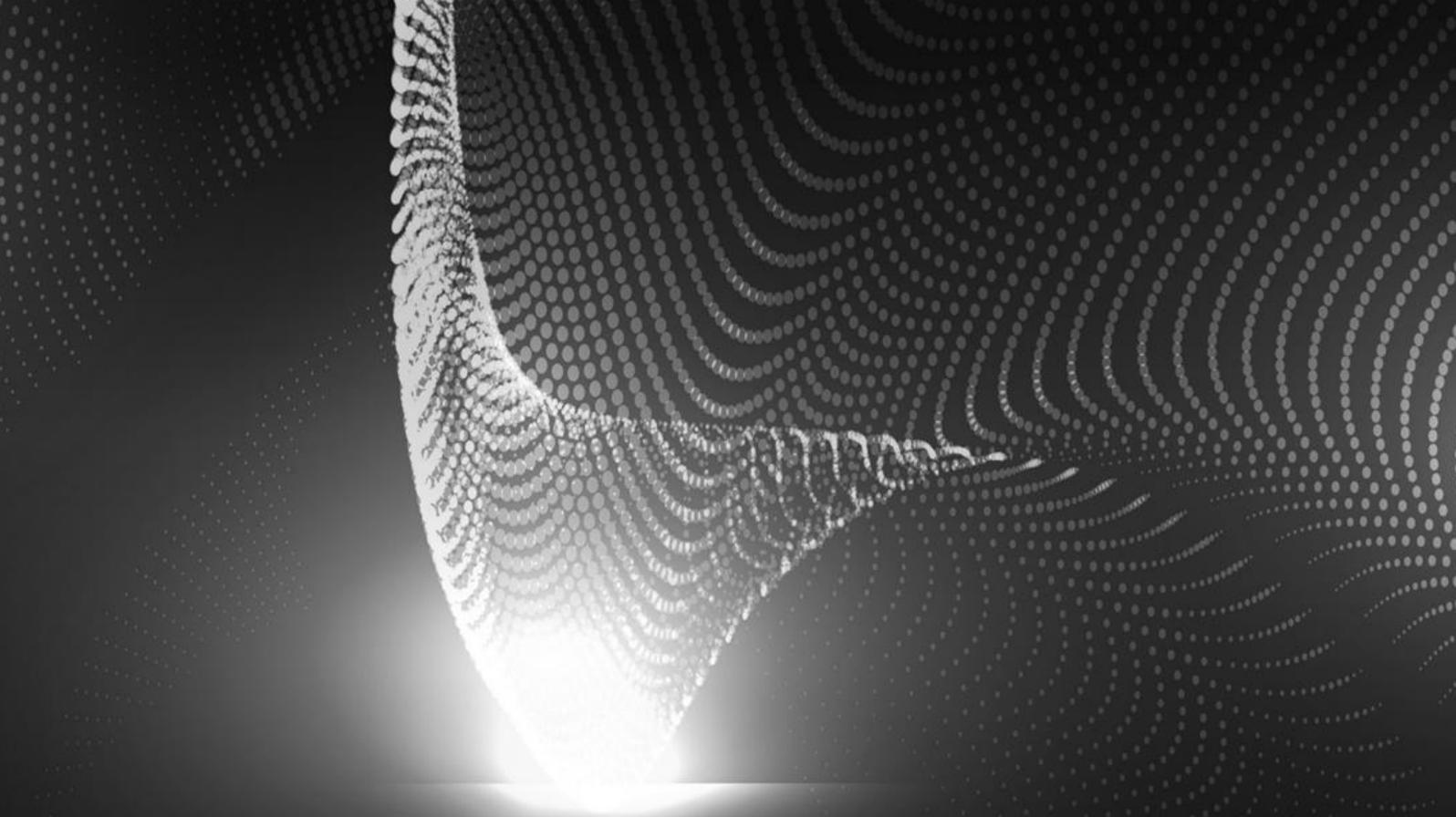


*Claudionor Nunes Cavalheiro (Org.)*

# Ciência & Inovação

---

## Tecnologias no Mundo Atual



*Claudionor Nunes Cavalheiro (Org.)*

# Ciência & Inovação

---

## Tecnologias no Mundo Atual

**2022 – Editora Uniesmero**

[www.uniesmero.com.br](http://www.uniesmero.com.br)

