomassa e bioenergia. Apesar do menor número de publicações, estas revistas são mais amplamente citadas refletindo sua importância como referência de publicação e como veículo de divulgação científica na temática estudada.

Em quarto lugar se encontra a revista “*Nongye Jixie Xuebao/ Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*” com 2 documentos e 4 citações, é uma revista científica chinesa que se dedica ao avanço da pesquisa e desenvolvimento de tecnologias relacionadas à maquinaria agrícola. Onde a relação com o tema abordado é voltada justamente para a engenharia de precisão voltada para o uso de energias provenientes de resíduos agrícolas, entre eles a palha de arroz. Esta revista possui um foco mais prático e aplicado, em relação as demais, que estão mais ligados à publicações de cunho experimental, e em aplicações em escala laboratorial, sem aplicações em maiores escalas ou reais.

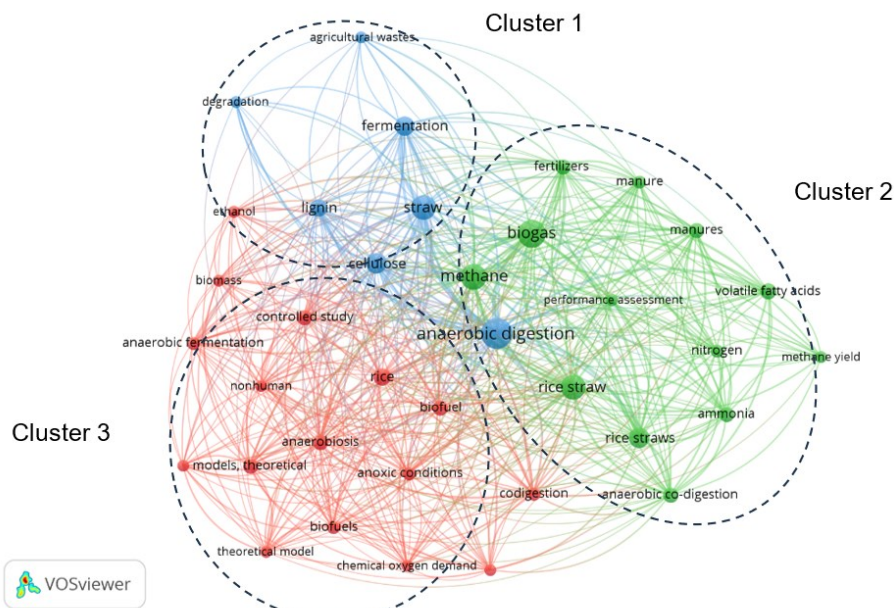
A revista “*Process Biochemistry*”, apesar de contar com apenas um documento presente, se destaca pelo elevado número de citações (41). Este periódico é relevante porque aborda uma ampla gama de tópicos relacionados à bioquímica aplicada e aos processos bioquímicos industriais. Sua importância reside na otimização de sistemas biológicos e na produção em larga escala, especialmente no que diz respeito a biorreatores.

Da mesma forma que o observado nos Top 5 de publicações, os Top 5 de periódicos apontam para periódicos com preponderância de publicações de contribuições ainda em escala laboratorial, indicando que o tema se encontra numa fase embrionária, mas com crescente interesse.

Análise bibliométrica de co-ocorrência das palavras-chave

Observou-se que os dentre os 32 artigos selecionados as palavras-chave com maior força destes e com maior ocorrência foram: “anaerobic digestion”, com 26 ocorrências; “biogas”, com 21 ocorrências; “methane”, com 18 ocorrências; e “rice straw”, com 17 ocorrências. Utilizando o software *VOSviewer*, foi possível elaborar uma rede bibliométrica que agrupou essas palavras-chave em três clusters (Figura 04). O cluster 1, em azul, indicou estudos ligados a natureza agroindustrial e composição lignocelulósica da palha de arroz relacionados a digestão anaeróbia. O cluster 2, em verde, agrupou palavras-chave relacionadas a composição química da palha de arroz relacionados a digestão anaeróbia e relacionados a geração de biogás e metano. O Clusters 3, em vermelho, indicou estudos com interesse e relacionados a modelagem teórica e cinética dos processos bioquímicos relacionados a digestão da palha de arroz. Esses 3 cluster possuem forte correção das áreas de interesse indicando sinergia dessas pesquisas.

