

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 NA ENGENHARIA DE ALIMENTOS: ESTUDO DE
CASO NA PRODUÇÃO DE MUÇARELA

LÚCIO GOMES SILVA

PATOS DE MINAS

2022

LÚCIO GOMES SILVA

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 NA ENGENHARIA DE ALIMENTOS: ESTUDO DE
CASO NA PRODUÇÃO DE MUÇARELA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Daniele do Espírito
Santo Loredó Silva

PATOS DE MINAS

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 74

LÚCIO GOMES SILVA

Revolução industrial 4.0 na Engenharia de Alimentos: estudo de caso na produção de muçarela

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.^a Dr.^a Daniele do Espírito Santo Loreda da Silva
Orientadora - UFU

Prof. Dr. Jader Conceição da Silva
UFU

Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima
UFU

Patos de Minas, 20 de setembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/09/2022, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniele do Espírito Santo Loreda da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/09/2022, às 10:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jader Conceição da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/09/2022, às 10:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3926400** e o código CRC **8AE2E30E**.

LÚCIO GOMES SILVA

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 NA ENGENHARIA DE ALIMENTOS: ESTUDO DE
CASO NA PRODUÇÃO DE MUÇARELA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Patos de Minas, 14 de setembro de 2022

Banca Examinadora:

Profª Drª. Daniele do Espírito Santo Loreda da Silva
Orientador (a)

Prof Dr. Jader Conceição da Silva
UFU

Profª Drª. Marieli de Lima
UFU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pois sem Ele nada seria possível, nada. À minha família que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis me dando suporte e força para que nunca parasse. À Patrícia Ribeiro Dias, por ser minha base forte e sempre me ajudar e estar ao meu lado querendo sempre tudo de bom para mim.

Um agradecimento mais que especial a toda a banca de colegiados do meu curso de graduação em Engenharia de Alimentos e a todos os servidores que estavam presentes por todos esses anos da minha graduação. Certamente posso dizer que em minha graduação tive mestres e doutores que puderam compartilhar seu tempo e conhecimento comigo ao longo das disciplinas nas quais tentei absorver o máximo do conhecimento que foi me passado.

Sou eternamente grato aos senhores e senhoras pelos ensinamentos. Gostaria de agradecer também a todos os colegas que tive dentro e fora da faculdade que puderam compartilhar seu tempo comigo e suas opiniões. Por fim, gostaria de agradecer a todas as empresas nas quais trabalhei e que contribuíram para que eu buscasse sempre ser um profissional melhor a cada dia, seja do ramo industrial ou não.

*“O sábio aprende com o erro dos outros,
os tolos com os próprios erros
e os idiotas não aprendem nunca.”*

Provérbio Chinês

RESUMO

Historicamente, a produção de alimentos sempre passou por mudanças, tanto para os produtores quanto para os consumidores. No cenário atual, a tecnologia se torna presente tanto na vida das pessoas quanto nas indústrias que realizam o processamento de alimentos. No setor industrial, os principais indicadores nacionais e internacionais demonstram que a revolução industrial 4.0 tem potencial para se tornar realidade. Existem muitos desafios que servem para impulsionar o desenvolvimento e a criação de uma cultura altamente tecnológica. Frente ao exposto, este trabalho buscou considerar a aplicabilidade das ferramentas 4.0 na produção de muçarela. Para tal, nesta revisão foram descritos os principais processos para produção de muçarela e a criação hipotética de um fluxograma produtivo, de forma que os principais instrumentos dessa revolução estejam presentes nos equipamentos, permitindo o controle de processo remoto e a leitura de informações em tempo real da produção. Proponha-se assim, a implementação das ferramentas 4.0 com aplicações específicas e úteis dentro da produção de queijos afim de realizar controle total das informações relevantes que contribuem para agregar qualidade e tornar o processo mais eficaz, maior rendimento e com menor custo energético. Por fim, tem-se uma longa jornada a se percorrer de forma a desenvolver tanto a indústria quanto o Brasil para que os impactos dessa revolução sejam minimizados e tenham melhores resultados.

Palavras-chave: Indústria de alimentos; Automação de processos; Revolução Industrial 4.0, fluxograma de muçarela.

ABSTRACT

Historically, food production has always undergone changes, both for producers and consumers. In the current scenario, technology becomes present both in people's lives and in industries that perform food processing. In the industrial sector, the main national and international indicators show that the industrial revolution 4.0 has the potential to become a reality. There are many challenges that serve to drive the development and creation of a highly technological culture. In view of the above, this work sought to consider the applicability of 4.0 tools in the production of mozzarella. To this end, in this review, the main processes to produce mozzarella were described and the hypothetical creation of a production flowchart, so that the main instruments of this revolution are present in the equipment, allowing remote process control and real-time reading of production information. It is proposed, therefore, the implementation of 4.0 tools with specific and useful applications within the production of cheeses in order to carry out full control of the relevant information that contributes to adding quality and making the process more efficient, higher yield and with lower energy costs. Finally, there is a long way to go in order to develop both the industry and Brazil so that the impacts of this revolution are minimized and have better results.

Keywords: Food industry; Process automation; Industrial Revolution 4.0, mozzarella flowchart.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação do Brasil nas exportações da indústria de transformação mundial. _	20
Figura 2 - Participação do valor adicionado da indústria de transformação, em 2019 (%).__	21
Figura 3 - Aumento anual dos valores correntes do PIB industrial. _____	22
Figura 4 - Participação do PIB industrial dos dez principais setores da indústria – 2019 (%).23	
Figura 5 - Participações estaduais das indústrias no PIB de 2019 (%). _____	24
Figura 6 - Etapas de produção da muçarela detalhado. _____	39
Figura 7: Adição manual de ingredientes na manipulação da coalhada _____	45
Figura 8: Dreno-prensa no momento inicial (a) e final (b) de descida da massa. _____	47
Figura 9: Equipamento de filagem (a) e canhão de modelagem (b). _____	48
Figura 10: Muçarela filada em movimentação (a), carrossel modelador (b) _____	49
Figura 11: Modelos de tanques de arrefecimento. _____	50
Figura 12: Tanques de salga em beliche (a) e hidrovia de salga (b). _____	51
Figura 13: Prateleira de secagem (a) e paletes com produto acabado (b). _____	52
Figura 14 – Ferramentas da revolução 4.0 na linha de produção de muçarela. _____	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Panorama da indústria de transformação brasileira de seu porte.	24
Tabela 2: Número de cabeças de vacas ordenhadas, participação no rebanho e taxa de crescimento para regiões brasileiras.	26
Tabela 3: Produção de leite (industrializado) e derivados em 2016.....	27
Tabela 4 - Nove tecnologias pilares da revolução industrial 4.0.....	29
Tabela 5: Tabela de controle de produção.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQ	Associação Brasileira das Indústrias de Queijo
ACATECH	Academia Alemã de Ciência e Engenharia
AIST	<i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology</i>
AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
AMRI	<i>Advanced Manufacturing Research Institute</i>
ANVISA	<i>Agência Nacional de Vigilância Sanitária</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
GMC	Grupo Mercado Comum
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KAMS	<i>Korea Advanced Manufacturing System</i>
KITECH	<i>Korea Institute of Industrial Technology</i>
M2M	Máquina a Máquina
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PIB	Produto Interno Bruto
RTIQ	Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade
VBP	Valor Bruto de Produção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 A evolução da cadeia produtiva de alimentos	13
3.2 Histórico das revoluções industriais	14
3.3 A importância da indústria de alimentos	16
3.4 Participação da indústria no cenário mundial	19
3.5 Indústria no cenário nacional	22
3.6 Setor de lácteos brasileiro	25
3.7 Indústria 4.0 e seus pilares fundamentais	27
3.8 Vantagens e desafios da indústria 4.0	30
4. MODELO DE PROCESSAMENTO DE QUEIJOS 4.0	33
4.1. História do queijo muçarela	36
4.2. Legislação da muçarela.....	37
4.3. Fluxograma teórico da muçarela 4.0	37
4.3.1 Pasteurização	43
4.3.2 Padronização	43
4.3.3 Manipulação da coalhada	44
4.3.4 Dessoramento	46
4.3.5 Filagem	47
4.3.6 Modelagem	48
4.3.7 Arrefecimento	49
4.3.8 Salga	51
4.3.9 Secagem	52
4.3.10 Embalagem	53
4.3.11 Armazenagem	53
4.4. Análise das ferramentas 4.0 da fabricação de muçarela	54
5. CONCLUSÃO	58
6. REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

O ser humano evoluiu ao longo dos anos, desde os registros iniciais em que se habita o planeta terra. A sua organização em bandos, levou a formação de cidades e proporcionou o convívio social, contribuindo para que o seu conhecimento fosse compartilhado e aperfeiçoado com o tempo. A sua alimentação sempre passou por modificações, variando de local, cultura e hábitos, evoluindo para a produção de alimentos em grande escala, desde a Primeira Revolução Industrial.

Nas indústrias, a matéria-prima sofre diferentes etapas, nas quais agregam valor e geram produtos dentro das normas e legislações permitidas pelos órgãos fiscalizadores brasileiros e internacionais. Desta forma, as indústrias alimentícias passam por constantes inovações para desenvolvimento de produtos que atendam os anseios dos seus consumidores.

As indústrias contam com as mais variadas ferramentas tecnológicas e apoio de diferentes sistemas de ensino (institutos e universidades) que trazem processos tecnológicos de alta eficiência e o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas, além da qualificação da mão-de-obra. No cenário atual, em que se inicia um período de transição, observa-se que a quarta revolução industrial tem-se tornado realidade para muitas indústrias em diferentes países. Esse fato vem chamando a atenção nas vantagens ofertadas, porém os desafios requerem atenção, para que seu o desenvolvimento e difusão não tenham impactos profundos na sociedade. É importante ressaltar que a revolução 4.0 não ocorre somente nas indústrias alimentícias brasileiras, mas sim em todos os segmentos das indústrias de transformação global.

Segundo pesquisa realizada pela Mintel, 28% dos brasileiros consomem queijo diariamente. Os consumidores brasileiros são conservadores quando o assunto é escolha do queijo, optando sempre pelos sabores mais tradicionais e comuns, com destaque para os queijos muçarela (81%), requeijão (50%) e queijo minas/branco (36%), demonstrando preferência por sabores mais suaves e já conhecidos. (DAXIA, 2022)

Para a realização desse trabalho de conclusão de curso foi realizada uma pesquisa bibliográfica da indústria brasileira de alimentos frente a essa nova tendência tecnológica. Como exemplo, foi proposto um estudo de caso, para o processo produtivo de queijo, onde apresenta a inserção das ferramentas 4.0 as quais, se implementadas, podem proporcionar melhorias para o processo.

2. OBJETIVOS

Realizar a revisão bibliográfica sobre a revolução industrial 4.0 na Engenharia de Alimentos com foco no estudo de caso na produção de muçarela.

2.1 Objetivos específicos

- Dissertar sobre a evolução da indústria de alimentos e relacionar com as Revoluções Industriais;
- Avaliar os cenários internacionais e nacionais dos setores industriais e relacionar com a implementação da indústria 4.0 no setor de alimentos;
- Realizar um estudo de caso sobre os desafios e a implementação da Indústria 4.0 em queijo muçarela, através da proposta de um fluxograma teórico desse processo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A evolução da cadeia produtiva de alimentos

A fabricação de alimentos nas sociedades antigas pode ter a finalidade comercial ou não, ou sendo em pequena ou grande escala, o trabalho é considerado como uma atividade fabril ou industrial, quando um alimento sofre uma transformação para ser oferecido a uma população, fora do ambiente doméstico. A fabricação de grande parte dos alimentos processados e consumidos atualmente, teve início nas sociedades antigas. Ao longo do tempo, foram alterando-se os modos de produção, instalações, insumos utilizados, tecnologias empregadas de ingredientes, processos e formas de acondicionamento (ITAL, 2022).

Ao longo da história, a humanidade criou e consagrou os principais alimentos processados consumidos atualmente. Estes alimentos passaram do modo rudimentar e artesanal de produção, para a produção em massa, uma vez que a demanda da população.

Ao longo dos tempos, os alimentos processados sofreram mudanças em suas formulações. Existem, muitas variações sendo elas, de acordo com a cultura e os hábitos de

vida de uma população ou um nicho específico. Por exemplo, na cultura indiana a vaca é um animal sagrado, e o consumo de sua carne, não é realizado, porém, já nos países do continente americano, se tem um grande consumo deste tipo de carne. (ITAL, 2022)

A palavra “revolução” denota mudança abrupta e radical. Em nossa história, as revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam uma alteração profunda nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos. Visto que a história é usada como referência, as alterações podem levar anos para se desdobrar (SCWAB, 2016).

A primeira mudança profunda no estilo de vida da população – transição do forrageamento (a busca por alimentos) para a agricultura – ocorreu há cerca de 10.000 anos, e só foi possível, graças à domesticação dos animais. A revolução agrícola combinou a força dos animais e dos seres humanos em benefício da produção, do transporte e da comunicação. Pouco a pouco, a produção de alimentos melhorou, estimulando o crescimento da população e possibilitando assentamentos humanos cada vez maiores. Isso acabou levando à urbanização e ao surgimento das cidades (SCWAB, 2016).

A revolução agrícola, foi seguida por uma série de revoluções industriais, iniciadas na segunda metade do século XVIII. A marca dessas revoluções foi a transição da força muscular para energia mecânica, a qual, evolui até a atual quarta revolução industrial, momento em que a produção humana é aumentada por meio da potência aprimorada da cognição (SCWAB, 2016).

3.2 Histórico das revoluções industriais

A primeira revolução industrial ocorreu aproximadamente entre 1760 e 1840. Provocada pela construção de ferrovias e pela invenção da máquina a vapor, este evento deu início à produção mecânica. Essa Primeira Revolução Industrial, é marcada pela rápida transição do modo de fabricação artesanal e manual para a produção industrial, baseada em novas tecnologias de processamento, uso de vapor como fonte energética, divisão do trabalho, entre outros fatores. Inicialmente, mais predominante na indústria têxtil do Reino Unido, os novos métodos de produção foram sendo adotados em outros países e setores industriais (SCWAB, 2016).

Além da transição para a energia a vapor, a história enfatiza a introdução de máquinas, transformando em mecânicos processos até então artesanais ou manuais, que dependiam da

força muscular. Não tão citada, mas de importância tão grande ou até maior do que essas duas, para a primeira revolução tecnológica é a disseminação da divisão do trabalho, aspecto que não escapou à arguta visão de Adam Smith, que a ela dedicou os capítulos iniciais de sua célebre *A riqueza das nações*. (MACHADO, 2016)

Embora lenta em relação a outras revoluções industriais, em razão de seu pioneirismo e da resistência natural diante de algo desconhecido, a primeira revolução tecnológica propiciou não só um significativo aumento, mas também uma enorme diversificação dos bens e serviços produzidos pelas nações que iam se industrializando, sendo fator fundamental para consolidar a hegemonia geopolítica da Inglaterra por muitas décadas. (MACHADO, 2016)

A segunda revolução industrial, iniciada no final do século XIX, entrou no século XX e, pelo advento da eletricidade e da linha de montagem, possibilitou a produção em massa. A terceira revolução industrial começou na década de 1960. Ela costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em mainframe (década de 1960), da computação pessoal (década de 1970 e 1980) e da internet (década de 1990) (SCWAB, 2016).

