



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**ANÁLISE DE NOVAS TECNOLOGIAS EM ARMAZENAGEM E  
BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NA ERA 4.0**

**Chapadina – MA  
Julho 2023**

**ANÁLISE DE NOVAS TECNOLOGIAS EM ARMAZENAGEM E  
BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NA ERA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Coordenação de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal do Maranhão como requisito  
parcial para a obtenção do título de  
Engenheiro Agrícola.

**DIEGO MENDES SOUSA**

**Orientador: Prof. Dr. Patricio Gomes Leite**

**Chapadinha – MA**

**Julho 2023**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa, Diego Mendes.

Análise de Novas Tecnologias em Armazenagem e  
Beneficiamento de Grãos na Era 4.0 / Diego Mendes Sousa. -  
2023.

25 f.

Coorientador(a): Jordânio Inácio Marques.

Orientador(a): Patrício Gomes Leite.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola,  
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2023.

1. Agricultura 4.0. 2. Automação agrícola. 3. Pós  
colheita de grãos. 4. Sistema inteligentes. I. Leite,  
Patrício Gomes. II. Marques, Jordânio Inácio. III.  
Título.

TCC defendido e aprovado, em 20 de Julho de 2023, pela Comissão Examinadora  
constituída pelos professores:

---

Prof. Dr. Patrício Gomes Leite  
**(Orientador)**

---

Prof. Dr. Jordânio Inacio Marques  
**(Coorientador)**

---

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado  
**(Examinador)**

---

Prof. Dr. Washington da Silva  
**(Examinador)**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar e me dar forças para superar todos os desafios e concluir meus estudos.

À minha família, principalmente minha mãe, Maria de Jesus, meu pai, Horlando, meus irmãos Herica e Hermenson, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos. À minha noiva Thaila Rodrigues, pelo incentivo e compreensão durante todo o processo.

Ao meu orientador professor Patricio Leite Gomes, pela paciência em ter me guiado nesta jornada.

Aos meus amigos de turma e da Universidade pelo apoio e companheirismo durante toda a minha trajetória acadêmica. Em especial a Luanne Freitas, que me ajudou em todas as horas durante essa importante etapa da minha vida e a Ana Paula Fortes, por ter me ajudado sempre que preciso.

Ao professor Khalil de Menezes Rodrigues, pela amizade, conselhos e ensinamentos ao longo do curso.

Aos grupos de pesquisa GETAD, que tem como líder o professor Washington da Silva Sousa e NEPF, que tem como líder o professor Edmilson Igor Bernado Almeida, pelos aprendizados repassados.

À Universidade Federal do Maranhão, por proporcionar um ambiente de aprendizado e crescimento. Muito obrigado a todos!

## RESUMO

O complexo de armazenagem do setor agrícola não têm acompanhado o ritmo de crescimento das safras, verificando-se déficits importantes em alguns Estados com a necessidade eminente de incorporação de tecnologias para modernização da indústria de armazenagem e beneficiamento dos grãos. Nesse sentido, o objetivo com este estudo foi realizar uma pesquisa quali-quantitativa novas tecnologias no que se refere à armazenagem e beneficiamento de grãos na era da indústria 4.0 no Estado do Maranhão. Para tanto, realizou-se uma pesquisa documental e estatística, a partir da análise de relatórios técnicos da CONAB, sobre o uso dessas novas tecnologias no setor agrícola e suas descobertas. Assim, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso é analisar, o sucesso de algumas das novas tecnologias no que se refere à armazenagem e beneficiamento de grãos na era da indústria 4.0, segundo dados do CONAB no Estado do Maranhão. Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária o agronegócio é um dos setores mais promissores para fomentar o desenvolvimento nas próximas décadas no Brasil. Como resultados identificaram que a Agricultura 4.0 e sua terminologia ainda é desconhecida pelos produtores rurais, apesar de muitas práticas e diversos equipamentos tecnológicos provenientes da transformação digital estarem presentes na gestão da produção, do beneficiamento e do armazenamento de grãos e que os investimentos públicos e privados nas ferramentas da indústria 4.0 ainda são incipientes no contexto analisado, mas mostram potencial para incrementar a produção, a comercialização e a exportação de grãos provenientes do MATOPIBA.

**Palavras-chave:** Agricultura 4.0; Automação agrícola; Pós colheita de grãos; Sistemas inteligentes.

## ABSTRACT

The agricultural sector's storage complex has not kept up with the pace of crop growth, with significant deficits occurring in some States with the imminent need to incorporate technologies to modernize the grain storage and processing industry. In this sense, the objective of this study was to carry out qualitative and quantitative research on new technologies regarding the storage and processing of grains in the era of industry 4.0 in the State of Maranhão. To this end, documentary and statistical research was carried out, based on the analysis of CONAB technical reports, on the use of these new technologies in the agricultural sector and their discoveries. According to data from the Brazilian Agricultural Research Corporation, agribusiness is one of the most promising sectors for promoting development in the coming decades in Brazil. The results identified that Agriculture 4.0 and its technology are still unknown to rural producers, despite many practices and diverse technological equipment resulting from digital transformation being present in the management of production, processing and storage of grains and that public and private investments in industry 4.0 tools are still incipient in the analyzed context, but show potential to increase the production, commercialization and export of grains from MATOPIBA.