uniesmero@gmail.com

**Organizador**

Claudionor Nunes Cavalheiro

**Editor Chefe:** Jader Luís da Silveira

**Editoração e Arte:** Resiane Paula da Silveira

**Imagens, Arte e Capa:** Freepik/Uniesmero

**Revisão:** Respectiveos autores dos artigos

**Conselho Editorial**

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Ma. Jaciara Pinheiro de Souza, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Dra. Náyra de Oliveira Frederico Pinto, Universidade Federal do Ceará, UFC

Ma. Emile Ivana Fernandes Santos Costa, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Me. Rudvan Cicotti Alves de Jesus, Universidade Federal de Sergipe, UFS

Me. Heder Junior dos Santos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

Ma. Dayane Cristina Guarnieri, Universidade Estadual de Londrina, UEL

Me. Dirceu Manoel de Almeida Junior, Universidade de Brasília, UnB

Ma. Cinara Rejane Viana Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

Esp. Resiane Paula da Silveira, Secretaria Municipal de Educação de Formiga, SMEF

Sr. Victor Matheus Marinho Dutra, Universidade do Estado do Pará, UEPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C376c Cavalheiro, Claudionor Nunes  
Ciência e Inovação: Tecnologias no Mundo Atual - Volume 1 /  
Claudionor Nunes Cavalheiro (organizador). – Formiga (MG):  
Editora Uniesmero, 2022. 108 p. : il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-84599-87-1

DOI: 10.5281/zenodo.7418549

1. Ciência e Tecnologia. 2. Inovação Tecnológica. 3. Tecnologia e  
Comunicação. 4. Aplicação da Ciência. I. Cavalheiro, Claudionor Nunes. II.  
Título.

CDD: 607

CDU: 001

*Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam  
responsabilidade de seus autores.*

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os  
fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero  
CNPJ: 35.335.163/0001-00  
Telefone: +55 (37) 99855-6001  
[www.uniesmero.com.br](http://www.uniesmero.com.br)  
[uniesmero@gmail.com](mailto:uniesmero@gmail.com)  
Formiga - MG  
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:

<https://www.uniesmero.com.br/2022/12/ciencia-e-inovacao-tecnologias-no-mundo.html>



**AUTORES**

**ALISSAN KARINE LIMA MARTINS  
ANA KAROLINE DE ALMEIDA LIMA  
ARTHUR KRELING OZÓRIO  
BRUNA NEVES LIMA  
BRUNO GOULART SATO  
BRUNO PONTES FUENTES  
EDILMARA TAVARES GONDIM  
EDSON LUIZ VALMORBIDA  
FILIPE WILTGEN  
GIL KARLOS FERRI  
JOÃO PAULO DUTRA KRELING  
JOSÉ ANGELO FERREIRA  
JOSÉ NILTON DE MELO  
KELY VANESSA LEITE GOMES DA SILVA  
LÍVIA CLARISSE DIAS DE SOUZA  
MAISA OLIVEIRA SANTOS  
MARIA GISLEIDE PENHA DE LIMA  
MARIA SOCORRO FILGUEIRA BEM  
ROSELY LEYLIANE DOS SANTOS  
THIAGO FELIPE SCHIAVON**

## APRESENTAÇÃO

Um dos principais motores do avanço da Ciência é a curiosidade humana, descompromissada de resultados concretos e livre de qualquer tipo de tutela ou orientação. A produção científica movida simplesmente por essa curiosidade tem sido capaz de abrir novas fronteiras do conhecimento, de nos tornar mais sábios e de, no longo prazo, gerar valor e mais qualidade de vida para o ser humano.

Com o conhecimento, o universo natural se expande e ganha novos contornos. É o que anima a complexidade da cultura, da política e das artes. Mais do que técnicas, instrumentos e equipamentos, trata-se da produção e compreensão ininterrupta da existência humana. Exatamente por isso, a ciência e a tecnologia estão entre as fundações de nossa civilização. Com toda sua diversidade, são alimentadas e alimentam, a um só tempo, trajetórias não lineares, tensas e contraditórias, que marcam o tecido das sociedades contemporâneas.