Novas fontes energéticas propiciaram às empresas, à medida que iam se adaptando, um potencial muito superior ao proporcionado pela energia a vapor, expandindo consideravelmente a capacidade produtiva dos países que mais rapidamente se integraram nesse paradigma. Foi a pronta capacidade de se integrar à mudança que permitiu que os Estados Unidos assumissem a hegemonia geopolítica mundial, vindo a Alemanha a seguir. (MACHADO, 2016)

Surgiu, na sequência, no fim da primeira metade do século XX, outra fonte energética de inegável potencialidade, a energia nuclear. Entretanto, por seu grande poder de destruição, comprovado de forma trágica nos bombardeios de Hiroshima e Nagasaki, ela teve seu uso restringido fortemente, não dando origem, assim, a uma nova revolução tecnológica. (MACHADO, 2016)

A Terceira Revolução Industrial foi caracterizada, pelo uso crescente dos computadores, cujo tamanho foi se reduzindo aceleradamente, e é muitas vezes associada ao fenômeno da globalização e acompanhada pela criação de áreas de livre comércio e blocos econômicos integrados (União Europeia, Nafta, Mercosul etc.) e pela interligação e interdependência dos mercados físicos e financeiros em escala planetária. (MACHADO, 2016).

A 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0, como é conhecida, é uma realidade também no setor de alimentos e bebidas. Dentro desse novo conceito de produção, toda a cadeia do setor

alimentício, do campo até a mesa do consumidor está sendo analisada, controlada e está continuamente evoluindo (ARBEGAUS, 2018).

Com essa linha de produção integrada e monitorada em tempo integral, a Quarta Revolução Industrial traz também economia de energia e insumos, uma vez que proporciona mais controle sobre os custos operacionais e evita desperdícios. Para gestores da área, a Indústria 4.0 proporciona ainda monitoramento a distância e manutenção remota de equipamentos. E permite que o setor de alimentos e bebidas produza com qualidade, segurança, economia e de forma sustentável. (ARBEGAUS, 2018)

Podemos dizer que o conceito de Indústria 4.0 remete a uma fábrica inteligente, em que a modernidade vai além dos equipamentos. São redes que conseguem ter o total controle da parte de produção da indústria e monitorar processos físicos em tempo real, conectando máquinas e sistemas. (SANKHYA, 2021)

Sendo assim, a Indústria 4.0 modifica positivamente toda a produção de uma empresa, ampliando a forma de trabalho dinâmica, interligando sistemas e conectando trabalho físico e digital. Através dessa unificação, é possível integrar setores, fornecedores e produtos da indústria. (SANKHYA, 2021)

Nos últimos anos, houve um aumento de indústrias brasileiras que adotaram essas novas ferramentas. Entre 2016 e 2018, o percentual de empresas que passaram a usar pelo menos uma tecnologia cresceu de 63% para 73%, de acordo com pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria sobre o cenário da Indústria 4.0 no Brasil. (SANKHYA, 2021)

3.3 A importância da indústria de alimentos

A indústria de alimentos constitui um dos setores da indústria de transformação que abrange a maior quantidade de grupos e, por conta disso, apresenta certa heterogeneidade de características entre os grupos. É importante salientar que, devido à heterogeneidade supracitada e às especificidades de alguns grupos, esta análise contextualiza o cenário de toda a indústria de alimentos. (VIANA, 2022)

A indústria de alimentos engloba grande diversidade de produtos, possuindo forte inter-relação com a agricultura e a pecuária, tendo em vista que esses setores constituem os fornecedores dos principais insumos utilizados nessa indústria. Devido aos insumos utilizados a partir da agropecuária, a indústria de alimentos possui sazonalidade da produção vinculada à

sazonalidade da oferta de seus insumos. Além das relações com a agropecuária, a indústria de alimentos estabelece, assim como outros setores da indústria de transformação, relações com canais de distribuição, indústrias de embalagens, máquinas e equipamentos, entre outras. (VIANA, 2022)

A indústria de alimentos possui grande importância na indústria de transformação, na participação no PIB e na geração de empregos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentação – ABIA, no ano de 2020 a indústria de alimentação brasileira (alimentos + bebidas) faturou, em 2019, R\$ 699,9 bilhões, o que é equivalente a 9,6% do PIB brasileiro daquele ano. Em 2020, o faturamento foi de R\$ 789,2 bilhões, o que é equivalente a 10,5% do PIB nacional, representando crescimento de 12,8% em relação a 2019. Descontada a inflação do período, a indústria de alimentação obteve aumento de 3,3% nas vendas reais em 2020 (ABIA, 2021).

Em termos mundiais a indústria de alimentos também tem importância significativa em diferentes países e, por conta dessa importância, é cada vez maior a presença de players globais nos principais mercados, empresas que têm buscado aumentar sua participação no mercado por meio de fusões e aquisições. Nos últimos anos, o setor tem mantido crescimento nas vendas, mas em níveis relativamente baixos. O valor das vendas globais no varejo da indústria de alimentos embalados cresceu 4,6% em 2020, em comparação a 1,7% em 2019. As regras de isolamento social impostas pela pandemia da Covid-19 resultaram em aumento das vendas no varejo, a despeito da queda nas vendas em restaurantes, lanchonetes e similares. O caráter de essencialidade dos alimentos resultou nesse bom desempenho, mesmo com o advento da pandemia. Boa parte das vendas no varejo adveio do comércio eletrônico, que teve forte crescimento em 2020. No Brasil, por exemplo, o crescimento dos pedidos por e-commerce no segmento de alimentos foi de 30%, resultando em um aumento de 22% no faturamento por esse canal (EBIT, 2021)

Nos últimos anos tem havido uma mudança no que os consumidores estão gastando, que sinalizam algumas tendências, com impactos na evolução da participação das diferentes empresas no mercado. Historicamente, os consumidores tomam decisões de compra com base em sabor, preço e conveniência, conhecidos como “fatores tradicionais” na decisão de compra de produtos alimentícios. Entretanto, atualmente os consumidores têm dado maior peso a outros fatores na sua decisão de compra, o que traz novos desafios e oportunidades para a indústria de alimentos. Entre esses novos fatores, destacam-se saúde e bem-estar (alimentos baseados em plantas, alimentos funcionais), busca por canais alternativos de compras que trazem

comodidade (comércio eletrônico), e valorização da sustentabilidade e aspectos éticos (valorização de marcas com propósito). (VIANA, 2022)

Nos últimos anos, a indústria de alimentos tem mantido crescimento nas vendas em âmbito mundial, mas em níveis relativamente baixos. O ano de 2020 foi uma exceção a essa tendência, já que o valor das vendas globais no varejo da indústria de alimentos embalados cresceu 4,6%. Apesar da queda observada nas vendas em restaurantes, lanchonetes e similares, o crescimento no varejo foi suficiente para um bom desempenho do setor em 2020. Entretanto, espera-se que as vendas voltem progressivamente para seus canais originais, o que pode significar uma queda das vendas no varejo e crescimento das vendas nos serviços de alimentação. (VIANA, 2022)

As empresas do setor precisam estar atentas a algumas tendências associadas aos produtos alimentícios e, conseqüentemente, deverão direcionar suas estratégias de produção e distribuição ao encontro dessas tendências. Enquanto algumas tendências já vinham se mostrando importantes, outras surgiram a partir da pandemia da COVID-19. As principais tendências dizem respeito à busca por marcas e produtos vinculados à sustentabilidade, à maior conveniência do consumo de alimentos “em casa” e o forte crescimento das compras pelo comércio eletrônico. Além disso, no que diz respeito aos tipos de produtos consumidos, o consumo de produtos veganos (à base de plantas) e de alimentos funcionais (ricos em probióticos, com ingredientes que aumentam a imunidade) vem se consolidando. (VIANA, 2022)

No Brasil, iniciativas governamentais, como a publicação do Guia Alimentar e novas regulamentações de rotulagem, provavelmente impactarão negativamente as vendas de várias categorias de alimentos nos próximos anos, como biscoitos doces, carnes processadas e lanches salgados. Com efeito, espera-se que em 2021 seja aprovada nova legislação pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA - que preveja nova rotulagem em formato de semáforo, indicando baixo (verde), médio (amarelo) ou alto (vermelho) teor de nutrientes potencialmente nocivos, como sal e gordura. Como os lanches salgados são ricos em sal e gordura, prevê-se que a nova legislação terá um impacto maior nesta categoria do que em outras. Com isso, espera-se uma reação das empresas, principalmente fabricantes de lanches salgados, no sentido de adaptar suas fórmulas para conter teores mais baixos desses ingredientes (EMIS, 2021)

A indústria de alimentos mundial, criou vários produtos que são bastante consumidos na atualidade. como por exemplo a farinha láctea (1814), o cacau em pó (1828), o leite

condensado (1853), a carne enlatada (1860), o leite evaporado (1884), o cereal matinal (Corn Flakes) (1894) e o café instantâneo (1903) (ITAL, 2022).

Ainda há muitos outros benefícios da Indústria 4.0 a serem conhecidos com o passar dos anos. Contudo, já podem ser adiantadas boas previsões com o uso dessa Revolução dentro das indústrias. A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) realizou estudo que mostra possibilidade de economia de R\$73 bilhões no Brasil com o uso dos conceitos de indústria 4.0. Dados da McKinsey apontam que, até 2025, a Indústria 4.0, mundialmente, poderá reduzir custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%, diminuir o consumo de energia entre 10% e 20% e aumentar a eficiência do trabalho entre 10% e 25%. (ARBEGAUS, 2018)

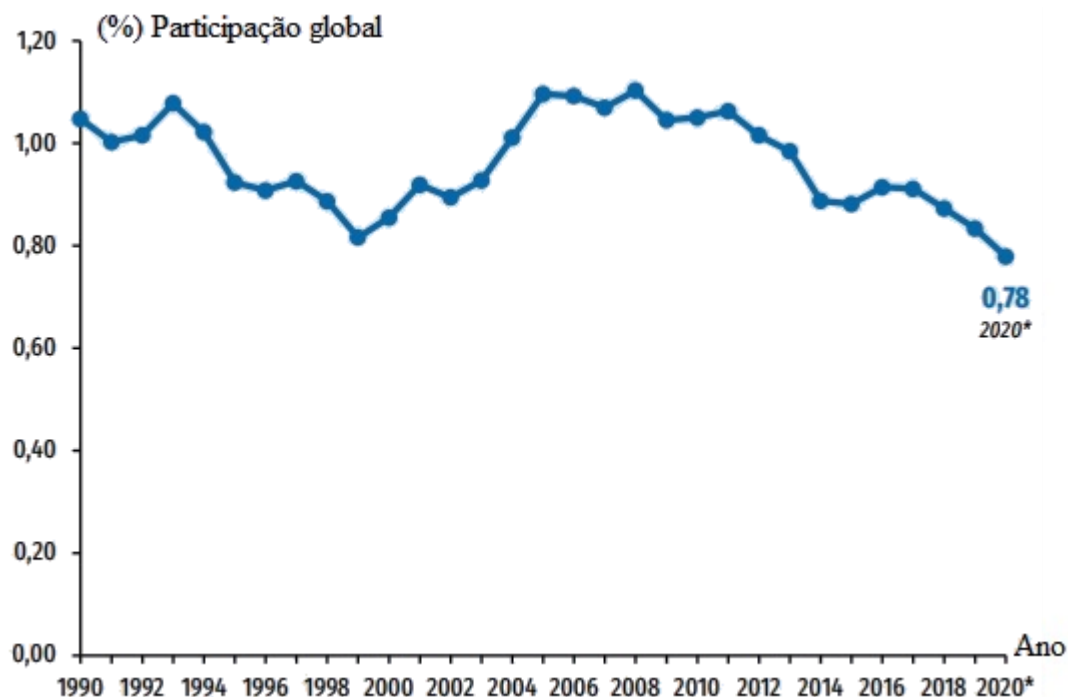
Haverá também benefícios para o consumidor. No dia a dia, vai ser possível monitorar produtos pelo celular, assim como saber, pelo código da embalagem, de onde veio a matéria prima, como foi transportada até a empresa, como se transformou em produto e como foi transportada até o ponto de venda. (ARBEGAUS, 2018)

3.4 Participação da indústria no cenário mundial

Uma comparação de produção industrial brasileiro com as demais nações, foram consideradas as publicações da Confederação Nacional da Indústria – CNI. Por meio dessas publicações, observou-se uma recessão mundial proveniente da pandemia mundial do COVID-19. Na Figura 1, tem-se o histórico de participação industrial nacional de transformação nas exportações do final do século passado até uma estimativa do ano de 2020.

De acordo com a Figura 1 abaixo, nota-se que dos anos de 1993 a 1999 tem-se um cenário de queda da participação de exportações da indústria de transformação nacional. Uma das possíveis causas que levaram a essa recessão, era o cenário político monetário instável devido aos planos econômicos mal executados. Após o ano de 1999, até 2005 com a implantação de um novo projeto monetário e o controle da inflação, tem-se uma ligeira alta. Após, do ano de 2006 a 2020 observa-se uma nova queda dessa participação.

Figura 1 - Participação do Brasil nas exportações da indústria de transformação mundial.



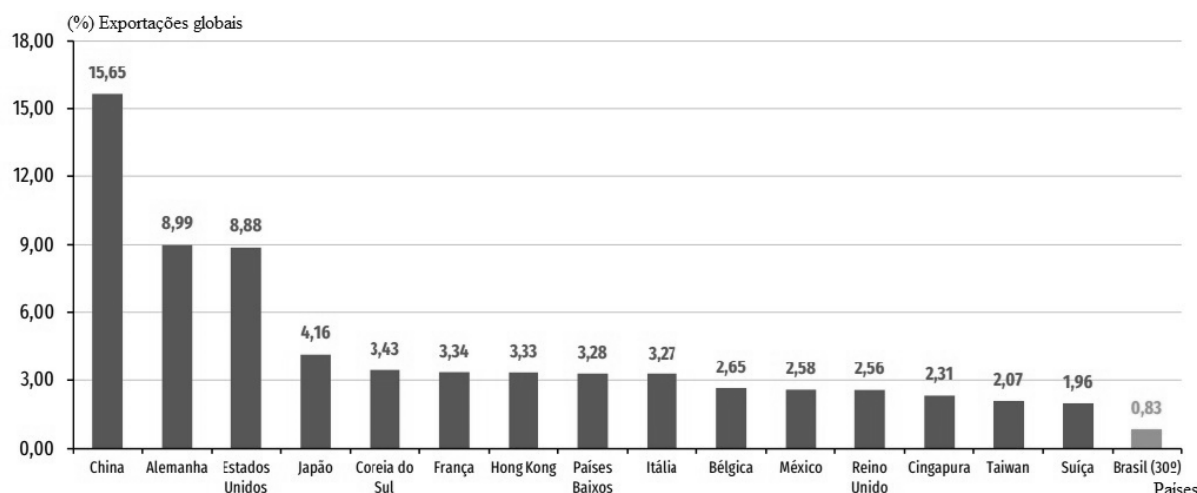
Fonte: CNI (2022).