**Keywords:** Agriculture 4.0; Agricultural automation; Post grain harvest; Intelligent systems.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>DISCUSSÃO E RESULTADOS .....</b>	<b>17</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>



## INTRODUÇÃO

A literatura aponta o Brasil como um dos principais países no setor agrícola, especialmente na produção e comercialização de *commodities*, como a soja (PATURCA, 2018). Esse destaque se deve, em grande parte, ao emprego de tecnologia de ponta na produção e o contínuo crescimento no cultivo de grãos em todo país, impulsionado pelo investimento em pesquisas e tecnologia agrícola. Esse cenário contribuiu para o amplo destaque da participação do Brasil no comércio agrícola internacional. No entanto, apesar do desempenho positivo do setor agrícola, é necessário avançar nos serviços de armazenagem e beneficiamento de grãos, acompanhando as tendências de modernização da indústria 4.0 (MARTINS, 2019).

A capacidade de armazenagem de grãos não tem acompanhado o crescimento das safras ao longo dos anos, resultando em déficits, especialmente em áreas recentemente incorporadas ao processo produtivo e na modernização dos métodos de armazenagem e beneficiamento de grãos (GABAN; SILVA; GUARNIERI; BRISOLA, 2017). Entre esses impactos estão as perdas de Safra já que a falta de capacidade de armazenagem leva a perdas significativas devido à deterioração e deterioração dos grãos, além da ineficiência logística no transporte de grãos, o que pode prejudicar os produtores e os elos seguintes na cadeia, a falta de armazéns em regiões estratégicas e a dificuldade na rastreabilidade de grãos.

Por outro lado, a chamada quarta revolução industrial, conhecida como indústria 4.0, propõe a transformação dos processos em todos os setores econômicos, visando a maior eficiência, precisão e tecnologia. Nesse contexto, a agricultura também deve se adaptar a esse movimento (MARTINS, 2019).

No entanto, apesar dos esforços do governo e de parcerias para modernizar e desenvolver novas técnicas para o agronegócio no Brasil, especialmente no Nordeste, ainda é evidente o atraso tecnológico na agricultura dessa região, mesmo em estados como o Maranhão, que possuem condições favoráveis para diversas culturas agrícolas e um regime pluviométrico regular em grande parte do território.

Segundo dados da CONAB, na safra 2020/2021, a estimativa de produção de grãos no Maranhão foi de cerca de 7,3 milhões de toneladas. Os principais grãos cultivados no estado incluem soja, milho e arroz. A cultura da soja tem ganhado destaque na região, com um aumento expressivo na área plantada e na produtividade. Na safra 2020/2021, a produção de soja no Maranhão foi estimada em aproximadamente 3,9

milhões de toneladas. Já a produção de milho tem apresentado um crescimento consistente, impulsionada principalmente pela demanda da indústria avícola e suinícola. Na safra 2020/2021, a produção de milho no estado foi estimada em cerca de 2,6 milhões de toneladas. Em relação ao arroz, o Maranhão também se destaca como um importante produtor.

Na safra 2020/2021, a estimativa de produção de arroz foi de aproximadamente 980 mil toneladas. Nesse sentido, o próprio CONAB estabelece que tecnologias 4.0 têm o potencial de melhorar significativamente a eficiência, a qualidade e a segurança no beneficiamento e armazenamento de grãos, proporcionando maior controle sobre os processos e reduzindo desperdícios e perdas. No entanto, é importante lembrar que a adoção dessas tecnologias pode variar em diferentes regiões e setores da indústria agrícola, dependendo dos recursos disponíveis e dos investimentos realizados em cada região.

O estado do Maranhão desempenha um papel significativo na produção de soja no contexto do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), segundo dados do CONAB (2023), a produção de milho e soja no estado do Maranhão deverá crescer 3,7% e 5,5%, podendo chegar a 3 milhões de toneladas e 3,77 milhões de toneladas, respectivamente. As informações estão no 5º Levantamento da Safra de Grãos 2022/2023, o aumento de área plantada esperado para a soja no estado é de 3,4%, em relação à safra anterior, projetada em 1,1 milhão de hectares. A produtividade média prevista é de 3.392 kg/ha, o que resulta na produção estimada pela estatal.

Nesse sentido, o Porto do Itaqui, funciona como um importante terminal marítimo na região, tem desempenhado um papel crucial no escoamento de grãos de todo o Arco Norte, incluindo a soja produzida. A eficiência desse porto tem contribuído para a exportação de grãos e o fortalecimento da posição do MATOPIBA no mercado global de commodities agrícolas. A produção de soja na região do MATOPIBA, da qual o Maranhão faz parte, é fundamental para a economia agrícola brasileira e para atender à crescente demanda global por alimentos e rações.