Ciência e Tecnologia compõem o DNA do modo de produção da vida material, dos mecanismos econômicos que apontam para a prosperidade. São emuladores do futuro e fonte de apreensão, já que nem todos os países conseguem acessá-las do mesmo modo e nem todas as pessoas são beneficiadas por seus resultados da mesma maneira.

Por conta dessa desigualdade, muitos pesquisadores apontam para a perda de dinamismo da Ciência Moderna e da Tecnologia que estariam drenando sua capacidade de atuar como motores da prosperidade. O ponto central é que o avanço das Ciências é muito dependente de instrumentos e da evolução de tecnologias. E essa evolução provoca impactos na própria atividade científica, como os caminhos abertos pelos meios digitais de hoje sugerem fortemente.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> <b>CONTRIBUIÇÕES DAS TECNOLOGIAS EM SAÚDE PARA O CUIDADO EM SAÚDE MENTAL NA ASSISTÊNCIA DE ENFERMAGEM: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> <i>Maria Gisleide Penha de Lima; Ana Karoline de Almeida Lima; Edilmara Tavares Gondim; Lívia Clarisse Dias de Souza; Maria Socorro Filgueira Bem; Alissan Karine Lima Martins; Rosely Leyliane dos Santos; Kely Vanessa Leite Gomes da Silva</i>	<b>8</b>
<b>Capítulo 2</b> <b>MODELO DA CURVA DE APRENDIZAGEM PARA PREVISÃO DA PRODUÇÃO PARA PROCESSOS MECANIZADOS E AUTOMATIZADOS</b> <i>José Angelo Ferreira; Edson Luiz Valmorbida; Arthur Kreling Ozório; João Paulo Dutra Kreling; Thiago Felipe Schiavon</i>	<b>23</b>
<b>Capítulo 3</b> <b>FUSÃO NUCLEAR VIA MÁQUINA TOKAMAK: ENERGIA ELÉTRICA PARA O FUTURO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO</b> <i>Filipe Wiltgen</i>	<b>41</b>
<b>Capítulo 4</b> <b>ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA AGÊNCIA DE TURISMO RECEPTIVO PARA O LITORAL NORTE DE SERGIPE</b> <i>Maisa Oliveira Santos; Bruna Neves Lima; José Nilton de Melo</i>	<b>54</b>
<b>Capítulo 5</b> <b>MODELOS DE CURVA DE ESQUECIMENTO E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO</b> <i>José Angelo Ferreira; Bruno Goulart Sato; Bruno Pontes Fuentes</i>	<b>66</b>
<b>Capítulo 6</b> <b>FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO TOKAMAK: MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA</b> <i>Filipe Wiltgen</i>	<b>77</b>
<b>Capítulo 7</b> <b>VARIEDADES PIWI: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A VITIVINICULTURA CATARINENSE?</b> <i>Gil Karlos Ferri</i>	<b>97</b>
<b>AUTORES</b>	<b>103</b>

**Capítulo 1**  
**CONTRIBUIÇÕES DAS TECNOLOGIAS EM SAÚDE PARA O**  
**CUIDADO EM SAÚDE MENTAL NA ASSISTÊNCIA DE**  
**ENFERMAGEM: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**Maria Gisleide Penha de Lima**  
**Ana Karoline de Almeida Lima**  
**Edilmara Tavares Gondim**  
**Lívia Clarisse Dias de Souza**  
**Maria Socorro Filgueira Bem**  
**Alissan Karine Lima Martins**  
**Rosely Leyliane dos Santos**  
**Kely Vanessa Leite Gomes da Silva**

**CONTRIBUIÇÕES DAS TECNOLOGIAS EM SAÚDE PARA O CUIDADO EM  
SAÚDE MENTAL NA ASSISTÊNCIA DE ENFERMAGEM: REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA**

***Maria Gisleide Penha de Lima***

*Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri. E-mail:  
mariagisleidelima@gmail.com*

***Ana Karoline de Almeida Lima***

*Discente do curso de Graduação em enfermagem da Universidade Regional do  
Cariri. E-mail: karoline.lima@urca.br*