Na Figura 2, tem-se uma comparação dos principais países exportadores da indústria de transformação. Nota-se que o Brasil ocupa a 30ª posição e, que os principais países exportadores são a China, a Alemanha, os Estados Unidos, o Japão e a Coreia do Sul, respectivamente.

É perceptível a baixa participação da indústria brasileira no mercado de exportação mundial. Nota-se que, as cinco nações líderes na exportação mundial são aquelas que tem estágio mais avançado na Revolução Industrial 4.0. Tanto nos números de exportação e produção mundial da indústria de transformação, é possível observar a hegemonia da China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Coreia do Sul, países executaram projetos específicos para o desenvolvimento e implantação de tecnologias 4.0 e estágio avançado da revolução.

Na Alemanha, o desenvolvimento da Indústria 4.0 é tratado como prioritário para o país ampliar sua competitividade. O tema é abordado em um conjunto de ações, instituições e empresas. O relatório “*Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*”, da Academia Alemã de Ciência e Engenharia (ACATECH), lançado em 2013, é uma dessas iniciativas. O relatório estabelece estratégia para o país se tornar o principal fornecedor de tecnologias de produção inteligentes, e integrar a produção com outros países líderes, com o objetivo de acompanhar tecnologias e gerar padrões (CNI, 2016).

Figura 2 - Participação do valor adicionado da indústria de transformação, em 2019 (%).



Fonte: CNI (2022).

Por outro lado, os Estados Unidos, em 2012 lançaram a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), formada por representantes de empresas, universidades, o governo e institutos de pesquisas para discutirem e apresentarem propostas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no país. Essa iniciativa está aliada às medidas de reindustrialização, desenvolvida na última década nos EUA. Em 2014, o mesmo grupo apresentou o “*Report to the President. Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*”, com uma série de medidas para o desenvolvimento das tecnologias associadas a esse modo de produção. O relatório propõe, ainda, a implementação de um plano estratégico nacional para Indústria 4.0 (CNI, 2016).

A China, com o seu 12º Plano Quinquenal (2011-2015), apresentou a Indústria 4.0 como um dos sete temas emergentes apoiados pelo governo, estabelecendo cinco setores como prioritários: equipamentos modernos, automotivo, siderúrgico, petroquímico e construção naval (CNI, 2016).

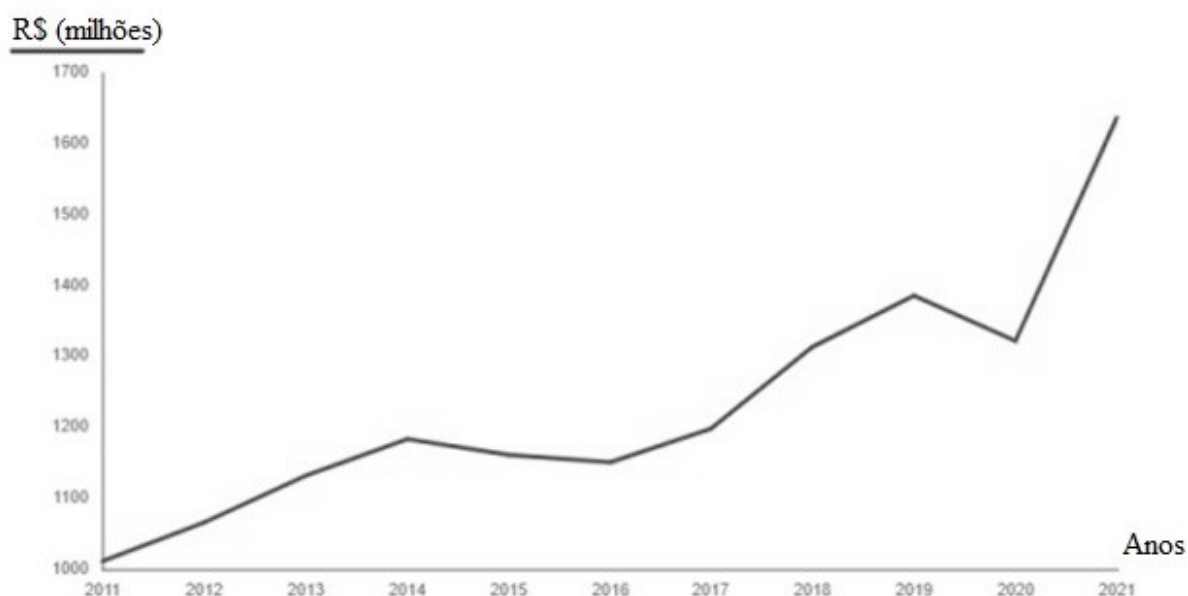
No Japão, o *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) criou em 2008, o *Advanced Manufacturing Research Institute* (AMRI), composto por uma gama de grupos de pesquisas, que têm como objetivo a troca de conhecimento e desenvolvimento de projetos conjuntos (CNI, 2016).

A Coreia do Sul, criou o “*Korea Advanced Manufacturing System*” (KAMS), projeto que tem como objetivo, desenvolver novos processos e tecnologias para gerenciamento e integração de sistemas manufatureiros. O projeto foi criado pelo *Korea Institute of Industrial Technology* (KITECH) com apoio do Ministério do Comércio, Indústria e Energia e do Ministério da Ciência e Tecnologia (CNI, 2016).

3.5 Indústria no cenário nacional

A participação da indústria no Produto Interno Bruto – PIB, brasileiro é um pouco mais de 20%. Na Figura 3, é apresentado o PIB da indústria brasileira a partir do ano de 2011. Nota-se que, a cada ano aumenta consideravelmente os valores correntes.

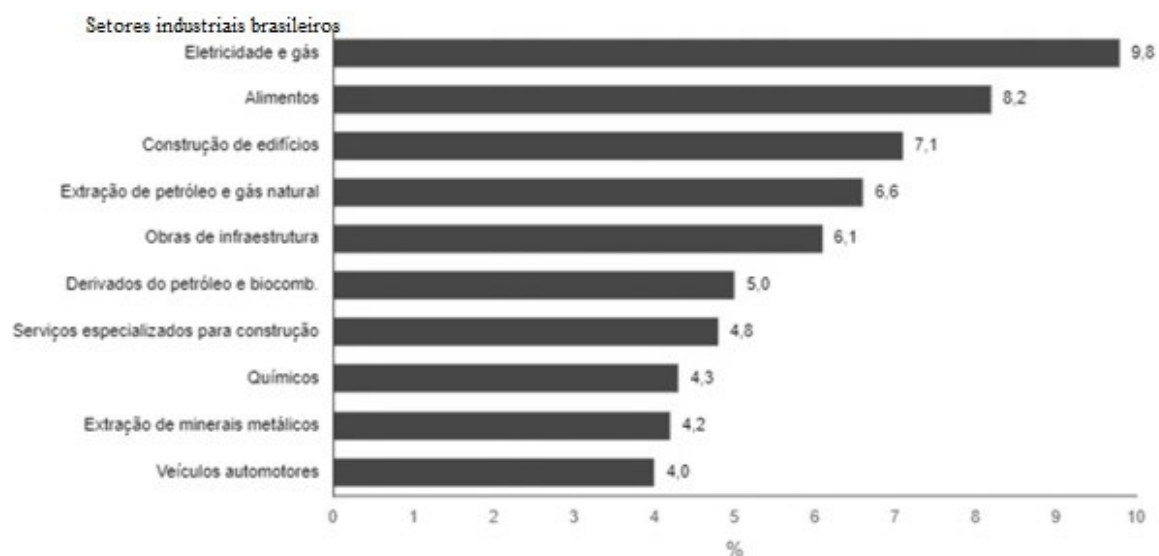
Figura 3 - Aumento anual dos valores correntes do PIB industrial.



Fonte: CNI (2022)

Realizando a segmentação com os seus dez principais setores nacionais, observa-se na Figura 4 que, a maior participação do PIB é do segmento de eletricidade e gás. Em segundo lugar, aparece o setor de alimentos ocupando um percentual de pouco mais de 8%. Observa-se que, para um país de dimensões continentais e com alta produção de commodities, o Brasil tem o domínio dos setores ligados com os combustíveis, a energia e a construção. Ao realizar a soma desses segmentos, obtém-se quase 40% da participação da indústria.

Figura 4 - Participação do PIB industrial dos dez principais setores da indústria – 2019 (%).



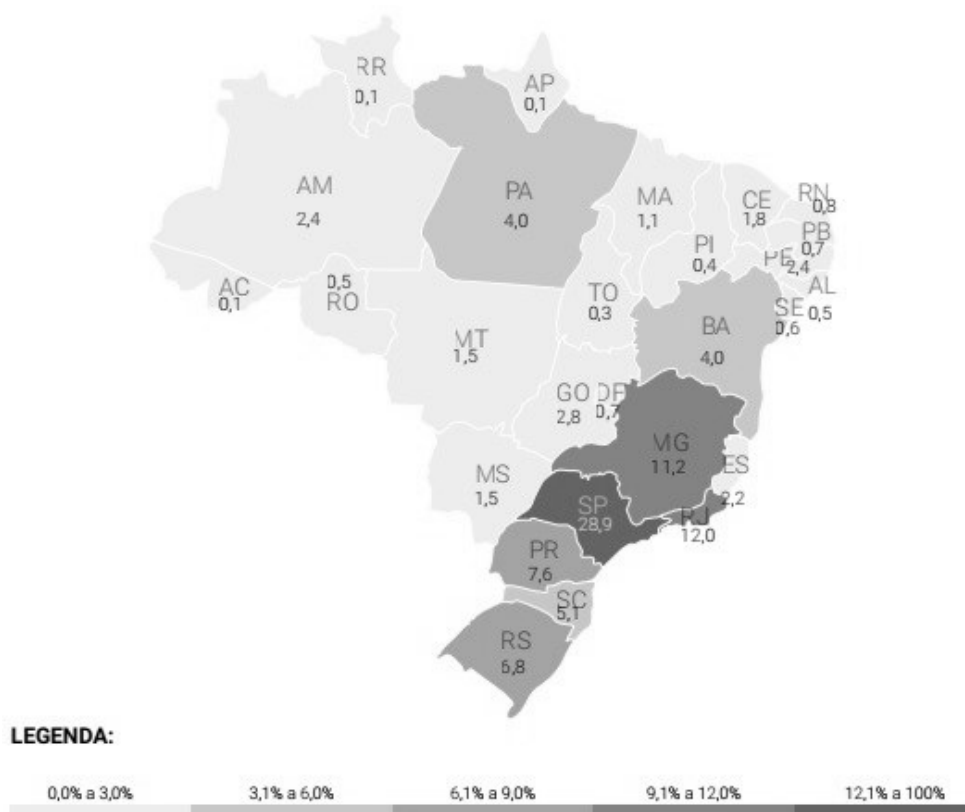
Fonte: CNI, 2022

A Figura 5, traz a distribuição da porcentagem da participação industrial dos estados brasileiros, de acordo com seus dados relativos da participação do PIB da indústria no ano de 2019.

Ao realizar a soma das porcentagens das regiões brasileiras, pouco mais de 70% da participação do PIB é proveniente das regiões sul e sudeste. Os quatro estados da região sudeste, somam 54,3% e os três estados da região sul 18,5%. É importante, enfatizar a participação do estado de São Paulo que sozinho quase se iguala com as regiões centro-oeste, norte e nordeste.

Assim, é possível afirmar que a região sudeste é a mais desenvolvida industrialmente com liderança paulista na participação na produção industrial. Desta forma, pode-se prever que, o berço para o desenvolvimento e a propagação da indústria 4.0 pode ser proveniente do estado de São Paulo e dos estados da região sudeste.

Figura 5 - Participações estaduais das indústrias no PIB de 2019 (%).



Fonte: CNI, 2022

Tendo como base os dados da CNI (2022), os números de estabelecimentos formais de indústria, de acordo com seu porte e sua classificação no ano de 2020, levando em consideração que os dados de sua participação no PIB do ano de 2019 apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Panorama da indústria de transformação brasileira de seu porte.

Classificação da indústria	Número de empregados	Números de estabelecimentos	Participação na produção industrial*
Micro e pequenas	De 1 a 49	438.879	11,1 %
Médias	De 50 a 249	23.220	13,1 %
Grandes	250 ou mais	5.645	75,8 %

Fonte: autoria própria.

De acordo com a Tabela 1, observa-se um grande número de pequenas e médias empresas e, ao serem somadas chega-se a um percentual de mais de 98%. Em contrapartida, o somatório das participações na produção das pequenas e médias corresponde a pouco mais de

20%. Assim, constata-se que com um número bem menor das indústrias de grande porte, é o responsável por mais de 75% da participação no PIB da participação industrial.

Considerando que as grandes empresas sempre se preocupam com as demandas de mercado e que o custo para implementação da linha de ferramentas 4.0, é de se esperar que inicialmente as grandes empresas estarão à frente das médias e pequenas empresas, no quesito de inovação tecnológica.

O Governo Brasileiro, através da Esfera Federal, trabalha em parceria com os estados brasileiros para que se modernize a produção industrial. O Ministério das Comunicações criou no final de 2014, a Câmara Máquina a Máquina (M2M) e Internet das Coisas, com objetivo de desenvolver o “Plano Nacional de Comunicação M2M e Internet das Coisas”. A Câmara é composta por uma gama de Associações e Ministérios, dividida em diversos subgrupos, sendo um deles o de Produtividade Industrial e Indústria 4.0, do qual a CNI faz parte. Recentemente, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) criaram o Grupo de Trabalho de Indústria 4.0, com a participação de diversas instituições, entre elas a CNI, tendo como objetivo, o de elaborar o plano de ação para Indústria 4.0 no Brasil (CNI, 2016).

O Brasil possui uma política nacional que caminha para dar suporte a modernização da indústria. Contudo, há muitos desafios, em que um dos principais é a conectividade dos cidadãos com internet e a sua capacitação profissional para terem habilidade de utilização das ferramentas 4.0. Ao longo da modernização, haverá o desaparecimento de profissões e o surgimento de novos ofícios modernizados.

3.6 Setor de lácteos brasileiro

O setor de lácteos brasileiro, composto por leite e seus derivados (como creme de leite, leite em pó, iogurte, manteiga e queijos), apresenta-se como o 4º maior produtor mundial dessa cadeia, para o Brasil o apresenta valor bruto de produção (VBP) de cerca de R\$ 30,4 bilhões, representando 5,4% do VBP da agropecuária e 17% da pecuária. Atualmente a produção de leite está presente em todo o território nacional e em mais de 99% dos municípios brasileiros segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O número de vacas ordenhadas no Brasil atingiu 19,7 milhões em 2016, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2018). Esse valor é equivalente a 9% de todo o rebanho bovino nacional. As regiões Sul e Sudeste concentram 56% do rebanho de vacas ordenhadas,

sendo 21% na região Sul e 35% na região Sudeste. A Tabela 1 abaixo apresenta a taxa de crescimento do rebanho de vacas ordenhadas nas grandes regiões do Brasil entre 1996 e 2016. (FGV, 2020)

Tabela 2: Número de cabeças de vacas ordenhadas, participação no rebanho e taxa de crescimento para regiões brasileiras.