Nesse contexto, o objetivo com esta pesquisa é analisar o impacto das novas tecnologias na armazenagem e beneficiamento de grãos na era da indústria 4.0 na Região do MATOPIBA, especialmente no que diz respeito ao Estado do Maranhão, através de uma pesquisa documental e estatística, utilizando relatórios técnicos da CONAB.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Levando em consideração o panorama nacional, conforme os dados fornecidos pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) (CNA, 2020), o setor do agronegócio desempenha um papel fundamental na economia do Brasil. No ano de 2019, esse setor representou 21,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, com uma contribuição total de R\$ 1,55 trilhão em termos de bens e serviços produzidos. Além disso, o Valor Bruto da Produção (VBP) no setor agropecuário atingiu R\$ 651,5 bilhões em 2019, aumentando para R\$ 728,68 bilhões em 2020, o que representa um crescimento de 8,8% em relação ao período anterior. Para o ano de 2020, estima-se um crescimento de 9% no PIB e um aumento de 17,4% no VBP, mesmo considerando que tenha sido um ano atípico devido à pandemia global de COVID-19. De acordo com a ferramenta AGROSTAT, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o setor do agronegócio registrou um superávit de US\$ 87,76 bilhões na balança comercial brasileira em 2020, com receita de exportações totalizando US\$ 100,8 bilhões. Esses números ressaltam a importância do setor agropecuário brasileiro como um dos principais atores no mercado global do agronegócio, sendo responsável por fornecer produtos aos demais países.

Sobre o impacto da agricultura no emprego brasileiro no mercado de trabalho Segundo a pesquisa Nacional por Amostra de domicílios (PNAD) de 2015, um terço dos brasileiros trabalha nesse setor. Esses números figuram uma população de 30,5 milhões, que oferece mão de obra em diversos setores da cadeia como a agropecuária, comércio agrícola serviço agrícola e agronegócio (CNA, 2020).

De modo geral, o setor agrícola é importante para o equilíbrio do comportamento humano e é um alicerce fundamental em muitos aspectos. Dessa forma, é preciso estimular o debate sobre esse tema, para que ele evolua para garantir a segurança alimentar e proteger o meio ambiente e, sobretudo, manter a economia brasileira ativa, rentável para os produtores, gerando empregos e relacionamentos. anunciar. Ao considerar a representação do campo para a sociedade, é preciso focar em como a agricultura pode melhorar e até inovar. O próprio agronegócio, tanto para garantir o alimento na mesa dos consumidores quanto para proporcionar o maior retorno financeiro aos produtores, seguindo o conceito de capital, precisa produzir mais produtos com menor custo, aumentando assim a lucratividade do negócio (CHEN e YANG, 2019).

Várias abordagens para o manejo de cultivos surgiram ao longo dos anos, com foco na Revolução Verde em meados do século XX. Esse movimento trouxe avanços na produção de alimentos em escalas até então inimagináveis em solos considerados impróprios para cultivo, tudo graças ao avanço tecnológico proporcionado por insumos químicos, novas sementes e práticas agrícolas (PERES et al. 2003), a revolução verde não trouxe esses conceitos para a responsabilidade ambiental e produzir mais com menor custo, também chamada agricultura 4.0 (BASSOI et al., 2019).

Pode-se dizer que a agricultura 4.0, que também é conhecida como Agro 4.0, Agricultura Digital ou Agricultura Inteligente, tem como objetivo alcançar um equilíbrio no processo agrícola, aumentando a produtividade e reduzindo custos por meio da diminuição do uso de insumos, através da aplicação de tecnologias provenientes da conectividade e da internet. Dessa forma, trata-se de uma abordagem de gestão que valoriza práticas sustentáveis, ao mesmo tempo em que busca aumentar a produção de alimentos para atender às necessidades da sociedade, criar oportunidades de emprego, melhorar a rentabilidade dos agricultores e preservar o meio ambiente (KERNECKER et al. 2019).

Segundo Kernecker (2019), trata-se de um movimento derivado do fenômeno conhecido como Indústria 4.0, responsável por promover a digitalização das operações industriais e considerado a quarta revolução industrial. Esse impulso teve início nos países desenvolvidos, como Alemanha, Estados Unidos e China, onde a conectividade e a tecnologia foram introduzidas nas etapas de produção industrial por meio da internet. Essas técnicas tornaram-se populares e foram adaptadas para serem aplicadas em outros setores, com diferentes finalidades. O setor agrícola não foi exceção e passou a incorporar essas técnicas, juntamente com outras já existentes, como a Agricultura de Precisão.

## **A Indústria 4.0**

Na era da transformação digital, a Agricultura 4.0 emerge como uma realidade no meio rural, impulsionada por técnicas interligadas à arquitetura digital e o uso da internet.

(MASSRUAH et al. 2020). Esse movimento é fortemente influenciado pelo conceito de Indústria 4.0, considerado a quarta revolução industrial. Assim como ocorreu historicamente, as sinergias entre o setor industrial e a agricultura têm se refletido, resultando em avanços tecnológicos aplicados à produção rural. Essa transformação é fruto do legado que o mesmo sistema foi implementado nas indústrias, por meio do

conceito denominado como Indústria 4.0, considerada a quarta revolução industrial.