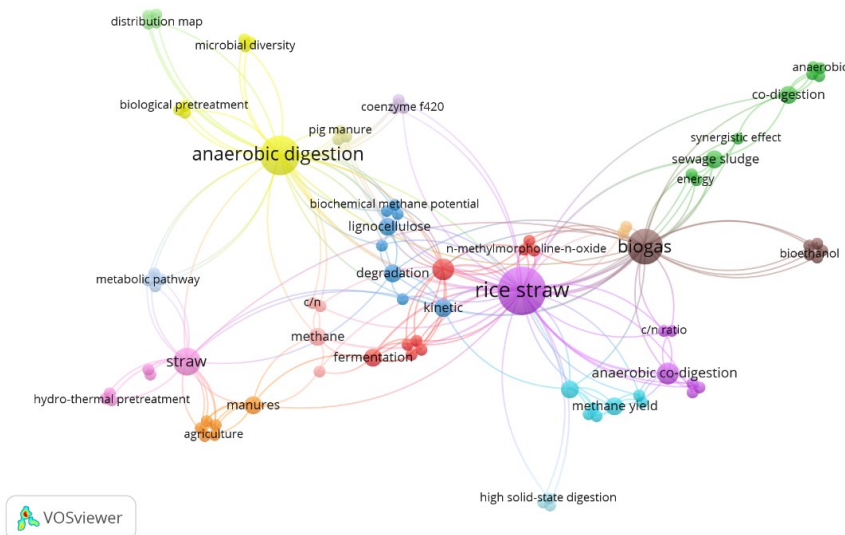
Figura 04. Rede bibliométrica das palavras-chave de maior co-ocorrência nos artigos selecionados no período de 2000-2024.



Fonte: Própria (2024)

Destacando ainda as co-ocorrências de palavras-chave dos autores, foi criada uma rede bibliométrica (Figura 05), onde se observou que a palavra-chave com maior ocorrência e ligação com as demais é “*rice straw*”, com 15 ocorrências, seguida de “*anaerobic digestion*”, com 10 ocorrências, e “*biogas*”, com 8 ocorrências. Assim, identifica-se que os artigos são relevantes para o tema, uma vez que as palavras-chave pertinentes estão diretamente relacionadas ao potencial energético da palha de arroz.

Figura 05. Rede bibliométrica das palavras-chave dos autores de maior ocorrência nos artigos selecionados no período de 2000-2024.

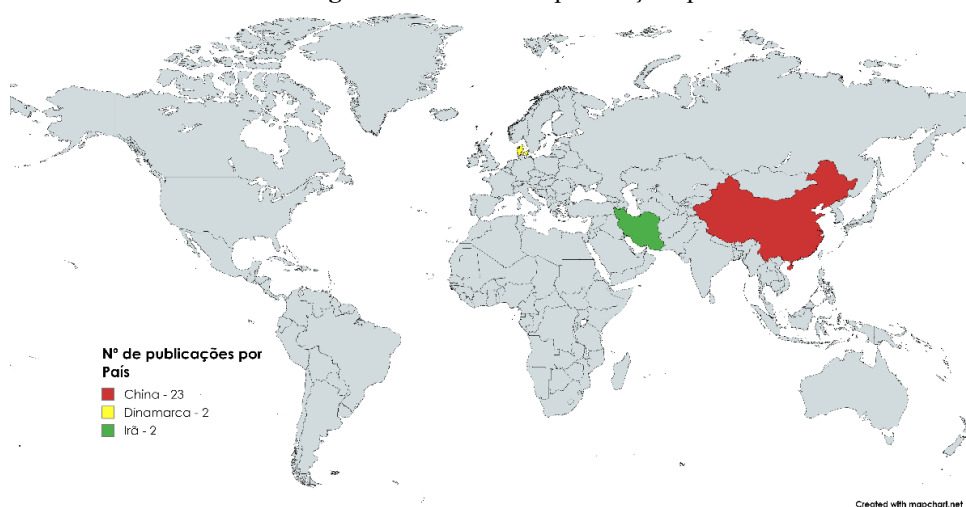


Fonte: Própria (2024)

Análise bibliométrica da distribuição geográfica da produção científica

Em relação a distribuição geográfica da produção científica de autoria e co-autorias, observou-se apenas 3 países destacados: China (23 documentos), Dinamarca (2 documentos) e Irã (2 documentos). Esses 3 países representaram 84,4% da produção científica observada no período. Era esperado um destaque da China (71,9%), em virtude de sua histórica e indissociável relação com a cultura do arroz, entretanto a Dinamarca e Irã, não. Estes países emergentes destacam-se em interesse na pesquisa básica e em aspectos sustentáveis da valorização energética desse resíduo.

Figura 06. Número de publicações por País.