Região	Número de cabeças em 2016 (milhões)	Participação no rebanho em 2016	Taxa de crescimento anual 1996-2016
Sul	4,2	21%	2,60%
Sudeste	6,8	35%	0,40%
Centro-oeste	3,1	16%	1,00%
Nordeste	3,5	18%	-0,10%
Norte	2,1	11%	2,80%
Brasil	19,7	100%	1,00%

Fonte: PPM, IBGE 2018

Diferentemente da produção agrícola de leite, o mapeamento regional da produção de lácteos no Brasil é limitado pela escassez de dados regionais e por produtos derivados do leite. A Pesquisa Industrial Anual Empresa (PIA – Empresa) disponibilizada pelo IBGE torna-se um ponto de partida para dimensionar o tamanho da indústria de lácteos. A Tabela 2 a seguir apresenta o valor da produção industrial de leite e derivados para 2016. O valor total da produção industrial foi de R\$ 54,4 bilhões, sendo que somente o valor da produção de leite atingiu cerca de R\$ 17 bilhões, enquanto a fabricação total de laticínios atingiu R\$ 37,6 bilhões, representando cerca de 70% do valor total de produção da indústria de leite. (FGV, 2020)

Esse resultado é interessante do ponto de vista de agregação de valor na cadeia de produção do leite. A fabricação de laticínios envolve um número maior de etapas no processo de produção quando comparado a produção industrial do leite. O resultado reflete o nível de intensificação tecnológica do segmento, portanto é natural que ao agregar tecnologia o valor da produção desse segmento seja superior ao segmento do leite industrial. (FGV, 2020)

Destaca-se na fabricação de laticínios a produção de queijos e outros derivados, que juntos representam cerca de 50,8% do total da produção atingindo cerca de R\$ 28 bilhões. Em seguida, destaca-se leite em pó (11%), creme de leite (3,9%) e manteiga (2,1%) que juntos somam cerca de R\$ 10 bilhões. (FGV, 2020)

Tabela 3: Produção de leite (industrializado) e derivados em 2016

Produto	Valor produzido (R\$ bilhões)	Participação (%)
Leite	16,9	31,0%
Fabricação de laticínios	37,6	69,0%
Creme de leite	2,1	3,9%
Leite em pó	6,0	11%
Soro de leite	0,7	1,3%
Manteiga	1,1	2,1%
Queijos	13,9	25,4%
Outros derivados	13,8	25,4%
Total setor lácteos	54,4	100%

Fonte: Sidra, IBGE

3.7 Indústria 4.0 e seus pilares fundamentais

A quarta revolução industrial, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde ao sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica. O que torna a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos (SCWAB, 2016).

Em 2011, houve na Alemanha o debate sobre a “Indústria 4.0” na feira de Hannover discutindo como isso iria revolucionar a organização das cadeias globais de valor. Ao permitir fábricas inteligentes, a quarta revolução industrial cria um mundo onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível. Isso permite a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais (SCWAB, 2016)

Em alguns países a Indústria 4.0 já começa a se tornar realidade, inclusive com o apoio dos governos das principais potências econômicas, que a tem colocado no centro de suas estratégias de política industrial. Isso cria um duplo desafio para o Brasil, pois, além de buscar a incorporação e o desenvolvimento dessas tecnológicas, é preciso fazê-lo com relativa agilidade a fim de evitar que o *gap* de competitividade entre o Brasil e alguns de seus principais competidores aumente (CNI, 2016).

Além disso, como vem ocorrendo em outros países, a difusão das tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil não atingirá todos os setores da mesma forma e ao mesmo tempo. O nível de heterogeneidade da nossa indústria exigirá que as políticas sejam adaptadas para diferentes conjuntos de setores e de empresas, que assumirão velocidades e condições diferenciadas (CNI, 2016).

Sabe-se que muitos autores trazem definições e quantidades diferentes dessas tecnologias 4.0. Tomando como ambiente delimitador o chão de fábrica e a leitura dos principais artigos dessas tecnologias, definiu-se as nove espécies de tecnologias que são mais relevantes para produção industrial de queijos que estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Nove tecnologias pilares da revolução industrial 4.0.

Tecnologia	Definição
Computação em nuvem	Aplicações computacionais acessíveis por meio da internet, através de computadores e/ou sistemas hospedados remotamente disponibilizados pelo acesso remoto via internet.
Big data	Grande volume de dados reais que estão disponíveis para a análise em grande velocidade para criação e modelos, cenários, análises e projeções.
<i>Cibersegurança</i>	Proteção de dados e informações. Proteção é realizada por meio de criptografia e métodos de segurança que disponibilizam essas informações para as uso sob autorização daquele que o detém.
Internet das coisas	Conexão de equipamentos e dispositivos entre si e/ou com a internet, fazendo com que haja interação entre funções dos aparelhos o com o usuário de acordo com as funcionalidades disponíveis.
Robôs autônomos	Máquina com inteligência que realiza atividades específicas que pode contar com a intervenção humana sobre seus movimentos e/ou funcionamento.
Nanotecnologia	Ciência em escala atômica e permitindo a construção de materiais e estruturas a partir dos átomos.
Manufatura aditiva	Confecção de um objeto por meio de um programa de design digital que é impresso por meio de uma impressora em 3D. Permite a criação de peças sob medida e customização de objetos.
Realidade aumentada	Interação entre o mundo real e virtual onde tem-se a interação visual com usuário permitindo que ele interaja com esse sistema, máquina ou processo em tempo real.
Digitalização de processos	Virtualização de processos e máquinas dentro de um sistema de gestão operacional na qual permite as integrações verticais e/ou horizontais das informações, dispositivos, maquinário e etapas de processo.

Fonte: autoria própria.

Sabe-se que muitos autores trazem definições e quantidades diferentes dessas tecnologias 4.0. Tomando como ambiente delimitador o chão de fábrica e a leitura dos principais artigos dessas tecnologias, definiu-se as nove espécies de tecnologias que são mais relevantes para produção industrial de queijos que estão apresentadas na Tabela 4. (NAYYAR; KUMAR, 2020; PACE et al., 2018; ACETO et al., 2020; GHOBAKHLOO, 2020; BAI; DALLASEGA; ORZES; SARKIS, 2020)

O roteiro para indústria 4.0 tem como temas a indústria 4.0, uso de controladores, sensores, conectividade, sustentabilidade, fábricas inteligentes, análise de big data, internet das coisas, digitalização de processos, computação em nuvem, robôs autônomos, manufatura aditiva com caráter de revisão bibliográfica para desenvolvimento sustentável da indústria 4.0 (NAYYAR; KUMAR, 2020)

O desenvolvimento com foco na realidade aumentada, internet das coisas e uso de robôs nas indústrias foram as três ferramentas 4.0 que foram desenvolvidos nesse trabalho de revisão bibliográfico italiano. (PACE et al., 2018)

O impacto da indústria 4.0 é discutido na área da saúde como instrumentos facilitadores da assistência médica que utilizam internet das coisas, computação em nuvem em big data como as principais ferramentas para o monitoramento da saúde. O uso dessas tecnologias permite que os cuidados com a saúde sejam modernos e altamente tecnológicos. (ACETO et al., 2020)

Levantamento de artigos da indústria 4.0 para desenvolvimento da sustentabilidade juntamente com todas as ferramentas da Tabela 4 a fim de se avaliar as principais ferramentas que podem ser aplicadas para desenvolvimento da sustentabilidade das indústrias. (GHOBAKHLOO, 2020)

As novas tecnologias para desenvolvimento da sustentabilidade industrial, conforme base de dados das Nações Unidas, receberam análise de um método híbrido de decisão envolvendo critérios múltiplos, tendo como finalidade a avaliação das tecnologias adotadas a fim de ela seja cuidadosamente analisada tenha melhor função e maior impacto na sustentabilidade de todas as indústrias. (BAI; DALLASEGA; ORZES; SARKIS, 2020)

3.8 Vantagens e desafios da indústria 4.0

Nessa revolução, as tecnologias emergentes e as inovações generalizadas são difundidas de forma mais rápida e amplamente quando comparada a períodos anteriores, e continuam a desdobrar-se em algumas partes do mundo. A segunda revolução industrial precisa ainda ser

plenamente vivida por 17% da população mundial, pois quase 1,3 bilhão de pessoas ainda não tem acesso à eletricidade. Isso também é válido para a terceira revolução industrial, já que mais da metade da população mundial, 4 bilhões de pessoas, vive em países em desenvolvimento sem acesso à internet. O tear mecanizado (a marca da primeira revolução industrial) levou quase 120 anos para se espalhar fora da Europa. Em contraste, a internet espalhou-se pelo globo em menos de uma década (SCWAB, 2016).

Diante disso, o maior e mais comentado impacto na Indústria 4.0 é a questão da demanda de mão de obra. Saem de cena muitos trabalhos manuais e repetitivos e entram competências profissionais voltadas à tecnologia. Por isso, é importante que os trabalhadores da indústria se mantenham atualizados em relação às novas tendências e de que forma é possível se destacar nesse novo mercado. (SANKHYA, 2021)

Assim como toda a transformação da Revolução Industrial, algumas áreas estão aos poucos sumindo do mercado e outras surgindo. De acordo com estudo realizado pela Dell Technologies, 85% das profissões que estarão em destaque em 2030 ainda nem existem. Por isso a importância de buscar conhecimento por meio do estudo de novas tecnologias, que são desenvolvidas constantemente. (SANKHYA, 2021)

A preocupação pela substituição dos humanos por máquinas e, consequentemente, pela diminuição de vagas de trabalho não deixa de existir. No entanto, é preciso entender que novas oportunidades e diferentes áreas surgirão e, por isso, as pessoas precisam se adaptar à nova era industrial, assim como aconteceu com as anteriores. (SANKHYA, 2021)

Entre as principais vantagens da Indústria 4.0 para o setor alimentício, podemos destacar:

- Redução de custos, energia e matéria-prima por meio do desenvolvimento de sistemas. Operação sem falhas gera menos desperdício e, consequentemente, menos gasto de energia;
- Criação de novas profissões e profissionais mais qualificados;
- Aumento da inteligência das empresas com análise precisa de dados;
- Otimização do uso de recursos naturais e diminuição do impacto de atividade no meio ambiente;
- Monitoramento e manutenção remota de equipamentos;
- Segurança por meio de rastreabilidade, que localiza falhas no processo e faz com que os dispositivos os resolvam rapidamente.

- Possibilidade de personalização e customização dos produtos de acordo com a necessidade do cliente. (ARBEGAUS, 2018)

Para se manter competitivas, as indústrias de alimentos e bebidas precisam estar preparadas para a Quarta Revolução Industrial. Além disso, é imprescindível contar com parcerias capacitadas para fazer as integrações necessárias entre os equipamentos da linha de produção e os sistemas utilizados. (ARBEGAUS, 2018)

Outro ponto fundamental da Indústria 4.0 para o setor de alimentos e bebidas é a capacitação da equipe, que precisa ser capaz de se adaptar às mudanças, possuir visão técnica multidisciplinar, com habilidades em mecânica, elétrica e automação, além de olhar para os processos de forma sistêmica. O profissional precisa entender o funcionamento das máquinas e dos processos para interpretar e compilar as informações de forma abrangente e acertada. (ARBEGAUS, 2018)

O trabalho dos gestores da indústria neste momento é o de ser proativo e aceitar as mudanças, promovendo primeiramente uma mudança cultural no negócio. Buscar parcerias adequadas, que possuam experiência e que possam ajudar nas transformações e na gestão do novo modelo de produção e negócios. Para fazer tudo acontecer, além do maquinário correto e equipe capacitada, são necessários softwares e processos apropriados, que possibilitem a interação entre o todo durante a produção. (ARBEGAUS, 2018)

A análise avançada da enorme quantidade de dados disponibilizada pela Indústria 4.0 é outro ponto fundamental para enfrentar os novos desafios. Aqueles que se anteciparem na adoção da Indústria 4.0 no setor de alimentos e bebidas serão aqueles que mais cedo colherão os benefícios dessa nova forma de produção. (ARBEGAUS, 2018)

Tem-se que a realidade mundial dos estágios das revoluções industriais sofrem variações locais. Observa-se que as grandes empresas que dispõem de elevados recursos financeiros para investimento nas ferramentas 4.0 estão na vanguarda da revolução. Elas demandam por profissionais capacitados e infraestrutura para desenvolvimento dessas tecnologias para que tenham seus custos diminuídos e sua difusão cheguem para as médias e pequenas empresas.

A complexidade da cadeia leiteira e desafios enfrentados pelos agentes intermediários são uns dos principais desafios para os produtores rurais. A transformação digital do agronegócio tem como principal efeito a melhoria desses preços a fim de garantir redução de custos por meio da implantação das ferramentas 4.0 (CISNADES JR, 2022).

Existem muitos desafios na indústria de laticínios para utilizar as ferramentas da indústria 4.0 tendo como finalidade a melhoria de seus produtos e serem competitivos dentro do mercado nacional. Enfatiza-se que a modernização das instalações e processos tendem a ser benéficos para os colaboradores e proprietários (FoodConnnetion, 2022).

A pesquisa de adequação as tecnologias que caracterizam a indústria 4.0 juntamente com suas finalidades de aumento na rastreabilidade, aumento de performance, aprimoramento de gestão de indicadores e o acesso a informações do processo a qualquer momento pode ser utilizado em um sistema de rastreabilidade e análise de produção para a indústria de laticínios. (COUTO, 2022)

Em seu artigo com título de "Indústria 4.0 nas empresas de produtos lácteos" realizou um estudo descritivo exploratório de uma pesquisa nos com os laticínios no estado de Goiás. Os resultados foram obtidos através da aplicação de um questionário virtual enviado por e-mail para os gerentes de produção. Foram abortadas as perguntas sobre o uso das ferramentas 4.0. Conclui-se os laticínios ainda estão em processo de implementação das ferramentas e que apresentam maior desenvolvimento na robótica e sistemas verticais de produção. (SILVA, 2020)

4. MODELO DE PROCESSAMENTO DE QUEIJOS 4.0

No Brasil são fabricadas uma grande variedade de queijos, que refletem a própria formação cultural. Há queijos mais tipicamente brasileiros e há outros inspirados nos conhecimentos queijeiros trazidos ao país por franceses, dinamarqueses, italianos e, mais recentemente, queijos introduzidos por hábitos alimentares ingleses e americanos. As versões originais foram adaptadas às condições e à oferta de leite nas diferentes bacias leiteiras também foram se adequando as preferências do consumidor brasileiro. Pela legislação brasileira, alguns queijos de origem europeia apresentam em sua designação no rótulo a palavra “tipo”, para preservar sua designação original ao país que o criou (ABIQ, 2022).

As principais etapas de fabricação e os principais parâmetros de interesse são explicitados por meio da tabela de controle de produção disponibilizada por uma empresa de insumos para fabricação de queijos. Essa tabela trás os estágios da fabricação juntamente com todas as informações que apresentam são de grande importância dentro da planta de produção.

Na Tabela 5 são demonstradas as principais etapas de interesse na produção de muçarela. Para o preenchimento dos dados da Tabela 5 durante um dia de produção, sem o uso

das ferramentas 4.0, pode ser impressa em papel e o responsável pelo preenchimento acompanha as etapas de fabricação e realiza as anotações das informações. Para uma produção contínua com a produção diária de mais de cinco lotes de queijo, nota-se que o responsável pelas anotações muitas das vezes não consegue acompanhar todos os processos de forma adequada podendo não dar atenção a certos parâmetros de interesse.