As sinergias entre o setor industrial e a agricultura sempre existiram. O movimento histórico da produção industrial acabou por se refletir no setor rural. Através da Revolução Industrial, muitos de seus conceitos foram transferidos para vários campos. Desde a mecanização, mudanças nos métodos de produção por meio de novas fontes de energia, seguidas de tecnologias de automação, essas inovações também foram trazidas para a produção rural. O mesmo vale para a chamada quarta revolução industrial (LIAO et al, 2021).

Em mesmo sentido, Liao et al. (2017) ainda apresenta, já no início da década de 2010 iniciou-se uma transformação na produção industrial, com a adoção de novidades tecnológicas com a finalidade de modernizar as operações dentro das fábricas. Com a consolidação e o pleno desenvolvimento do serviço de internet nas grandes potências mundiais, foi associada seu uso junto a produção nas indústrias por meio da robotização, internet das coisas (IoT) e ciência de dados. O termo “Indústria 4.0” surgiu na Alemanha em 2011 na Feira de Hannover, e foi estabelecido esse nome ao movimento. Porém diversos outros países, como EUA, China e Austrália, também empregaram em período análogos os avanços tecnológicos em suas plantas industriais, em prol de fortalecer e buscar vantagens competitivas.

É preciso relembrar que a Indústria 4.0 pode trazer inúmeros benefícios para a produção industrial, aumentando a eficiência em todo o processo. Para estabelecer e consolidar a manufatura por meio de “fábricas inteligentes”, nove pilares tecnológicos devem ser implementados para sustentar a transformação digital, como big data e análise de dados (blockchain); robótica autônoma; simulação; integração horizontal e vertical de sistemas; Internet das Coisas industrial; segurança de rede; nuvem; manufatura aditiva; e realidade aumentada (KERNECKER et al. 2019).

Lasi et al. (2014) relacionam esse movimento à Quarta Revolução Industrial. Esse fenômeno traz avanços nos processos por meio de IoT, robótica, big data e inteligência artificial (IA). Essas ferramentas aliadas à automação, grande representante da terceira revolução, permitem a comunicação entre diferentes máquinas, levando a produção a um novo patamar de aperfeiçoamento, eficiência e customização. Permite produção em larga escala, uso racional de recursos e, conseqüentemente, aumento da lucratividade.

## **Armazenamento e beneficiamento de grãos na era 4.0**

Neste contexto de uma agricultura cada vez mais competitiva e tecnológica ao longo dos anos, o crescimento da produção de grãos no Brasil se destaca como um indicador sólido desse progresso. De acordo com os dados da Companhia Brasileira de Abastecimento (CONAB, 2020), espera-se que o Brasil supere a marca de 250 milhões de toneladas de grãos na safra 2019/2020, representando um aumento de 4% ou 9,7 milhões de toneladas em relação à safra anterior. Além disso, ao analisar a evolução da produção brasileira de grãos nos últimos 20 anos, de acordo com a Conab, constata-se um crescimento de aproximadamente 150% desde a safra 2000/2001 até o momento atual, com uma média anual de aumento de 7,5% nesse período. Por outro lado, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o Produto Interno Bruto (PIB), que é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, atingiu o patamar de 7,5% somente em 2010 no mesmo período, e em alguns anos até apresentou números negativos.

O Brasil tem atualmente uma capacidade estática de armazenamento de aproximadamente 167 milhões de toneladas de grãos. Considerando a previsão de produção de grãos apenas da Conab para a safra 2019/2020 de cerca de 251 milhões de toneladas, há um déficit de armazenamento de 84 milhões de toneladas. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) que o país deve ter capacidade estática de armazenamento 20% superior à sua produção de grãos, o Brasil teria capacidade estática de armazenamento de aproximadamente 301 milhões de toneladas, elevando o déficit de armazenamento para 134 milhões de toneladas de grãos (ROCHA, 2021).

Nesse sentido, é essencial utilizar uma variedade de técnicas pós-colheita que visem controlar os processos metabólicos, considerando a crescente demanda por alimentos de alta qualidade e em quantidade suficiente, elementos fundamentais para a segurança alimentar. Atualmente, é comum a percepção de que o objetivo dos processos pós-colheita é apenas o armazenamento dos grãos. No entanto, é necessário reduzir esse tipo de pensamento e conscientizar todos os envolvidos de que, na verdade, estamos preservando alimentos. Assim, podemos adicionar mais uma ferramenta para reduzir as perdas e promover a segurança alimentar. É fundamental combater a ideia comum em unidades de armazenamento de que a perda de qualidade do produto não é significativa se o grão for utilizado como matéria-prima na produção de rações, por exemplo. Essa

mudança de paradigma na área de pós-colheita é necessária, pois essas rações serão consumidas por uma variedade de espécies de animais que, por sua vez, podem se tornar alimentos para os seres humanos. Diversos tipos de micotoxinas produzidas pelo metabolismo de fungos em grãos deteriorados não podem ser completamente eliminados na agroindústria e, portanto, podem contaminar os seres humanos que consumirem esses alimentos (SOUZA, 2020).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, adotou-se um procedimento metodológico que integra pesquisa documental e estatística, baseando-se em dados coletados em plataformas oficiais. Especificamente, as informações relativas às técnicas de armazenamento e beneficiamento de grãos utilizadas neste estudo foram obtidas por meio de pesquisas realizadas em plataformas como o Cadastro Nacional de Unidades de Abastecimento (ABA), uma iniciativa criada e mantida pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