***Edilmara Tavares Gondim***

*Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri. E-mail:  
edilmara.tavares@urca.br*

***Lívia Clarisse Dias de Souza***

*Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri. E-mail:  
livia.dias@urca.br*

***Maria Socorro Filgueira Bem***

*Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri. E-mail:  
Maria.s.f.bem@urca.br*

***Alissan Karine Lima Martins***

*Enfermeira, Doutora em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará. E-mail:  
alissan.martins@urca.br*

***Rosely Leyliane dos Santos***

*Enfermeira, Doutora em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará. E-mail:  
rosely.santos@urca.br*

***Kely Vanessa Leite Gomes da Silva***

*Enfermeira, Doutora em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará. E-mail:*

*kely.silva@urca.br*

## **RESUMO**

A área da saúde mental é um dos campos de atuação do enfermeiro em que pode ser aplicado as tecnologias em saúde. Essas compreendem a implementação de saberes e intervenções, buscando a promoção da saúde, prevenção e tratamento de patologias, como também a reabilitação dos indivíduos. O presente estudo tem como objetivo descrever a importância e as contribuições das tecnologias em saúde para o cuidado em saúde mental na assistência de enfermagem. Trata-se de uma revisão bibliográfica, no qual o levantamento dos materiais ocorreu nas bases de dados MEDLINE, LILACS, BDNF, através da Biblioteca Virtual em Saúde, como também na Scielo. Os descritores utilizados foram: tecnologia, saúde mental e enfermagem. Como critérios de inclusão considerou-se artigos completos, no idioma português, publicado nos últimos 10 anos e que tratasse sobre a temática proposta, como também livros e manuais do Ministério da Saúde. Os critérios de exclusão foram: estudos repetidos, duplicados, e que não tratassem do assunto em questão. Os resultados evidenciaram que os recursos tecnológicos são vistos pelos profissionais como dispositivos importantes na prática assistencial, no qual possibilita efetividade no atendimento realizado. Destaca-se a importância de realizar combinações entre os aparatos tecnológicos como um modo de complementar o cuidado e tornar um atendimento mais completo. Assim a sua aplicação proporciona melhores resultados na assistência prestada e melhorias no serviço.

**Palavras-chave:** Tecnologia. Saúde mental. Enfermagem.

## **ABSTRACT**

The area of mental health is one of the fields of work of nurses in which health technologies can be applied. These comprise the implementation of knowledge and interventions, seeking health promotion, prevention and treatment of pathologies, as well as the rehabilitation of individuals. The present study aims to describe the importance and contributions of health technologies to mental health care in nursing care. This is a bibliographic review, in which the collection of materials took place in the MEDLINE, LILACS, BDNF databases, through the Virtual Health Library, as well as in Scielo. The descriptors used were: technology, mental health and nursing. As inclusion criteria, full articles were considered, in Portuguese, published in the last 10 years and dealing with the proposed theme, as well as books and manuals from the Ministry of Health. The exclusion criteria were: repeated, duplicated studies that did not deal with the subject in question. The results showed that technological resources are seen by professionals as important devices in care practice, which enable effectiveness in the care provided. The importance of performing combinations between technological devices is highlighted as a way of complementing care and making care more complete. Thus, its application provides better results in the assistance provided and service improvements.

**Keywords:** Technology. Mental health. Nursing.

## INTRODUÇÃO

As tecnologias em saúde se referem a implementação de conhecimentos para o desenvolvimento de intervenções, com o propósito de alcançar a promoção da saúde, prevenção e tratamento de enfermidades, assim como a reabilitação dos sujeitos (BRASIL, 2016).

A introdução de ferramentas tecnológicas nos sistemas de saúde deve passar por análise e aperfeiçoamento de forma frequente de modo a adquirir resultados satisfatórios na assistência, sendo necessário considerar as necessidades e particularidades de cada indivíduo para sua escolha (LIMA;BRITO; ANDRADE, 2019).