Considerando que diariamente tem-se o arquivamento dessas informações em armários e pastas. A consulta e a análise de um parâmetro de interesse, para esse caso, demanda um grande esforço e muito tempo por parte de um responsável. Por fim, destaca-se que o cruzamento de informações de produção com os dados de análises laboratoriais e dos produtores rurais para se elaborar a rastreabilidade de ponta a ponta, sem o uso de tecnologia consome um muito tempo e esforço por parte dos envolvidos nessa tarefa.

Tabela 5: Tabela de controle de produção.

macalê		CONTROLE DE PRODUÇÃO DE QUEIJOS		macalê	
ESTÁGIOS DA FABRICAÇÃO		COLETA DE DADOS			
CONTROLE INTERNO	DATA			CORTE	INÍCIO DO CORTE (HORA)
	TANQUE				FINAL DO CORTE (HORA)
	LOTE (PRODUTO)			AQUECIMENTO	INÍCIO DO AQUECIMENTO (HORA)
	PRODUTO				FINAL DO AQUECIMENTO (HORA)
	RESPONSÁVEL PELO TANQUE				TEMPERATURA DE AQUECIMENTO (°C)
			PONTO FINAL (HORA)		
MEDIDAS DO LEITE (ANTES DA PRODUÇÃO)	MEDIDA DO LEITE (LITROS / RÉGUA)			FILAGEM (MUSSARELA)	TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)
	GORDURA DO LEITE INTEGRAL				pH INÍCIO DE FILAGEM
	GORDURA DO LEITE PADRONIZADO				pH MEIO FILAGEM
PASTEURIZAÇÃO	CRIOSCOPIA DO LEITE				pH FINAL FILAGEM
	FOSFATASE (FINAL) (+/-)				QUANTIDADE DE PEÇAS NA SALGA
	PEROXIDASE (FINAL) (+/-)				QUANTIDADE PEÇAS NA EMBALAGEM
FERMENTAÇÃO	FERMENTO: TIPO/LOTE:			SOMAR O PESO INDIVIDUALMENTE DE CADA PEÇA	PESO TOTAL FINAL (KG)
	INÍCIO DO ENCHIMENTO (HORA)			DIVIDIR MEDIDA DO LEITE POR PESO TOTAL FINAL	RENDIMENTO DE FABRICAÇÃO (L/KG)
	ADIÇÃO DO FERMENTO (HORA)				
	FINAL DO ENCHIMENTO (HORA)				
		CLORETO DE CÁLCIO: (ML) QUANTIDADE/LOTE:			OBSERVAÇÕES:
COAGULAÇÃO	COAGULANTE/COALHO: (ML) QUANTIDADE/LOTE:				
	ADIÇÃO COAGULANTE / COALHO (HORA)				
	TEMPO DE COAGULAÇÃO (MIN)				
	CORANTE CLOROFILA: (ML) QUANTIDADE/LOTE:				
				Ficha de Controle de Produção Unificada. Será preenchida de acordo com a necessidade.	
				Responsável pela verificação: _____	

Fonte: (MACALÉ, 2022)

4.1. História do queijo muçarela

A fabricação do queijo data o período conhecido como paleolítico, antes mesmo do nascimento de Cristo. Algumas histórias dizem que o queijo foi descoberto por Aristeu, Rei de Arcádia e filho de Apolo. O primeiro queijo consistia apenas em um leite coagulado, salgado e sem soro. Mas então, a partir da Idade Média, somente os mosteiros católicos eram responsáveis pela fabricação de queijos finos, com a utilização de receitas desenvolvidas pelos monges. (ALVES, 2019)

Com o passar dos anos as técnicas de fabricação foram sendo aprimoradas, principalmente com a utilização de esporos de fungos na água sendo adicionados ao leite. Os egípcios foram os primeiros povos a adotar a criação de gado e fazer do leite e do queijo fontes principais de suas alimentações. No entanto, este fator foi possível por conta do vale fértil do Rio Nilo que possuía diversas pastagens cheias de gado. Há relatos de queijos feitos de leite de cabra, de ovelha e de vaca encontrados em diversas tumbas de egípcios. (ALVES, 2019)

Com o passar dos anos as técnicas de higienização do queijo também foram sendo desenvolvidas e mais aprimoradas. Nos séculos XIV e XV, durante a expansão das feiras e dos mercados, as queijarias passaram a ganhar mais credibilidade. Mas foi somente no século XIX que o queijo teve seu ápice de consumo, tanto que sua produção artesanal passou a ser industrial. Nessa mesma época foi desenvolvido o processo de pasteurização, que depois passou a ser aplicado nas fabricações de queijo. (ALVES, 2019)

O queijo muçarela chegou ao Brasil entre os anos de 1860 e 1890. Foi na época em que aproximadamente 974 mil imigrantes italianos vieram para o país. A partir disso, ele começou a se disseminar rapidamente, principalmente por conta de seu uso na culinária italiana que caiu no paladar e no gosto dos brasileiros. (ALVES, 2019)

O queijo tipo muçarela tem origem italiana, com vários representantes no mercado. De acordo com o formato de sua massa recebe diversas denominações, como a muçarela propriamente dita, de formato retangular (SOUZA, 1960).

A muçarela é um alimento presente na alimentação dos seres humanos. Pizzas, tortas, esfihas, saladas e muitos outros alimentos compõem esta iguaria entre os ingredientes. Ela é um produto forte na Itália, que começou a intensificar-se no Brasil após a chegada de imigrantes italianas. Sendo assim, passou a ser um produto usado na maioria dos pratos brasileiros, dando um toque a mais no sabor. Seu uso espalhou-se pelos quatro cantos do mundo. (ALVES, 2019)

O consumo de muçarela é muito forte atualmente. Além de ser um produto feito a partir do leite de vaca, ela é tradicionalmente feita com o leite de búfala – seu principal ingrediente de origem. O que poucos sabem é que a fabricação com uso do leite de vaca foi adotada por técnicas brasileiras, que aprimoraram as receitas culinárias. Desde então, ela passou a ser consumida feita com o leite dos dois animais leiteiros. (ALVES, 2019)

4.2. Legislação da muçarela

O regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de queijo muçarela foi decretado por meio da Portaria do Ministério da Agricultura nº 364 de 04 de setembro de 1997 onde se estabelece todos os requisitos que classificam muçarela para âmbitos de comércio nacional e internacional (MAPA, 1997).

A Portaria do Ministério da Agricultura nº 366 de 04 de setembro de 1997 define o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de massa para elaboração de queijo muçarela para o comércio nacional e internacional como sendo um produto intermediário de uso exclusivamente industrial (MAPA, 1997).

A Portaria do Ministério da Agricultura e Pecuária nº 837 de 18 de junho de 2018 altera os critérios de análise microbiológicas ao processo de elaboração da Portaria nº 364. (MAPA, 2018)

4.3. Fluxograma teórico da muçarela 4.0

Na

Figura 6 são apresentadas as etapas necessárias para a produção de muçarela, principais parâmetros que de interesse a serem controlados no processo e equipamentos utilizados durante o processo. Nessas etapas existem dois pontos críticos de processo: pasteurização e a padronização. A pasteurização trabalha-se com faixa de temperatura de 72°C a 75°C e com um tempo de 15 a 20 segundos. Temperaturas superiores causam perda da capacidade de estiramento da proteína, e a massa pode vir a arrebentar. Avalia-se a melhor eficiência da pasteurização com a inclusão de rotina de análise de duas enzimas: a fosfatase e a peroxidase. A fosfatase tem como resultado esperado com negativo para sua presença, pois ela é inativada a temperaturas próximas à temperatura mínima de pasteurização. Caso apresente resultado positivo temos leite cru. A peroxidase é inativada a temperaturas superiores à de pasteurização,

logo o resultado é positivo para a presença dessa enzima. Caso apresente um resultado negativo tem-se demora na etapa de coagulação, perda de rendimento, dificuldade na filagem e fatiabilidade comprometida. (MACALÉ, 2022)

O leite cru *in natura*, que por definição é considerado com uma mistura homogênea de água, proteínas, gorduras, vitaminas, sais minerais e microbiológica. A diminuição da carga microbiana é principal motivo da realização desse processo para que o processo fermentativo que ocorre durante a manipulação da coalhada tenha um bom rendimento, evitando assim que a levedura que realiza a fermentação láctica não tenha competição com a microbiota natural do leite. Na hipótese de má condução dessa etapa, acarreta a diminuição do rendimento na produção coalhada, acarretando a diminuição no volume de muçarela produzida.

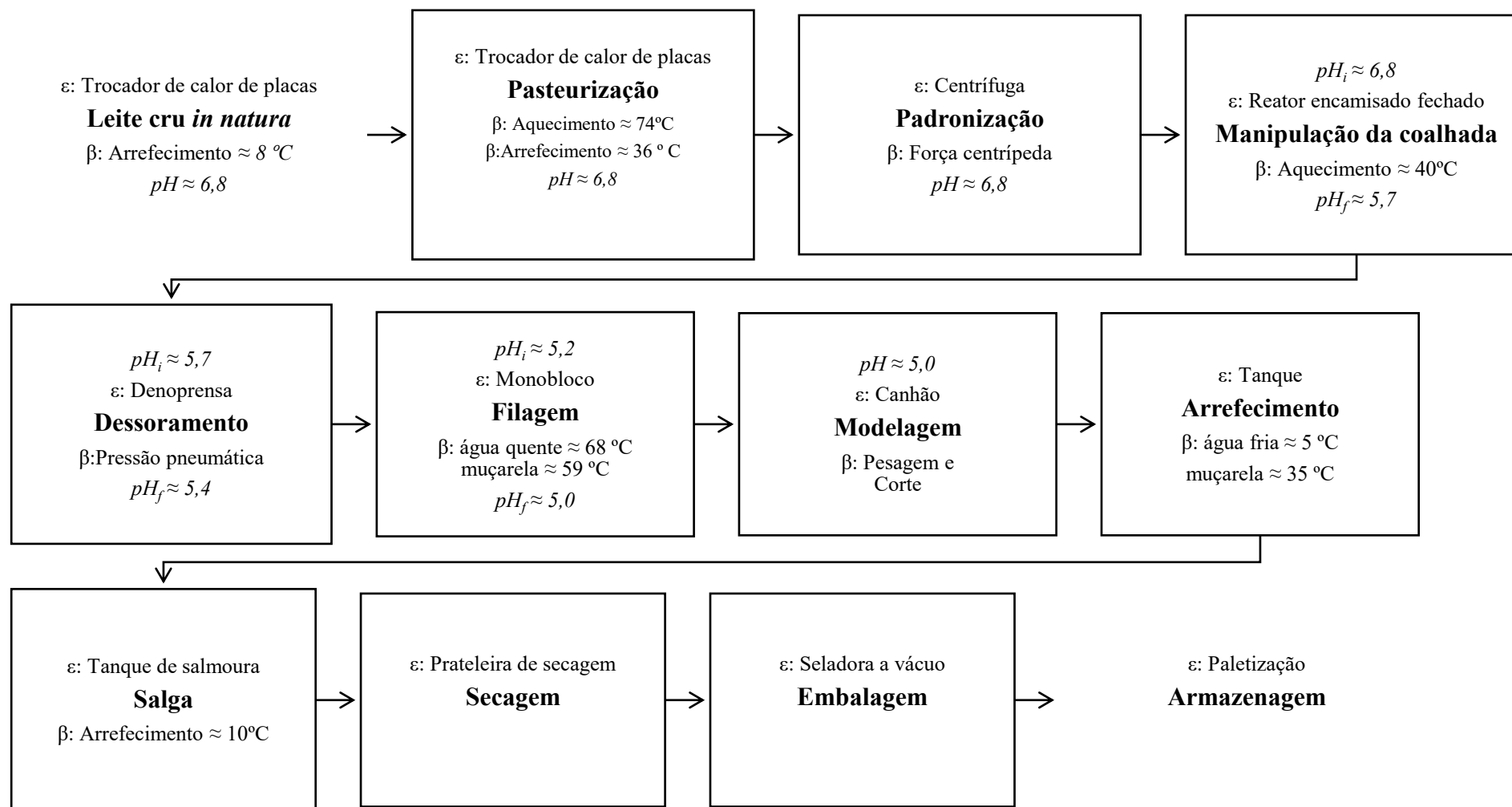
Deve-se padronizar o teor de gordura no leite. Um teor de gordura muito alto, no momento do forneamento da muçarela, pode fazer com que a gordura seja liberada, *oilling off*, sobressaindo por cima do produto. Um teor de gordura muito baixo pode deixar a muçarela muito ressecada no que acarreta uma fatiabilidade ruim. O teor de gordura do leite ideal se encontra entre 2,7% e 3%. (MACALÉ, 2022)

Na manipulação da coalhada, considera-se a adição de ingredientes em um reator onde ocorrerá o processo de fermentação enzimática. Os insumos são leite pasteurizados e padronizados com cloreto de cálcio, fermento e quimosina.

Ressalta-se que o rendimento final não é constante e que sofre alterações diretas tais como: composição do leite, quantidade de ingredientes e manipulação realizada pelos operadores. Por isso, o uso de tecnologias é imprescindível e o acompanhamento dos processos é vital para ajustes e cálculos de rendimento, evitando-se assim as perdas por má condução do processo.

A escolha do fermento varia com o processo a ser adotado. Para a fermentação lenta geralmente adotam-se fermentos contendo as culturas de *Lactobacillus helveticus* juntamente com *Lactobacillus thermophilus* o que garante um menor tempo de fatiabilidade e de prateleira. Para a fermentação rápida usa-se somente a cultura de *thermophilus* puro que garante maior tempo de fatiabilidade e de prateleira. (MACALÉ, 2022)

Figura 6 - Etapas de produção da muçarela detalhado.



Fonte: autoria própria.