A metodologia utilizada neste trabalho é quali-quantitativa, resultando em relatórios estatísticos e numéricos ao final do estudo. A população-alvo são as cooperativas agrícolas presentes no Cadastro Nacional de Unidades de Abastecimento (ABA). A primeira atividade realizada foi o levantamento bibliográfico para a construção do referencial teórico que sustenta as hipóteses e resultados encontrados no estudo. Nessa etapa, foram consultadas teses, dissertações, artigos científicos e livros sobre o tema, publicados em plataformas oficiais como Scielo, Spell, Banco de teses e dissertações da Capes. Foram selecionados textos em língua portuguesa e inglesa, publicados até o ano de 2023 e que corroborassem com os objetivos deste trabalho científico.

A segunda etapa consistiu em uma pesquisa de caráter documental, realizada no banco de informações da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), acerca dos desafios e dos usos da tecnologia de agricultura 4.0 e da automação agrícola nos resultados obtidos pelo MATOPIBA. Para garantir uma estimativa confiável da média populacional, foi utilizado o cálculo do tamanho da amostra, seguindo a fórmula adequada para atingir um grau de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%. Serão construídos gráficos e tabelas para demonstrar, de forma estatística, as novas tecnologias mais utilizadas e os níveis de sucesso e indicadores associados a cada uma delas.

A metodologia utilizada neste trabalho foi quali-quantitativa, resultando em relatórios estatísticos e numéricos ao final do estudo. A população-alvo do estudo foram as cooperativas agrícolas do Cadastro Nacional de Unidades de Abastecimento (ABA), criado e mantido pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Para garantir uma estimativa confiável da média populacional, foi utilizado o cálculo do tamanho da



amostra utilizou-se a seguinte fórmula:

$$n: Z^2pq/ d^2$$

onde:

n: Número de indivíduos na amostra;

Z: Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

p: proporção estimada do atributo desejado na população;

q: 1-p;

d: Desvio padrão populacional da variação estudada.

Por fim, para garantir a precisão dos resultados, foram analisadas a quantidade necessária de empresas até alcançar um grau de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%. Além disso, foram elaboradas tabelas que ilustram os achados de pesquisa, e demonstraram estatisticamente o uso das novas tecnologias mais utilizadas e os níveis e indicadores de sucesso com cada uma delas. Assim, os resultados de pesquisa foram lidos, organizados, tabulados, analisados e passam a compor a sessão seguinte denominada discussão e resultados.

## DISCUSSÃO E RESULTADOS

Do ponto de vista prático, este estudo levantou informações que podem técnicos e pecuaristas na avaliação dos impactos dos avanços da chamada “indústria 4.0” na armazenagem e beneficiamento de grãos no Brasil. Tais observações poderão ser úteis no levantamento dos pontos positivos e negativos dessas práticas e preencher as lacunas com relação ao que ainda precisa ser desenvolvido no campo, de uma perspectiva teórico metodológica.

Sobre os resultados de pesquisa, em primeiro lugar cita-se os dados do CONAB (2021), que indicam que projeções para a década de 2030 revelam a significativa presença da agricultura familiar em diversas esferas da produção de grãos no MATOPIBA. Essas informações são cruciais, pois proporcionam insights sobre o potencial desse setor. Os dados informam que esse setor conta com 1 (um) milhão de estabelecimentos de armazenagem de produtos agrícolas, espalhados nos três Estados que o compõem. Destes, 908 mil são considerados de natureza familiar. Nesse âmbito, a agricultura familiar representa 82,8% dos estabelecimentos e contribui com 60% do valor gerado.

Entretanto, no caso das atividades relacionadas à produção de soja, feijão e milho, a agricultura familiar desempenha um papel menos relevante. Na produção de soja, sua participação no volume total alcança apenas 9%, enquanto no caso do feijão e do milho, essa participação é de 12% cada. A análise desses números sugere que esse cenário pode ser atribuído, em parte, à influência da economia de escala e da tecnologia, que são fatores essenciais na produção agrícola moderna. Esses fatores tendem a marginalizar os estabelecimentos com menor escala de produção.

No caso das atividades relacionadas à produção de soja, feijão e milho, a agricultura familiar desempenha um papel menos relevante. Na produção de soja, sua participação no volume total alcança apenas 9%, enquanto no caso do feijão e do milho, essa participação é de 12% cada. A análise desses números sugere que esse cenário pode ser atribuído, em parte, à influência da economia de escala e da tecnologia, que são fatores essenciais na produção agrícola moderna (CONAB, 2021).