Fonte: Própria (2024)

A rede bibliométrica de coautoria entre os autores nessas publicações é apresentada na Figura 07. Claramente distribuem-se em 3 clusters: o cluster 1 (vermelho) com 8 autores, sendo Yuying Deng, com a maior influência; o cluster 2 (verde) com 7 autores e Xualan Chen, na liderança; e o cluster 3 (azul) com Di He com maior relevância de coautoria. Os 3 autores são chineses corroborando com os resultados anteriores de interesse e destaque da China nas pesquisas relacionadas ao tema-foco.

Figura 07. Rede de pesquisa bibliométrica referente a coautoria de autores nos artigos selecionados.



Fonte: Própria (2024)

CONCLUSÕES

Diante dos resultados desse estudo, foi possível observar um crescente interesse no estudo do potencial de geração de biogás e metano da palha de arroz com objetivos de sua valorização energética e pode ser explorada em diversos aspectos de codigestão e metodologias variadas. Esse fato está relacionado ao crescente cultivo do arroz mundialmente, desempenhando um papel vital na segurança alimentar de muitas populações, especialmente na Ásia, com destaque para China. A geração de resíduos acompanha a crescente produção e portanto alternativas mais adequadas do ponto de vista econômico e ambiental estão cada vez mais sendo requeridas.

Na pesquisa bibliométrica, 32 trabalhos foram analisados no recorte temporal de 23 anos pesquisados (2000-2023). Observou-se destaque para a China em termos de publicações, autoriais e co-autoriais. Esta constatação pode estar associada ao fato da China ser uma grande produtora e consumidora de arroz, e conseqüentemente geradora desse resíduo. Neste sentido. Vem estudando alternativas para sua valorização energética, sendo promissora a produção de biogás tendo em vista sua aplicação desde pequenos a grandes produtores. A digestão anaeróbica desse resíduo ainda é limitada pelas características do próprio resíduo lignocelulósico, que necessita muitas vezes de pré-tratamentos caros e que limitam sua aplicação. Os estudos ainda ocorrem em escalas laboratoriais, em sua maioria, indicando uma fase embrionária da pesquisa, mas com perspectivas que agregam ao ciclo produtivo e economia circular para esta atividade agroindustrial.

REFERÊNCIAS

- ABUDI, Z. N. et al. Effects of pretreatments on thickened waste activated sludge and rice straw co-digestion: Experimental and modeling study. **Journal of environmental management**, v. 177, p. 213-222, 2016.
- CUNHA, D. F. et al. **Bioestimulantes na cultura do arroz inoculado com *Pyricularia grisea***. 2021.
- DE OLIVEIRA, M.; AMATO, G. W. **Arroz: tecnologia, processos e usos**. Editora Blucher, 2021.
- DE SOUZA, S. M.; BASÍLIO, Letícia Silva Pereira; PEREIRA, Joelma. **Grãos de arroz biofortificados: um referencial teórico**. 2022.
- DOMENE, S. M. A. et al. Importância nutricional do arroz e do feijão. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília: Editora Embrapa, p. 147-164, 2021.

HALBERSTADT, K. F. et al. Práticas sustentáveis na destinação dos resíduos resultantes da cadeia produtiva do arroz. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 298-312, 2015.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 1, 2012.

MENDES, K.; **Efeitos de mudanças na política comercial brasileira para a cadeia produtiva do arroz.** 2024.

MUSSOLINE, et al. “Enhanced Methane Production from Rice Straw Co-Digested with Anaerobic Sludge from Pulp and Paper Mill Treatment Process.” **Bioresource Technology**, v. 148, p. 135–143, 2013.

NERY, I. B. D.; CELLA, D. **ARROZ: uma descrição do mercado.** **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 549-460, 2022.

OLIVEIRA, M. P. Pré-tratamento hidrotérmico de cama de aviário sintética a base de palha de arroz para a produção de biogás via digestão anaeróbia. 2022.

SAIDELLES, A. P. F. et al. Gestão de resíduos sólidos na indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 904-916, 2012.

TEGHAMMAR, A. et al. Enhanced biogas production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment. **Biomass and Bioenergy**, v. 36, p. 116-120, 2012.

THOMSEN, S. T.; KÁDÁR, Z.; SCHMIDT, J. E.. Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 63, p. 210-217, 2014.

ZUO, XIAOYU, et al. “The Relationships among SCOD, VFAs, Microbial Community, and Biogas Production during Anaerobic Digestion of Rice Straw Pretreated with Ammonia.” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 28, no. 1, Jan. 2020, pp. 286–292.

ZUO, X. et al. The relationships among sCOD, VFAs, microbial community, and biogas production during anaerobic digestion of rice straw pretreated with ammonia. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 28, n. 1, p. 286-292, 2020.