Para o insumo de cloreto de cálcio, recomenda-se o uso de uma solução a 40% m/v. Indica-se trabalhar com doses entre 300 ml e no máximo 400 ml para cada 1000L de leite. Isso é fundamental para uma boa formação de coalhada garantindo-se assim uma boa formação da coalhada. (MACALÉ, 2022)

É fundamental o uso de um bom coagulante para melhorar a qualidade e o rendimento. As dosagens variam de 40 ml a 60 ml a cada 1000L de leite, dependendo do tipo escolhido. Ao adicionar o coagulante ao tanque de fabricação, recomenda-se agitação vigorosa por pelo menos 5 minutos. O tempo de coagulação é variável conforme o tipo e dose do coagulante escolhido para o processo, sendo fundamental a realização do teste da faca para conferir a firmeza do gel de coalhada. (MACALÉ, 2022)

O corte da coalhada pode ser manual ou automático. No caso de tanques manuais, emprega-se para tal duas litas: horizontal e vertical. Para tanques de fabricação tipo Queijomatics, automático, observa-se o lado do corte, inicia-se bem lentamente e aumenta-se a velocidade de corte aos poucos. (MACALÉ, 2022)

Em tanques manuais, logo após o corte da massa deve ficar em repouso por 3 a 5 minutos. Após esse período de descanso, inicia-se a mexedora com o auxílio de um garfo. Nas Queijomatics esse tempo de repouso não se faz necessário, precisa-se apenas inverter o sentido de rotação das litas. (MACALÉ, 2022)

A temperatura de cozimento da massa varia de acordo com o tipo de fermento escolhido. A escolha de fermentos que permitam a filagem no mesmo dia, recomenda-se 42°C. Já para a filagem no dia seguinte recomenda-se 43°C até 44°C (MACALÉ, 2022). Para a filagem no mesmo dia o ponto é ligeiramente mais mole quando comparada a filagem no dia seguinte. Isso se deve à ação rápida de acidificação do *thermophilus*, que vai expulsar mais soro na próxima etapa, durante a fermentação. Um ponto muito firme compromete a fatiabilidade, podendo até causar trincas no queijo – queijo esfarelando. Já um ponto muito mole reduz o tempo de prateleira e fatiabilidade – queijo embolando. (MACALÉ, 2022)

No processo de filagem no mesmo dia, a fermentação se dá no tanque de fabricação ou auxiliar, com pelos menos uma parte do soro recobrando a massa para manter a temperatura. A temperatura não deverá ser inferior a 38°C com riscos de atrasar a fermentação. Atrasos na fermentação geram um baixo rendimento. A fermentação deve ocorrer no tempo máximo de 2 horas. Já para a fermentação lenta, ocorre nas mesas até o dia seguinte. (MACALÉ, 2022)

Os insumos são adicionados no reator para que a fermentação láctica ocorra com a finalidade de realizar a separação da caseína do leite. Essa proteína encontra-se solubilizada e

é quebrada por meio de um processo enzimático. Inicialmente é adicionado o leite pasteurizado e padronizado. Após um certo tempo ocorre a adição de cloreto de cálcio com a finalidade de se criar uma solução saturada de cálcio. Em seguida é adicionado o fermento com a levedura que quebra a molécula da caseína criando uma parte insolúvel e a outra solúvel. Por fim, é adicionado o coagulante quimosina no qual ajuda na formação da coalhada. Após um período de descanso, a coalhada é cortada e aquecida e segue para a próxima etapa do processo.

Durante essa etapa, o acompanhamento da queda do pH é vital para se determinar se a reação ocorre de maneira satisfatória pois durante o processo fermentativo, tem-se aumento do nível de acidez.

Outra etapa que apresenta grande importância é a filagem. Esse processo é o marcado pelo tratamento térmico da coalhada. A coalhada é picada e conduzida para o equipamento que realiza a lavagem com água quente. Duas roscas sem fim giram a uma velocidade constante onde se tem uma formação de massa lisa e uniforme.

O pH de filagem pode variar um pouco dependendo da região, por via de regra trabalhamos com pH de início de filagem entre 5,20 e 5,10. Deve-se ter cuidado com o pH da filagem, pois abaixo de 5 ocasiona em perda de cálcio o que pode causar trincas. Além disso, também há maior perdas de gordura para a água de filagem. (MACALÉ, 2022)

Para cada uma das etapas da Figura 6 de processo acima é apresentada a inserção de algumas das ferramentas listadas na Tabela 4 de modo a como que a produção tenha uma elevada tecnologia na elaboração do queijo tipo muçarela em um planta de fabricação teórica.

Inicialmente, leva-se em consideração que o leite cru *in natura* armazenando em silos com sensores de controle de nível, temperatura, pH, acidez e crioscopia que realizam a aferição em tempo real com a ajuda de controladores e sistema de gestão de produção que realiza a coleta dessas informações.

O sistema de bombeamento é controlado através de uma sala de comando onde se consegue realizar o direcionamento do leite através de registros pneumáticos. Essa sala de controle de bombeamento apresenta-se controle com as estações de limpeza de bombas, rotas e equipamentos na qual a dosagem dos produtos que são utilizados durante a limpeza é realizada de forma automática por um sistema de bombas dosadoras operadas remotamente. A limpeza das tubulações e controle desse processo é realizado por meio de um sistema de uma métrica de um sistema de ponta no mercado.

As métricas de limpeza *Clean In Place* (CIP) tradicionais medem vazão, condutividade e temperatura, o que pode indicar que o ciclo de limpeza atendeu aos parâmetros predefinidos.

Mas, eles não podem indicar o nível de limpeza. A maioria dos objetos CIP são fáceis de limpar, mas as margens de segurança são ditadas pelos objetos mais desafiadores. Dados de mais de 200 locais de produção de laticínios em todo o mundo mostram que a maioria das lavagens pode ser reduzida à metade dos tempos originais reduzindo com segurança os ciclos de lavagem CIP e com dados analíticos de uma boa limpeza por meio de sensores espectrofotômetros CIPTEC®. (DIVERSEY, 2022)

Entender onde existem oportunidades de otimização CIP começam com a coleta de dados das lavagens. A abordagem patenteada da Diversey CIPTEC® utiliza sensores espectrofotômetros para medir os feixes de luz que passam pelo tubo CIP no espectro de retorno e de avanço. A maior parte da luz passa pela água, mas produtos químicos e produtos lácteos na água absorvem a luz, permitindo detectar a quantidade de sujeira nos líquidos de limpeza e quando a sujeira foi removida. Isso define tempos de fase efetivos e ineficazes e os ajustes dos parâmetros de limpeza (DIVERSEY, 2022). A diferença de condutividade entre a água da torneira e as soluções de limpeza torna os medidores de condutividade práticos para controlar a concentração química e a separação de fases em linhas CIP. Enquanto a condutividade pode detectar uma mudança de 0,1% na concentração química/água, ela é limitada na detecção de resíduos de leite da água ou de produtos químicos porque a condutividade do leite é relativamente próxima à da água e tanto os resíduos de leite quanto a água diminuirão a condutividade da fase química CIP. (DIVERSEY, 2022)

Os resíduos de leite serão vistos com precisão por absorção, seja de produtos químicos CIP ou água, pois os resíduos de leite absorvem muito mais luz do que água ou produtos químicos CIP. Os espectrofotômetros podem detectar leite ou outras quantidades de produto no primeiro enxágue, resíduos de até 0,5 partículas por milhão de leite em produtos químicos de limpeza e resíduos químicos no enxágue final. (DIVERSEY, 2022)

Esse sistema garante com que se tenha linha perfeitamente estéril, fácil operação, com gestão de recursos soluções de limpeza ideal e com gestão de tempo adequado. Visando o monitoramento constante dos equipamentos são instalados sensores de pH, temperatura, vazão, pressão e densidade nos tubos que guiam a matéria-prima para demais processos. Esses aparelhos devem possuir certificação para assegurar que seu funcionamento esteja dentro do que é definido com os padrões operacionais do sistema.

4.3.1 *Pasteurização*

O leite deve ser pasteurizado entre 72°C e 75°C por 15 segundos. Temperaturas superiores devem ser evitadas, sob o risco de ocorrer uma forte desnaturação da soroproteínas (alfa-lactalbumina e beta-lactoglobulina) que poderiam ser incorporadas em maiores proporções à coalhada. Se isso vier a ocorrer, a coagulação é prejudicada -coalhada torna-se mais mole e o soro ao corte, mais leitoso- e a coalhada arrasta consigo mais coalho, elevando o risco de ocorrer sabor amargo na muçarela (FURTADO, 2016).

O controle de forma remota desse processo se dá pela utilização de válvulas pneumáticas do controle de abertura. Ressalta-se que esse é um ponto crítico de controle onde uma tecnologia de realidade aumentada com gradiente térmico de fluxo líquido serve para monitoramento e a certificação de que o trocador de calor de placas não tenha defeitos e que o leite enviado para as demais etapas esteja pasteurizado.

4.3.2 *Padronização*

A homogeneização do leite reduz o tamanho médio dos glóbulos de gordura, aumentando seu grau de emulsificação. Estudos têm demonstrado que a homogeneização permite aumentar o rendimento da fabricação, ao diminuir as perdas de gordura no soro, além de reduzir sensivelmente a separação de gordura no soro, o que interfere quando muçarela é derretida. Por outro lado, tem sido demonstrado que o derretimento e a elasticidade do queijo são prejudicados pela homogeneização, provavelmente devido à maior presença e interligação das micelas de caseína na interface água-gordura (FURTADO, 2016).

Esse processo também é considerado com um ponto crítico de controle. Nele o leite anteriormente pasteurizado é encaminhado para uma desnatadeira que, por meio da força centrífuga, realiza a extração da gordura parcial do leite. Para controle mais tecnológico dessa etapa, o uso da realidade aumentada é com sensores de fluxo juntamente com sensores que realizam a aferição da gordura do leite pasteurizado na alimentação para que as válvulas de estrangulamento sejam calibradas das melhores configurações.

O sistema Padroniza Direct View[®] é capaz detectar pequenas falhas no equipamento, permitindo a correção em menor tempo, garantindo maior produtividade e prolongando a vida útil do equipamento. Através do monitoramento das variáveis como pressão, temperatura, vazão etc.; sendo possível determinar ótimos níveis de trabalho. Caso estes níveis saiam da

faixa aceitável, o sistema gera um alerta e as falhas são corrigidas rapidamente. Garantindo o padrão de qualidade do produto. (PADRONIZA, 2022)

Com o supervisor, é possível realizar a leitura de um processo industrial inteiro em poucos “cliques”. Gerar gráficos de tendência e históricos das variáveis do processo gerando redução dos custos operacionais. Através da rapidez da leitura dos instrumentos do equipamento, as intervenções e configurações necessárias podem ser feitas rapidamente tendo com resultado a melhor performance na produção. O sistema gera cópias em um banco de dados local e na “nuvem” (internet). Garantindo a integridade absoluta das informações gravadas na base de dados. (PADRONIZA, 2022)

A parte com alto teor de gordura do leite é designada com creme de leite e segue para um tanque e uma linha de envase. Por fim, as embalagens de creme de leite são pesadas e recebem uma etiqueta com dados de rastreio de produção e são encaminhados para a câmara de estocagem.

4.3.3 *Manipulação da coalhada*

O leite pasteurizado e padronizado é levado para um reator onde o processo de fermentação enzimática ocorrerá. Nesse reator é interessante sensores que captem informações de pH, temperatura, peso e leitura do aspecto visual da coalhada. Os principais fabricantes desses equipamentos contam somente com balança para aferição do peso. A área de desenvolvimento de equipamentos com as ferramentas 4.0 ainda precisa ser explorada para esses equipamentos.

Figura 7: Adição manual de ingredientes na manipulação da coalhada



Fonte: (FURTADO, 2016)

As etapas a serem executadas para que tenha a produção a coalhada são:

- Ajuste da temperatura do leite no tanque para 36-37°C, para estimular os cultivos termofílicos;
- Adiciação ao leite um fermento termofílico, contendo apenas *Streptococcus thermophilus*. Atualmente são mais usados fermentos concentrados diretos, liofilizados ou congelados;
- O fermento poderá ser adicionado no princípio do enchimento do tanque, no meio ou no final desse processo, em função de se optar por acelerar mais, ou acelerar menos a fermentação;
- Quando se adiciona no início do enchimento, recomenda-se pré-maturar por pelo menos 40 minutos;
- Adição do cloreto de cálcio em dose normal (40 ml de uma solução a 50% p/v por litros de leite);
- Adição do coalho (atualmente, o mais usado contém apenas quimosina) em dose normal, suficiente para coagular em cerca de 25-35 minutos;
- Cortar em cubos de 1,5-2,0 cm de aresta;
- Agitação lenta por 10 minutos;
- Nesta etapa não se faz a dessoragem parcial;

- Início do aquecimento por vapor direto, até 42-43°C, mantando a agitação um pouco mais rápida até o ponto (entre 35-45 minutos após o corte) (FURTADO, 2016).

O pH é uma das variáveis de interesse para se saber o desenrolar da fermentação. Inicialmente o leite apresenta um pH pouco abaixo de 6,50. Ao longo do processo fermentativo ele chega a 5,00. O monitoramento dessa variável é de suma importância para que no final do processo a muçarela apresente as características da fatiabilidade e derretimento.

O controle de temperatura é interessante para garantir que a fermentação enzimática ocorra e que no processo de corte da coalhada se tenha cozimento do grão para que ao longo do processo o teor de umidade seja controlado.

Um sensor fotográfico é essencial para que se tenha a visualização do aspecto da coalhada e durante o processo de corte tenha-se a constatação de que o grão esteja no diâmetro adequando para o controle de rendimento e do teor de umidade.

A balança é de interesse para pesagem da quantidade de leite presente no reator e que juntamente com a temperatura conhecida se tem o cálculo do volume de leite para os cálculos de rendimento ao longo do processo.

A dosagem remota para adição dos ingredientes traria muita praticidade para esse processo, pois reduziria a possibilidade de contaminação por fatores externos, além de se ter a exatidão na fórmula de produção, poupando assim o uso excessivo desses insumos que apresentam um valor considerável para os custos de produção.

4.3.4 *Dessoramento*

Após a coalhada estar pronta, por meio de válvulas pneumáticas ela é encaminhada para um tanque de prensa pneumática onde é realizada uma etapa de separação e compactação da coalhada para que ela seja encaminhada para as seguintes etapas.

Figura 8: Dreno-prensa no momento inicial (a) e final (b) de descida da massa.



Fonte: (FURTADO, 2016)

Em um processo considerado como tradicional tem as seguintes etapas:

- Início com a dessoragem, transferindo a massa para a dreno-prensa, em geral localizada logo abaixo do tanque de fabricação;
- Pré-prensagem da massa na dreno-prensa por 10-15 minutos (60-80 lbs / pol²);
- Corte em blocos de tamanho médio e colocar em mesas, prateleiras de aço inox, ou carrinhos com rodas para fermentar. Em algumas dessas situações, a massa poderá ficar coberta por soro, para manter melhor o calor;
- Fermentação até atingir o pH de filagem, por volta de 5,05 a 5,15, em média (FURTADO, 2016).

É de interesse que ela esteja com sensores que realizem as mesmas informações na etapa anterior para que se prossiga assim com o controle efetivo dessas variáveis dentro do processo. Os tempos de descida de massa e prensagem devem ser anotados.

Ao fim da prensagem, a coalhada é encaminhada para o processo de filagem por meio de esteiras que levam para uma mesa onde essa massa aguarda para que seja realizado o processo de tratamento térmico que recebe o nome de filagem.

4.3.5 *Filagem*

O processo de filagem consiste em retorcer e pressionar a massa do queijo para que ela ganhe uma textura alongada, lembrando fibras. Quando o ponto de filagem é atingido, a massa é cortada em pequenos pedaços e levada para a filadeira com água entre 75 e 80°C, ou o suficiente para que a massa na moldagem apresente de 55 a 58°C (SILVA, 2022).

Figura 9: Equipamento de filagem (a) e canhão de modelagem (b).