Já no que se refere a essa escalada da tecnologia, com a chegada da Agricultura 4.0, a pesquisa à base de dados do CONAB (2021) e a outros documentos acerca da produção, beneficiamento e armazenamento de grãos no Estado maranhão, enquanto

participante do MATOPIBA, indicam que as técnicas de armazenamento e beneficiamento de grãos 4.0 utilizadas por agricultores no Estado do Maranhão incluem uma variedade de tecnologias e práticas avançadas, muito ligadas à internet das coisas e à informatização de processos. Uma pesquisa realizada em parceria entre a EMBRAPA, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e revelou que 84% dos agricultores já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola. As técnicas mais utilizadas estão descritas no quadro 01.

**Quadro 01** – Tecnologias 4.0 mais utilizadas por agricultores MA

Monitoramento remoto
Secagem avançada
Silos inteligentes
Controle de pragas
Rastreabilidade e gestão de dados

**Fonte:** Dados de pesquisa (2023).

Uma das limitações da pesquisa foi o fato de que durante sua realização, percebeu-se a dificuldade em obter dados precisos quanto ao Estado do Maranhão, propriamente. Entretanto, quando analisado no conjunto que ele compõe, isto é, a região do MATOPIBA, torna-se mais fácil obter esses dados. O MATOPIBA se refere a um acrônimo da área de intersecção dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia com área de 73.173.485 hectares, correspondendo aproximadamente a 1,3 vezes a área da França, envolvendo 337 municípios, uma área de expansão agrícola que tem contribuído fortemente com o agronegócio brasileiro. Essa área foi instituída pelo Decreto Presidencial nº 8.447, de 2015, o Plano de Desenvolvimento Agrícola do MATOPIBA (PEREIRA; PAULI 2016).

As técnicas de armazenamento e beneficiamento de grãos 4.0 utilizadas por agricultores no Estado do Maranhão podem incluir uma variedade de tecnologias e práticas avançadas. Aqui estão algumas técnicas comuns são o monitoramento remoto, no qual os agricultores podem usar sensores e dispositivos conectados para monitorar remotamente as condições de armazenamento dos grãos, como temperatura, umidade e

qualidade do ar. Isso permite detectar rapidamente quaisquer problemas e tomar medidas corretivas antes que ocorram danos aos grãos.

Já a secagem é um processo crítico para reduzir a umidade dos grãos e evitar a proliferação de fungos e bactérias. Os agricultores podem usar secadores de alta eficiência energética, como secadores de leito fixo ou secadores de fluxo cruzado, que permitem um controle preciso da temperatura e do fluxo de ar. Além disso, podem ser empregados sensores de umidade para determinar o momento ideal de parar a secagem (CONAB, 2021).

Em seguida, as pesquisas citam os silos inteligentes como estruturas utilizadas para o armazenamento de grãos. Na agricultura 4.0, os silos podem ser equipados com sensores que monitoram continuamente as condições internas, como temperatura, umidade e níveis de gases. Esses dados podem ser transmitidos em tempo real para os agricultores, permitindo uma tomada de decisão mais rápida e precisa.

Em mesmo sentido, uma das tecnologias citadas na pesquisa são o uso de tecnologias avançadas, como armadilhas inteligentes e monitoramento por meio de câmeras e sensores, pode ajudar os agricultores a identificar e controlar a presença de pragas nos grãos armazenados. Além disso, o emprego de técnicas de controle biológico e o uso de produtos fitossanitários de maneira sustentável também podem ser considerados.

Por fim, também em ascensão, a tecnologia da Rastreabilidade e gestão de dados permite, a partir do emprego de sistemas de rastreabilidade e gestão de dados, os agricultores podem acompanhar o histórico de cada lote de grãos, desde o plantio até o armazenamento. Isso permite rastrear a origem dos grãos, garantir a qualidade e a segurança alimentar, bem como atender às exigências regulatórias e de mercado (EMBRAPA, 2021).

O quadro 02 abaixo mostram as principais lacunas a se investir em tecnologia 4.0 na agricultura no Maranhão, segundo a CONAB (2021).

**Quadro 02** – Principais tecnologias e suas repercussões no beneficiamento e armazenamento de grãos no MATOPIBA

<b>Tecnologia</b>	<b>Uso na Agricultura do Maranhão</b>
<b>Agricultura de Precisão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de drones para monitoramento de lavouras</li> <li>- Aplicação de fertilizantes e defensivos de forma localizada com base em dados georreferenciados</li> <li>- Uso de sensores para monitorar condição do solo</li> </ul>
<b>Clima e Umidade (IoT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de dispositivos IoT para monitoramento de variáveis agrícolas, como temperatura, umidade e consumo de água</li> <li>- Controle automatizado de sistemas de irrigação</li> <li>- Uso de drones para monitoramento de pragas e doenças</li> </ul>
<b>Blockchain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rastreabilidade de produtos agrícolas, permitindo a verificação de origem e qualidade</li> <li>- Certificação e registro de informações sobre a cadeia produtiva</li> <li>- Transações comerciais seguras e transparentes e otimizar processos</li> </ul>
<b>Robótica Agrícola</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de robôs para plantio, colheita e manutenção de e cultivos</li> <li>- Uso de robôs e veículos autônomos para pulverização de defensivos</li> </ul>

**Fonte:** Dados de pesquisa (2023).

Com a adoção das técnicas mencionadas, o CONAB (2021) estima que a produção de milho e soja no estado do Maranhão deverá crescer 3,7% e 5,5%, podendo chegar a 3 milhões de toneladas e 3,77 milhões de toneladas, respectivamente, nos próximos 02 anos.