Nesse contexto, a área da saúde mental é uma das práticas de atuação do enfermeiro onde pode-se aplicar esses aparatos tecnológicos. Destaca-se que a partir do processo da reforma psiquiátrica houve a geração de discussões que possibilitaram a inserção de novas ferramentas de cuidado a indivíduos com transtornos mentais (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Nesse cenário da saúde mental, o profissional de enfermagem pode exercer suas funções em vários locais de trabalho, como os Centros de Atenção Psicossocial (CAPS), Unidades Básicas de Saúde (UBS), hospitais psiquiátricos e ambulatórios especializados. Consonante a isso, o enfermeiro possui papel primordial nesse campo de atuação e utiliza nos seus atendimentos os instrumentos de trabalho que são considerados aparatos tecnológicos, sendo esses o processo de enfermagem (PE) e a Sistematização da Assistência de Enfermagem (SAE), visto que com sua implementação é possível estabelecer a organização das suas práticas, proporcionando autonomia ao profissional na realização das ações e qualidade na assistência (SILVA *et al.*, 2020).

É importante salientar que a incorporação desses recursos no cotidiano dessa área é uma inovação, porém para que sejam utilizados no processo de trabalho desses profissionais é preciso um movimento transformador do modelo de atenção a saúde mental, exigindo conhecimentos e reflexão dos trabalhadores da saúde no contexto da prática assistencial nesse campo, como um modo de possibilitar a consolidação de novas práticas do cuidado (CAMPOS; BEZERRA; JORGE, 2016).

Dessa forma, a relevância desse estudo consiste no fato da importância de ampliar os conhecimentos sobre as contribuições das tecnologias em saúde na prática da saúde mental, como uma maneira de conscientizar os profissionais da enfermagem a introduzi-las em seu processo de trabalho como uma forma de buscar melhorias para a assistência

qualificada e eficiente, com intuito especialmente de atender as necessidades que o paciente apresenta.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

Trata-se de uma revisão bibliográfica, do tipo descritiva. Esse modelo de revisão objetiva analisar documentos de cunho científico, utilizando informações de fontes secundárias (CAVALCANTE; OLIVEIRA, 2020).

A busca das publicações ocorreu nas bases de dados *Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde* (LILACS), *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE) e o Banco de dados em Enfermagem (BDENF), através da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), assim como na biblioteca virtual *Scientific Electronic Library Online* (SciELO).

Para o levantamento dos materiais, utilizou-se os descritores tecnologia, saúde mental e enfermagem. Como critérios de inclusão, considerou-se artigos completos, no idioma português, publicados nos últimos 10 anos e que tratasse sobre a temática proposta, como também livros e manuais do ministério da saúde. Os critérios de exclusão foram: estudos repetidos, duplicados, e que não tratassem do assunto em questão.

## **ANÁLISE DE DADOS**

### **1.1 Tecnologias em saúde e Assistência de enfermagem**

O conceito de tecnologia é bastante amplo, sendo que seu termo é constituído pela palavra composta *techne* (arte, técnica) e *logos* (corpo de conhecimento), por esse motivo esse termo começou a ser utilizado pelos indivíduos ao dispor de conhecimentos de determinadas técnicas para a realização de algo (NIETSCHE *et al.*, 2012).

Conforme Almeida (2015), o estudo desses recursos pode ser direcionado para um contexto histórico, no qual pode-se identificar os saberes e técnicas usados em variados contextos, considerando o início da humanidade até a os dias atuais.

O recurso tecnológico engloba conhecimento técnico-científico e a implementação desse saber na construção e utilização de ferramentas, processos e instrumentos, sendo dispositivos que favorecem a execução do trabalho, assim como a realização de uma ação (SANTOS, 2016).

Após o surgimento das tecnologias, a saúde tem apresentado melhorias significativas, influenciando positivamente esse setor (PEREIRA *et al.*, 2016). Salienta-se

que o processo discursivo quanto a essas ferramentas obtém na atualidade variadas conotações, tanto a nível teórico, especialmente na perspectiva conceitual, quanto as repercussões de sua utilização na assistência das unidades de atendimento (SILVA; FERREIRA, 2014).