Fonte: (FURTADO, 2016)

Neste processo deve-se ter atenção para trabalhar com a temperatura da água de filagem em torno de 80°C e a sua quantidade de água empregada no processo pois pode-se obter como resultado um menor tempo de fatiabilidade e de tempo de prateleira. Geralmente utiliza-se o dobro de água em relação a quantidade de massa. Deve-se atentar também para a acidez desta água, que não deve exceder os 30° Dornic. Um valor maior que este indica uma água muito ácida que pode provocar a tricas no queijo. Desta forma a água deve ser trocada antes de atingir este valor. (MACALÉ, 2022)

Nas condições normais a filagem se dará numa ampla faixa de pH, entre 4,8 e 5,5, pois depende dos teores iniciais de cálcio e de caseína no leite. Obviamente nos limites inferiores e superiores dessa faixa de pH, nem sempre a filagem ocorrerá da melhor maneira, por carência ou excesso de cálcio, respectivamente (FURTADO, 2016).

4.3.6 Modelagem

Na próxima etapa, a massa de muçarela é modelada nos tamanhos e formatos de interesse. Nesse processo de modelagem, o peso, a temperatura, o aspecto visual da massa também são parâmetro de interesse ao longo do processo.

A massa entra na parte inferior levantando um pistom no interior da forma. A forma deve ser enchida sobre pressão constante. Se o fluxo da massa e a pressão não forem constantes, a massa fica em excesso e não permite o fechamento da forma. Além de apresentar falhas e

trincas bem visíveis, observadas quando a peça de muçarela cai na hidrovia para completar a salga e formar um pouco de casca (FURTADO, 2016).

Figura 10: Muçarela filada em movimentação (a), carrossel modelador (b)



Fonte: (FURTADO, 2016)

A temperatura e o aspecto visual da muçarela no fim da modelagem são dois parâmetros de muita importância no processo de filagem pelo fato de uma temperatura muito baixa pode dar a aparência de uma muçarela enrugada. Altas temperaturas levam a desnaturação das proteínas fazendo com que se tenha uma muçarela muito mole e sem formato. O peso, juntamente com essas informações servem para calcular o rendimento e a perda de água ao longo dos processos que ainda ocorrerão.

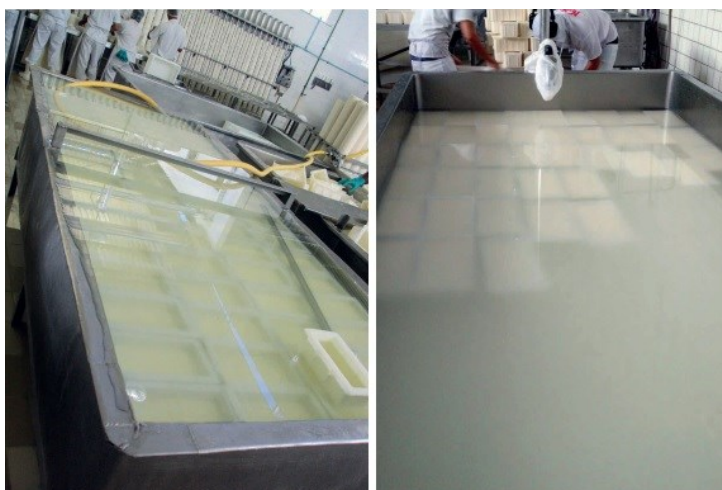
4.3.7 *Arrefecimento*

Terminada a filagem, a massa é colocada na forma e, em seguida, é submersa em um tanque com água gelada para ser resfriada. Esse banho de água fria antes da muçarela passar à salmoura é extremamente necessário para evitar que o queijo entre quente na salmoura. Quando a peça entra quente na salmoura, promove diversas consequências, como a facilidade do queijo se deformar; o aumento da absorção de sal na casca da muçarela, podendo apresentar uma mancha esbranquiçada periférica; perda de umidade (soro) e mais gordura para a salmoura;

queda acentuada do rendimento, por maior perda de umidade na salmoura e maior rapidez na deterioração da salmoura (SILVA, 2022).

O resfriamento do queijo é essencial para a redução da ação do fermento pós filagem e viragens, para isso o ideal seria imergir os queijos em água gelada. A imersão reduz a temperatura do queijo e o fermento acaba tendo sua ação reduzida. (MACALÉ, 2022)

Figura 11: Modelos de tanques de arrefecimento.



Fonte: (FURTADO, 2016)

O resfriamento deve ser o mais rápido possível, sendo o ideal utilizar água gelada circulante por cerca de 10 a 15 minutos. O processo deve ser suficiente para abaixar a temperatura da casca da Muçarela para 25 a 30°C. (SILVA, 2022)

A esteira PK[®] tem a capacidade de atender às normas da indústria de processamento de alimentos, relacionadas à remoção e reinstalação da esteira, design de equipamentos, uso de produtos químicos durante o processamento e a higienização, resultando na redução de riscos de contaminação por corpo estranho não mecânicos em sua planta. (INTRALOX, 2022)

Nas esteiras é de interesse que se tenha um sensor com contagem de peças e balança onde operador responsável realize a contagem de peças e a aferição dos parâmetros de controle do processo.

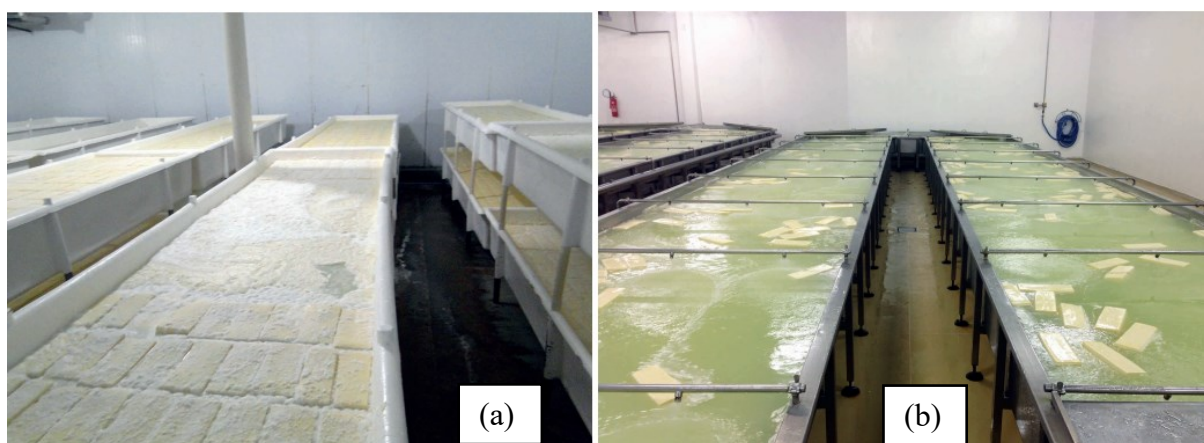
4.3.8 *Salga*

Os queijos são conduzidos à salmoura a 20% de sal em temperatura de 8°C a 10°C, onde permanecem por tempo proporcional ao seu peso e formato. No Brasil, por exemplo, grande parte da muçarela é feita em formato de um bloco retangular com cerca de 3 kg. Esta peça é salgada em salmoura a 20% de sal por cerca de 14h a 24h. Tais tempos são suficientes para conferir-lhe em torno de 1,3% a 1,6% de sal, em média.

Variável conforme o tamanho do queijo. Geralmente emprega-se 6 horas para cada 1 quilograma de muçarela. Deve-se atentar para o correto controle de salmoura:

- Teor de sal em torno de 20%;
- Acidez no máximo 25 ° Dornic e/ou pH entre 5,30 até 5,10;
- Temperatura na faixa de 10 a 12°C. (MACALÉ, 2022)

Figura 12: Tanques de salga em beliche (a) e hidrovia de salga (b).



Fonte: (FURTADO, 2016)

Aqui as peças ficam em banheiras de salmoura onde ficam em descanso por determinado tempo. Ao fim desse tempo, com a ajuda das esteiras, as peças são contadas e pesadas novamente e encaminhadas para prateleiras de secagem. As peças permanecerão em descanso por um tempo determinado.

4.3.9 Secagem

Após o tempo necessário de salga, as peças de muçarela devem ser mantidas em câmara de 10 a 12°C, por até 24 horas, se necessário, com boa ventilação, para a secagem antes da embalagem. Atualmente, muitos processos adotam túneis especiais, com forte ventilação, que secam rapidamente o queijo. Quando a muçarela está bem seca, facilita-se a formação de vácuo na embalagem e diminui-se o risco de crescimento de mofo durante a estabilização (SILVA, 2022).

Uma vez embalada, a muçarela deve ser levada às câmeras de estabilização, cuja temperatura pode variar de 5°C a 10°C. Atualmente é comum que as peças sejam colocadas em caixas apropriadas e em seguida paletizadas para melhor aproveitamento do espaço das câmeras. O período mínimo de estabilização recomendado é de duas semanas, sendo que até por volta de quatro semanas as propriedades funcionais tendem a melhorar continuamente. A partir desse período algumas das propriedades funcionais, como *oiling off* (separação de gordura) e elasticidade começam a piorar gradualmente (FURTADO, 2016).

Figura 13: Prateleira de secagem (a) e paletes com produto acabado (b).



Fonte: (FURTADO, 2016)

4.3.10 *Embalagem*

Por fim, com a ajuda de esteiras na qual realizarão a contagem e o peso das peças, encaminharão para uma mesa onde um braço de robô autônomo realiza a embalagem das peças e encaminham para seladora a vácuo.

Após a etapa de selagem as peças seguem para outro robô autônomo inteligente que realiza processo pesagem, empacotamento, paletização e impressão de selo do lote para rastreamento.

4.3.11 *Armazenagem*

Por fim, robôs de carregamento encaminham para estocagem onde operadores de processo realizam a gestão de lotes, entrada e saída de produtos. Esses robôs de depósito são desenvolvidos por meio da fabricante Amazon® e apresentam diferentes modelos e especificações capazes de atender facilmente a demanda de produção de um laticínio.

A Amazon® compartilhou detalhes de quatro novos robôs de depósito que estão sendo construídos para melhorar a segurança do trabalhador. Em maio, a Amazon® anunciou planos para reduzir os ferimentos em 50% até 2025. Neste ano, a empresa pretende investir mais de R\$ 300 milhões em projetos para garantir a segurança dos trabalhadores. (YOOPPLY, 2021)

A Amazon® diz que os robôs simplesmente permitem que os trabalhadores se concentrem nas tarefas que mais requerem sua atenção, minimizando a possibilidade de ferimentos. A empresa diz que criou mais de um milhão de empregos em todo o mundo desde que começou a usar a robótica em suas instalações em 2012. (YOOPPLY, 2021)

A Amazon® está testando atualmente quatro novos robôs de depósito. Dois deles - Ernie e Bert - podem aparecer nos centros de pedidos em breve. Ernie ajuda a limpar os itens da prateleira robótica. Segundo a Amazon®, seu uso não economiza tempo, mas torna o trabalho mais seguro para os funcionários. Bert é um dos primeiros robôs móveis autônomos da Amazon® (AMR) construído para navegar por objetos por conta própria, mesmo quando os trabalhadores estão se movendo. Ao contrário de outros robôs, Bert não é apenas capaz de trabalhar em espaços confinados, mas também pode ser usado para movimentar cargas nas instalações da empresa. A Amazon® disse que Bert será capaz de mover objetos mais pesados. (YOOPPLY, 2021)

Scooter e Kermit são dois outros em desenvolvimento para o transporte de mercadorias pela AMR. A Amazon® disse que esses robôs serão capazes de transportar paletes vazios entre locais em vez de trabalhadores, assumindo o trabalho fisicamente exigente. Kermit ainda está em desenvolvimento, mas este ano aparecerá pelo menos dez das instalações da empresa. Por sua vez, os testes de Scooter serão limitados a um objeto este ano. (YOOPPLY, 2021)

4.4. Análise das ferramentas 4.0 da fabricação de muçarela

Dentro dos processos anteriormente citados, percebe-se que se tem um grande volume de informações que podem ser coletadas ao longo do processo que podem ser utilizadas para a rastreabilidade da muçarela. Com isso, tem-se aqui a aplicabilidade das tecnologias de internet das coisas, *big data*, digitalização de processos, sistemas supervisionados e identificação por rádio frequência e *cibersegurança*.

A tecnologia de internet das coisas nesse fluxograma seria por meio da comunicação dos equipamentos que realizariam a troca de informações que são coletadas ao longo do processo fazendo ajustes dessas variáveis e realizando a previsão dos processos.

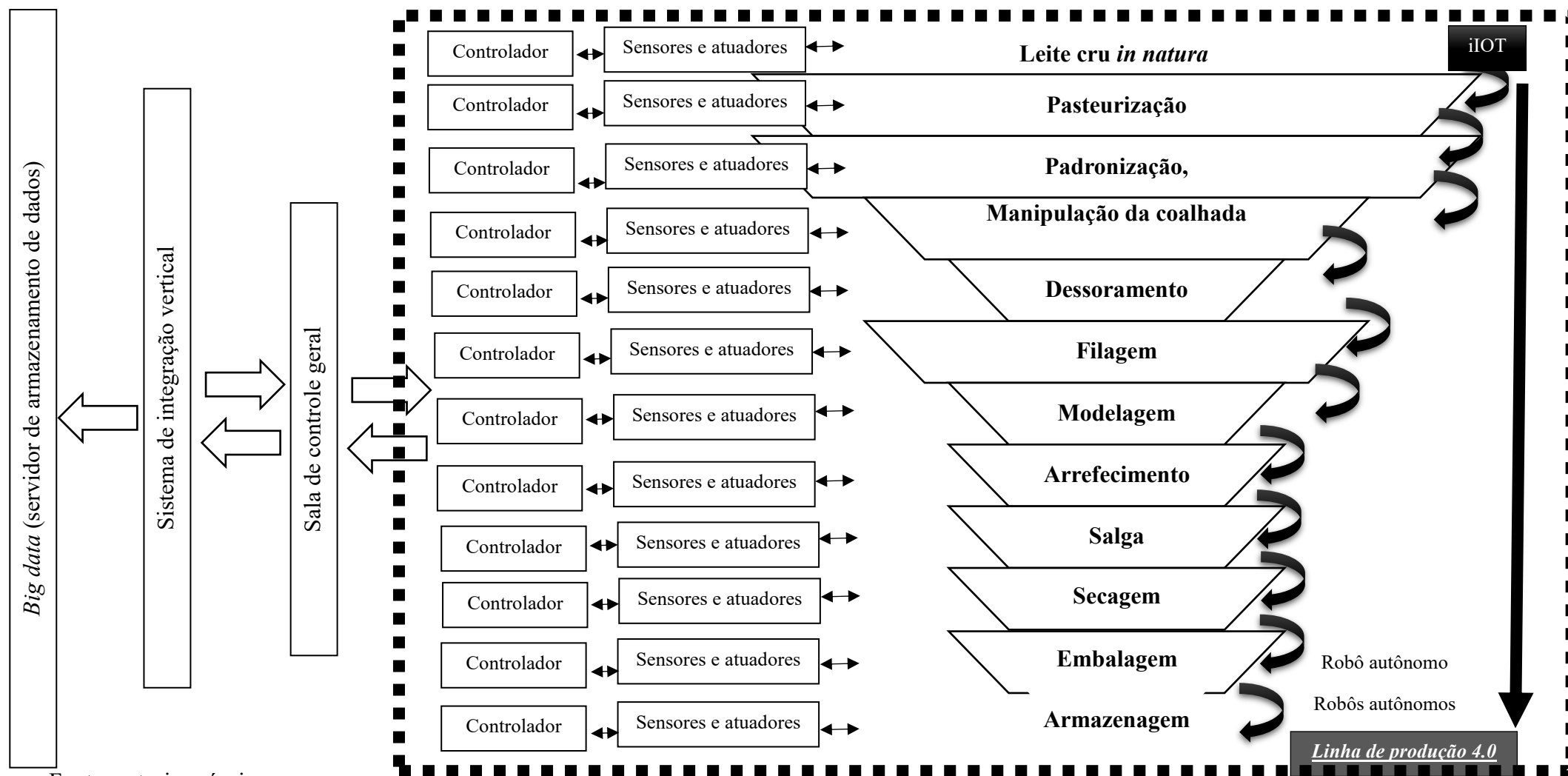
Viu-se que durante o processo são coletadas inúmeras informações e que elas fiquem gravadas ao longo das etapas de acordo com os lotes de processamento. Para que sejam armazenadas, tem-se o uso de servidores *big data*. Para cada lote produzido no dia tem-se o arquivamento das informações de todas as etapas realizadas e que estão disponíveis para utilização do controle de qualidade.