No entanto, também foram identificados desafios a serem superados. A falta de mão de obra qualificada em tecnologias avançadas, a resistência cultural à adoção de novas práticas e a falta de conscientização sobre os benefícios da Indústria 4.0 foram apontados como obstáculos para a plena adoção das tecnologias por parte das empresas maranhenses.

Ainda assim, segundo especialistas da CONAB, a agricultura 4.0 tem várias etapas e o agricultor pode caminhar pelas etapas iniciais, que não envolvem a robotização, falando de tecnologia absolutamente disruptiva, inovadora. Existem tecnologias intermediárias que já têm um ganho muito grande e que talvez o agricultor

consiga ter um acesso mais rápido. Portanto, o agricultor pode adotar com um processo mais gradual em que o custo-benefício é facilmente identificado. Segundo apurado, a participação do Estado do Maranhão no MATOPIBA, nos últimos anos, gerou implicações socioeconômicas positivas, como a multiplicação nas exportações de frutas e geração de empregos ao converter áreas marginais semiáridas em locais de grande desenvolvimento agrícola. Isso por meio da adoção de políticas públicas de incentivo ao uso da tecnologia 4.0 no meio rural.

**Tabela 02** - Valores dos efeitos diretos, indiretos e totais das variáveis independentes do uso de tecnologias no crescimento da produção MATOPIBA

Variáveis	Efeito Direto	Efeito Indireto	Efeito Total
<b>F1</b>	0,548	0,309*	0,857
<b>F2</b>	-0,102	-0,057	-0,159*
<b>F3</b>	0,241	0,136	0,376
<b>F4</b>	-0,033	-0,019	-0,052
<b>F5</b>	-0,012	-0,007	-0,019
<b>F6</b>	-0,038	-0,022	-0,060
<b>F7</b>	0,006	0,003	0,008

**Fonte:** dados de pesquisa (2023).

Para analisar a relevância de cada uma das estratégias de modernização na produção, armazenamento e beneficiamento de grãos, cada um dos fatores recebeu uma sigla correspondente. Assim, os fatores analisados se refere ao investimento público em atividade agrícola foram representados pela sigla F1, já a capacidade de exploração do fator terra foi representada pela sigla F2; A sigla F3 se refere ao uso de máquinas e implementos de tecnologias agrícolas tradicionais, já a sigla F4 diz respeito ao emprego de práticas extensionistas; Em seguida, para identificar a utilização de agrotóxicos na atividade agrícola, foi utilizada F5, uso de tecnologias 4.0 nas atividades de armazenamento e beneficiamento de grãos é representado pela sigla F6 e o investimento público em treinamento e infraestrutura, pela sigla F7.

No que diz respeito aos efeitos diretos, constatou-se que o investimento público

na atividade agrícola no MATOPIBA possui um impacto direto de 54,80% na produção agropecuária. Além disso, o uso de máquinas e implementos de tecnologias agrícolas tradicionais apresenta um efeito direto de 24,10% na produção. Quanto aos efeitos indiretos, apenas o Fator 1 (F1) demonstrou significância estatística, indicando que o efeito indireto da intensificação do capital na atividade agrícola é de 30,9%.

Por fim, considerando os efeitos totais, é possível observar que a capacidade de exploração do fator terra (F2), o uso de máquinas e implementos de tecnologias agrícolas tradicionais (F3), o emprego de práticas extensionistas (F4) e a utilização de agrotóxicos na atividade agrícola (F5) contribuem em conjunto com 37,60% para o impacto total do MATOPIBA em relação a outros estados.

De acordo com as pesquisas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), estima-se que a área plantada de grãos no MATOPIBA poderá atingir 8,422 milhões de hectares até 2029, na safra 2021/2022.

### **Desafios à adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no armazenamento e processamento de grãos na Região Nordeste do Brasil**

Conforme revela o estudo conduzido pela FIESP (2020), o número de empresas que investiram na implementação da Indústria 4.0 registrou uma queda nos últimos dois anos antes da publicação do relatório. A pesquisa envolveu 417 empresas, das quais 296 eram de pequeno porte (com até 99 funcionários), 103 de médio porte (entre 100 e 499 funcionários) e 18 de grande porte (com mais de 499 funcionários). Comparando os resultados de 2019 com um estudo anterior realizado em 2017, nota-se que, apesar da introdução de novas tecnologias e conceitos, como Internet das Coisas (IoT), Blockchain, Big Data e outros, a transição para a Indústria 4.0 não se restringe apenas ao aspecto tecnológico; questões comportamentais, culturais e estruturais desempenham um papel fundamental nessa transformação (VDI-Brasil, 2020).