De acordo com Pereira *et al.* (2016), entende-se que, para ocorrer uma conexão entre uma tecnologia específica e uma área de atuação na saúde, é necessário o envolvimento de elementos diretos como as técnicas e diretrizes, bem como os indiretos que podem ser os variados conhecimentos e o uso de criatividade. Os autores ainda acrescentam que essa relação é essencial para que as proporções de uma assistência mais humanizada permeada pelas emoções do profissional que presta os cuidados e do paciente, para que sejam avaliadas.

Cada tecnologia incorporada na saúde deve ser avaliada quanto a sua eficácia, segurança, custo, sendo isso feito através da Avaliação de Tecnologias em Saúde (ATS) (NOVAES; SOÁREZ, 2020). Esse método avaliativo possibilita as melhores opções tecnológicas para os clientes. A ATS consiste em um processo multidisciplinar que sintetiza os dados relacionado aos aspectos sociais, clínicos, econômicos e organizacionais direcionados a utilização desses recursos de uma forma sistematizada, seguindo adequadamente técnicas que auxiliem na tomada de decisões (BRASIL, 2016).

Na área da enfermagem, esses dispositivos apresentam a capacidade de direcionar a assistência, possibilitando várias vantagens, como o acolhimento, elaboração de cuidados e o estabelecimento de intervenções (ROCHA *et al.*, 2021). Dessa forma, a implementação de tecnologias no cotidiano laboral é um modo de buscar melhorar o atendimento, independente do serviço que o profissional exerça sua profissão, proporcionando qualidade de vida aos usuários atendidos.

Na perspectiva dessas inovações, o enfermeiro precisa estar constantemente se capacitando tanto na teoria como na prática, se atualizando e obtendo conhecimentos sobre os novos aparatos tecnológicos, conhecendo seus conceitos e as políticas que o medeiam para que essas ferramentas possam ser utilizadas adequadamente, além de ter a capacidade de realizar a integração e aplicação desses recursos no processo de cuidar em saúde (SALVADOR *et al.*, 2012). Nesse sentido, ainda pode ser enfatizado a relevância de se discutir sobre essas tecnologias nos variados cenários de atuação do cuidado, como na formação acadêmica desses trabalhadores, abordando os limites e possibilidades para a sua implementação (CARVALHO *et al.*, 2018).

É de grande importância salientar, que esses profissionais precisam reconhecer que seu trabalho é essencial nos cuidados aos indivíduos, sendo possível a incorporação desses recursos nos atendimentos, buscando inovações e modificações da realidade cotidiana através de uma visão crítica a partir da sua aplicação (THOFEHRN *et al.*, 2014).

Percebe-se uma conexão entre o cuidado de enfermagem com a tecnologia, visto que essa profissão é fundamentada em leis, princípios e teorias, sendo assim as inovações tecnológicas são recursos fundamentais para que o ato de cuidar em enfermagem possa ser organizado e sistematizado (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

É relevante ressaltar que a tecnologia não se restringe apenas a maquinários, engloba também o desenvolvimento de materiais educativos sejam impressos ou digitais, protocolos, checklist, aplicativos móveis, além dos serviços desempenhados pelos profissionais de saúde, do qual as estratégias utilizadas possibilitam resultados eficazes a população atendida (PEREIRA *et al.*, 2016).

Concomitante a isso, não adianta desfrutar de altos instrumentos tecnológicos para realizar a assistência de enfermagem se não apresentar um atendimento humanizado, visto que deve sempre existir a relação entre a ferramenta tecnológica e a humanização, pois sem esses componentes o cuidado é transfigurado de modo fragmentado (OUCHI *et al.*, 2018).

A implementação dessas opções tecnológicas envolvidas no processo de trabalho em saúde aprimora as atividades laborais do enfermeiro, principalmente por favorecer um aumento de disponibilidade para executar as ações voltadas para o cuidado, permitindo assim a realização de ações de enfermagem uma vez que o seu tempo é otimizado (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

É importante enfatizar que o entendimento das tecnologias na prática assistencial da enfermagem é uma forma de possibilitar a compreensão no que se refere a postura desses trabalhadores frente aos indivíduos que está recebendo atendimento, sendo que a lógica do saber e fazer dos enfermeiros envolve a percepção dos distintos dispositivos tecnológicos que surgem diante desse processo (CARVALHO *et al.*, 2018).