A digitalização de processos é utilizada tanto nas salas de operações quanto dentro do sistema supervisionado. Nessa digitalização, tem-se a criação da planta da fábrica com todos os equipamentos, sensores e aplicativos em tempo real e com as aferições realizadas em tempo real como demonstrado na Figura 14.

O sistema de integração vertical é um programa que recebe todas essas informações dos processos digitalizados e elabora os relatórios diários de produção planejado e executado. O planejado é uma previsão de produção do dia, semana ou mês. Já o executado é aquilo que foi realmente produzido tais como todas as informações do processo. Juntamente com os processos digitalizados e as salas de operações essas informações podem ser utilizadas pelos operadores tanto para os ajustes ao longo do processo tanto para as paradas para as manutenções dos equipamentos, correção de falhas de processo e calibragem de maquinário.

Os processos industriais necessitam cada vez mais da Indústria 4.0 para automatizar suas produções. O sistema de planejamento de recursos empresariais, do termo em inglês *Enterprise Resource Planning* (ERP) é uma solução importante para unir as bases de dados. O ERP tem um papel fundamental e essencial na Quarta Revolução Industrial. Todas as informações da operação fabril coletadas em tempo real podem ser integradas com o ERP, trazendo uma sinergia imprescindível para o sucesso da indústria, elevando o nível da gestão e exponencializando os resultados. (SANKHYA, 2021)

Figura 14 – Ferramentas da revolução 4.0 na linha de produção de muçarela.



Fonte: autoria própria

Além disso, falando do contexto atual, a pandemia trouxe uma nova realidade para as fábricas, afinal cresceu a necessidade de as informações estarem consolidadas e de fácil acesso. Nessa urgência, as empresas que já contavam com um ERP Web ou Cloud tiveram seu tempo de reação muito reduzido. (SANKHYA, 2021)

O ERP Sankhya[®] é um sistema online que contempla um dos grandes benefícios da Indústria 4.0: conectividade e integração. Todos os pontos de contato podem estar interconectados e concentrados em uma única solução, já que todas as etapas da cadeia de valor da empresa são acompanhadas na sombra digital, de maneira horizontal. Dessa forma, o ERP contribui para a agilidade, o aumento de produtividade e a redução de custos ao incorporar os conceitos da Indústria 4.0. (SANKHYA, 2021)

A supervisão dos equipamentos dentro da linha de produção deverá ser feita pelos colaboradores treinados para tal função. As autorizações devem ser concedidas conforme a função específica durante o manuseio dos equipamentos deverá ter registro de controle. A identificação por rádio frequência pode ser usada ao longo do processo de produção para que uma etapa seja rastreada de acordo com os crachás dos operadores das etapas do processo. Na armazenagem, essa identificação serve para que os robôs autônomos que realizam a gestão dos estoques respondam aos comandos do sistema de supervisão para o deslocamento e a organização dos estoques.

A *cibersegurança* é a peça-chave para que todos esses processos, equipamentos, sensores, robôs e colaboradores possam utilizar todas as ferramentas acima do sistema, sem que haja vazamento de informações e/ou alterações indesejáveis ao longo dos processos podendo até levar a parada de toda a produção. Para isto, recomenda-se a internet fechada e um sistema de criptografia que não permita o compartilhamento de dados com a internet. Como meio de saída de informações é sugerível que saiam somente impressas no papel. O acesso a essas informações tendem a ser controlado por cada usuário do sistema de acordo com as restrições a ele estabelecidas.

Com todas as ferramentas acima descritas, percebe-se que nesse modelo de fluxograma teórico de produção de muçarela 4.0 a qualidade total do processo é assegurada e todas as etapas de processamento são bem monitoradas e permitem a análise de dados. Assim, as planilhas de preenchimento dos Sistemas de Inspeção podem ser preenchidas digitalmente e o controle do processo é bem definido e estabelecido.

Destaca-se que com a automação dos processos tem-se uma prospecção da diminuição nos auxiliares de linha de produção e uma necessidade maior nos operadores e supervisores de

produção que verificam os processos. Com isso tem-se a demanda por colaboradores que tenham experiência em sistemas tecnológicos.

Sabe-se que muitas dessas tecnologias de maquinários estão disponíveis para aquisição no mercado de laticínios, em contrapartida temos algumas que necessitam de certo desenvolvimento de mercado ainda. Sabe-se que para essas tecnologias o custo é elevado, mas é totalmente justificado pela facilidade operacional, elevada eficiência e alta produtividade.

5. CONCLUSÃO

Por fim, observa-se que no Brasil ainda se tem um longo caminho a percorrer para que a revolução 4.0 seja vivida pela sociedade brasileira. Neste caminho, os desafios de difusão tecnológica para pessoas com baixo poder aquisitivo, acesso à internet de qualidade, demanda por profissionais capacitados, melhoria da infraestrutura nacionais e desenvolvimento de equipamentos modernos que façam o uso das ferramentas 4.0 são necessários.

Com isso, as ferramentas 4.0 podem ser aplicadas nas linhas de produções das indústrias de alimentos e que trazem muitos benefícios. Dentre os principais benefícios é a disponibilidade do rastreamento total de todo lote produzido juntamente com as variáveis que foram registradas e monitoradas durante os processos.

Pode-se concluir também que essa revolução inicia em regiões com alta concentração de indústrias de grande porte que possuem elevado capital para investimento em desenvolvimento e aplicação de ferramentas 4.0 que atenda a sua demanda. Com o passar do tempo, essas tecnologias se tornam acessíveis para médias e pequenas indústrias concretizando assim uma cultura 4.0 e a projeção de uma próxima revolução industrial.

Diante disso, neste trabalho verificou-se que existem perspectivas de que a quinta revolução industrial nos alimentos trará como principal foco a produção de alimentos processados dentro da casa do consumidor, com formulações específicas, elaboração caseira de alimentos, qualidade totalmente controlável e acesso a equipamentos altamente tecnológicos capazes de produzir em pequena escala.

6. REFERÊNCIAS

ABIA, **ABIA anuncia resultados do setor em 2020 em coletiva de imprensa**. Disponível em <https://abia.org.br/noticias/abia-anuncia-resultados-do-setor-em-2020-em-coletiva-de-imprensa> Acesso em 01 de março de. 2021

ABIQ,. **Associação Brasileira das Indústrias de Queijo** Disponível em: <https://www.abiq.com.br/index.asp>, Acesso em 27 de julho de 2022

ACETO, Giuseppe et al. **Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0**. 2020. Disponível em: http://wpage.unina.it/giuseppe.aceto/pub/aceto2020industry40eHealth__JII.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

ALVES, Mayk, **A muçarela foi aprimorada e caiu no gosto e paladar do povo**. 2019. Disponível em: <https://agro20.com.br/mussarela/>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

ARBEGAUS, Aloísio, **A indústria 4.0 e o setor de alimentos e bebidas**. 2018. Disponível em: <https://www.teclogica.com.br/industria-4-0-e-o-setor-de-alimentos-e-bebida/>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

BAI, Chunguang; DALLASEGA, Patrick; ORZES, Guido; SARKIS, Joseph. **Industry 4.0 technologies assessment: a sustainability perspective**. International Journal Of Production Economics, [S.L.], v. 229, p. 107776, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>.

CISNADES JR, James,. **A indústria 4.0 no setor lácteos: quais os desafios**, Disponível em: <https://portogente.com.br/noticias/opinio/109039-a-industria-4-0-no-setor-lacteo-quais-os-desafios>, Acesso em 04 de setembro de 2022

CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**, Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf, Acesso 28 de maio de 2022.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria - Portal da Indústria:** Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/estatisticas/>, Acesso em: 27 de julho de 2022

COUTO, Pedro., **Laticínios e indústria 4.0: entenda a relação,** Disponível em: <https://www.ihm.com.br/cases-articles/laticinio-e-industria-4-0-entenda-a-relacao>, Acesso em 01 de setembro de 2022.

DAXIA, **Consumo de queijos no Brasil. 2022.** Disponível em: <https://www.daxia.com.br/o-consumo-de-queijos-no-brasil/>. Acesso em: 16 de outubro de 2022.

DIVERSEY, CIPTEC: **Otimização e Análise Estatística da CIP para Laticínios. 2022.** Disponível em: <https://diversey.com/en/solutions/food-and-beverage-production/knowledge-based-services/diversey-ciptec>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

EBIT, **Webshoppers 43a Edição. 2021.** Disponível em <https://company.ebit.com.br/webshoppers/webshoppersfree> Acesso em 15 de março de. 2021.

EMIS, **Brazil Food and Beverage Sector 2021/2022.** Disponível em <https://www.emis.com> Acesso em 30 de março. 2021 (Acesso Restrito).

FGV, **O setor de laticínios no Brasil: e suas interações com o comércio internacional. 2020.** Anufood Brazil. Disponível em: https://gvagro.fgv.br/sites/gvagro.fgv.br/files/u115/laticinios_fgv_PT.pdf. Acesso em: 08 de outubro. 2022.

FoodConnnetion, **Como a indústria de laticínios está se transformando** Disponível em: <https://www.foodconnection.com.br/tecnologia/como-industria-de-laticinios-esta-se-transformando>, Acesso em 25 de agosto de 2022

FURTADO, Múcio. Mansur, **Mussarela: Fabricação & Funcionalidade.** São Paulo: Setembro, 2016.

GHOBAKHLOO, Morteza. **Industry 4.0: digitization, and opportunities for sustainability.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 252, p. 119869, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.

INTRALOX, **Esteira de material PK: aumenta a segurança dos alimentos.** 2022.

Disponível em: [https://assets-us-01.kc-usercontent.com/19eb64b5-1815-003a-d268-e7109927ccad/89b14666-8f02-4814-b3c6-](https://assets-us-01.kc-usercontent.com/19eb64b5-1815-003a-d268-e7109927ccad/89b14666-8f02-4814-b3c6-bbc9ad51c790/5011548_PK%20Product%20Highlight%20Update_FLY_PT_SO.pdf)

[bbc9ad51c790/5011548_PK%20Product%20Highlight%20Update_FLY_PT_SO.pdf](https://assets-us-01.kc-usercontent.com/19eb64b5-1815-003a-d268-e7109927ccad/89b14666-8f02-4814-b3c6-bbc9ad51c790/5011548_PK%20Product%20Highlight%20Update_FLY_PT_SO.pdf). Acesso em: 18 de outubro. 2022.

ITAL, **Indústria: Antiguidade e revoluções industriais**, Disponível em:

<https://alimentosprocessados.com.br/industria-fabricacao-antiguidade-revolucao-industrial>,

Acesso em 31 de maio de 2022

MACALÉ, **Fabricação de muçarela: passo a passo.** 2022. Disponível em:

<https://pagina.macale.com/producao-de-mussarela-passo-a-passo-e-planilha#rd-column-jsc3dpzm>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

MACHADO, Luiz Alberto, **Revoluções industriais: do vapor à internet das coisas.** 2016.

Disponível em: <http://www.cofecon.gov.br/2016/10/13/revolucoes-industriais-do-vapor-a-internet-das-coisas/>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

MAPA: Ministro do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, **Portaria do Ministério da Agricultura 364:** 04 de setembro de 1997. 1997. Arlindo Porto. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/09/1997&jornal=1&pagina=46&totalArquivos=160>. Acesso em: 14 de outubro de 2022.

MAPA: Ministro do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Portaria do Ministério da Agricultura 837:** 18 de junho de 2018. Blairo Maggi. Disponível em:

https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/26572301/do1-2018-06-20-portaria-n-837-de-18-de-junho-de-2018-26572271. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

NAYYAR, Anand; KUMAR, Akshi (ed.). A Roadmap to Industry 4.0: smart production, sharp business and sustainable development. **Advances In Science, Technology & Innovation**, Suíça, p. 1-213, 2020. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sudeep-Tanwar/publication/334836077_Additive_Manufacturing-_Concepts_and_Technologies/links/5e834ee44585150839b1334a/Additive-Manufacturing-Concepts-and-Technologies.pdf#page=166. Acesso em: 19 out. 2022.

PACE, Francesco de et al. **Augmented Reality in Industry 4.0**. **American Journal Of Computer Science And Information Technology**, [S.L.], v. 06, n. 01, p. 1-17, 2020. Scitechnol Biosoft Pvt. Ltd.. <http://dx.doi.org/10.21767/2349-3917.100017>. Disponível em: <https://asset-pdf.scinapse.io/prod/2800662539/2800662539.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

PADRONIZA, **Padroniza Direct View. 2022**. Indústria Brasileira de Pasteurizadores LTDA. Disponível em: <https://www.padroniza.com.br/directview.html>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

SANKHYA, **O que é indústria 4.0 e qual seu impacto no mundo**. 2021. Elabora por Redatora Sankhya. Disponível em: <https://www.sankhya.com.br/blog/industria-4-0/>. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

SCWAB, KLAUS. **A quarta revolução industrial**. (D. M. Miranda, Trad.) São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, Natália. **Como é feito a muçarela**, Disponível em <https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/como-e-feito-a-mucarela-225056/?acao=de1cb844-171e-4007-9463-686b8063af52>, Acesso em 6 de setembro de 2022.

SILVA, Welington Sousa. **Indústria 4.0 nas empresas de produtos lácteos**, Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/346>, Acesso em 4 de setembro 2022.

SOUZA, E. A. **Tecnologia da fabricação de queijos**. Juiz de Fora: Revista do I.L.C.T., 1960

VIANA, Fernando Luiz E.:Coordenador de Estudos e Pesquisas do ETENE/BNB. **Indústria de Alimentos.** 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/916/1/2021_CDS_176.pdf. Acesso em: 07 de outubro de. 2022.

YOOPPLY, **A Amazon mostrou quatro robôs de depósito promissores em ação.** 2021. Disponível em: <https://yoopply.com/pt/index.php/posts/amazon-ha-mostrato-quattro-promettenti-robot-di-magazzino-in-azione#:~:text=Bert%C3%A9um%20dos%20primeiros%20rob%C3%B4s%20m%C3%B3veis%20aut%C3%B4nomos,usado%20para%20movimentar%20cargas%20nas%20instala%C3%A7%C3%B5es%20da%20empresa..> Acesso em: 14 de outubro.de 2022.