Com base nas informações às quais foi possível ter acesso por meio do CONAB sobre a Indústria 4.0, é possível constatar que os investimentos necessários para a adoção dessa abordagem são substanciais em todos os setores, incluindo o agronegócio brasileiro. No que diz respeito às dificuldades específicas enfrentadas pelo setor agrícola na implementação da Indústria 4.0, destacam-se as áreas de produção terrestre e produção agrícola.

Das dificuldades apontadas para a adoção da Indústria 4.0, incluem-se a escassez

de recursos financeiros, a falta de clareza sobre a relação custo-benefício e a insuficiente capacitação da equipe, como discutido anteriormente. Além disso, do ponto de vista externo, enfrentam-se desafios relacionados aos custos elevados de implementação, a falta de otimismo em relação ao futuro e a disponibilidade de financiamento a taxas desfavoráveis (VDI-Brasil, 2020).

## **CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos pelo presente estudo identificaram que a Agricultura 4.0 e sua terminologia ainda é desconhecida pelos produtores rurais, apesar de muitas práticas e diversos equipamentos tecnológicos provenientes da transformação digital estarem presentes na gestão da produção, do beneficiamento e do armazenamento de grãos no Estado do Maranhão que se insere no chamado MATOPIBA.

Os relatórios e estudos analisam principalmente o valor da tecnologia sob uma perspectiva voltada para o consumo, onde a implementação tecnológica possibilitaria a manutenção de níveis substanciais de segurança alimentar, atendendo às necessidades alimentares tanto atuais quanto futuras. Acima de tudo, os benefícios dos avanços tecnológicos são avaliados como meios para aprimorar a eficiência e a produtividade das empresas no setor agrícola. No entanto, pode-se observar que a mais significativa contribuição das tecnologias 4.0 reside na capacidade de permitir que áreas rurais, muitas vezes carentes de acesso a alimentos e com terras pouco férteis para a agricultura convencional, também possam cultivar alimentos, criando assim fontes de subsistência próprias e contribuindo para a redução da insegurança alimentar.

É importante notar que uma das principais barreiras enfrentadas pelas grandes empresas agrícolas do setor no Brasil é a falta de infraestrutura e recursos financeiros para investir na adoção de tecnologia. Foi possível observar, ainda, que os investimentos públicos e privados nas ferramentas da indústria 4.0 ainda são incipientes no contexto analisado, mas mostram potencial para incrementar a produção, a comercialização e a exportação de grãos provenientes do MATOPIBA.

Entre as limitações de pesquisa aponta-se a dificuldade em obter dados que tratem do mapeamento de armazéns que utilizem tecnologias 4.0 no Estado do Maranhão e no MATOPIBA. Sem esta, inclusiva, uma demanda para pesquisas futuras.



## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Arlindo Modesto et al. **Desenvolvimento de um Sistema de Aeração Automatizado para Armazenamento de Grãos**. 2016. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2016.
- BAILEY, J. E. Whole grain storage. In: Christensen, C. M.(ed.). Storage of cereal grain and their products. St.Paul: AACC, p. 333-360,1974.
- CONAB. In: Nova estimativa aponta para uma produção de grãos na safra 2021/22 em 268,2 milhões de toneladas. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimasnoticias/4494-nova-estimativa-aponta-para-uma-producao-de-graos-na-safra-2021-22-em268-2milhoesdetoneladas>. Acesso em abril de 2023.
- CONAB. In: Nova estimativa aponta para uma produção de soja e milho na safra 2022/23 em 268,2 milhões de toneladas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4914-maranhao-cresce-estimativa-de-producao-de-soja-e-milho-da-safra-2022-2023>. Acesso em outubro de 2023.
- CONAB. In: Boletim de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: abril de 2023.
- DE SOUZA, André Luiz Alvarenga. Escoamento de *commodities* agrícolas brasileiras. **AGRICULTURA 4.0**, 2020.
- EMBRAPA. VII Plano Diretor da Embrapa: a agricultura brasileira. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>. Acesso em abril de 2023.
- KERNECKER, et al. Experience Versus Expectation: Farmers' Perceptions Of Smart Farming Technologies For Cropping Systems Across Europe. Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature, 2019.
- LASI, et al. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 239-242, 2014.
- LIAO, et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, 2017.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Agrostat - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em maio de 2023.
- MARTINS, Edinei José Araujo. Avaliação das estratégias de comercialização de soja no município de Baianópolis-Ba. 2019.
- GABAN, Amanda Cristina et al. Evolução da produção de grãos e armazenagem: perspectivas do agronegócio brasileiro para 2024/25. *Informe Gepec*, v. 21, n. 1, p. 28-

47, 2017.

PATURCA, Elaine Yasutake. Caracterização das estruturas de armazenagem de grãos: um estudo de caso no Mato Grosso. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial– ESALQ-LOG. Piracicaba, 2014.

PEREIRA, Adriano.; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1, 2018.

ROCHA, Eduardo Tadeu Bueno da. Agricultura 4.0 nas lavouras: estudo multicaso para caracterização em propriedades rurais. 2021.