## **1.2 Tecnologias em saúde e o cuidado em saúde mental na assistência de enfermagem**

O processo de trabalho do profissional de enfermagem no âmbito da saúde mental após a reforma psiquiátrica, apresentou modificações buscando se adaptar ao novo

modelo de assistência, que anteriormente era marcado pelo paradigma biomédico, passando a ser através dessas mudanças apoiada na reabilitação psicossocial do sujeito voltada as suas particularidades (ALMEIDA; MAZZAIA, 2018).

Destaca-se que embora tenha ocorrido mudanças de paradigma, ainda pode ser encontrado na prática clínica o modelo fragmentado, sendo que na perspectiva da saúde mental a visão biomédica é direcionada somente para o problema mental em si (NASCIMENTO *et al.*, 2017). Nessa perspectiva, os autores apontam que a visão holística se torna ausente, interferindo de forma negativa no processo de trabalho dos profissionais, visto que esses não apresentarão concepções direcionadas para a promoção da saúde mental.

Para Ribeiro *et al.* (2015), não é possível modificar a assistência em saúde mental em um cuidado que favorece o desenvolvimento de projetos terapêuticos centrados no indivíduo, que apresenta o propósito de reconstruir a cidadania por meio de práticas de reabilitação e que abranja os mais variados atores para essa finalidade, se não houver a participação dos protagonistas mais importantes, que são seus profissionais envolvidos nessa ação. Por isso, é de suma importância o comprometimento desses trabalhadores para que possa ser obtido uma transformação satisfatória.

Dessa forma, apesar do alcance das conquistas para essa reforma, ainda existe muito a ser obtido, tendo em vista que além desse campo de atuação apresentar um enorme desafio profissional, exige o comprometimento de todos os profissionais do serviço (SILVA *et al.*, 2015).

Frente a isso, segundo Braga *et al.* (2020), na prática assistencial do enfermeiro o que se discute não é o cuidado realizado, mas a forma como esse é exercido, isto é, com que recursos de trabalho. Nessa perspectiva, os autores afirmam que o profissional de enfermagem deve promover em seu atendimento a escuta qualificada e valorizar o indivíduo em sofrimento psíquico.

Tendo isso em vista, nesse contexto é muito importante a realização de capacitação dos profissionais de enfermagem para que haja um direcionamento de como lidar com essas situações dentro dessa conjuntura, de modo a estarem preparados para atender todo tipo de indivíduo independentemente do problema mental apresentado, oferecendo um atendimento holístico e humanizado (SILVA *et al.*, 2015).

Vale ressaltar que foi instituído pelo Ministério da Saúde a Rede de Atenção Psicossocial (RAPS) através da Portaria nº 3088 de 2011, buscando oferecer uma rede de

saúde mental baseada na integração e articulação nos diferentes pontos de atenção que atendam indivíduos com sofrimento mental. A RAPS é composta pelos seguintes componentes: atenção básica, atenção psicossocial estratégica, atenção de urgência e emergência, atenção residencial de caráter transitório, atenção hospitalar, estratégias de desinstitucionalização e estratégias de reabilitação psicossocial (BRASIL, 2014).

O enfermeiro efetua várias funções na área da saúde mental, dependendo do local e do tipo de serviço onde o mesmo atua. Nessa perspectiva, a partir de suas atribuições, busca-se oferecer uma assistência acolhedora ao indivíduo psíquico e a sua família, assim como um tratamento humanizado, proporcionado um atendimento baseado na SAE, assegurando um cuidado qualificado (CAFÉ *et al.*, 2020).

Enfatiza-se que na sua assistência, esse profissional deve envolver tanto o indivíduo em sofrimento mental como a sua família, visto que o cuidar de uma pessoa portadora de transtornos mentais interfere na dinâmica familiar, por isso é de grande valia um olhar atento também para as necessidades desses familiares no intuito de buscar soluções sistematizadas para auxiliar da melhor forma este público (ANDRADE *et al.*, 2021).

Os aparatos tecnológicos são percebidos pelos profissionais como uma ferramenta importante nos serviços de saúde, proporcionando efetividade na assistência prestada, podendo ser direcionada para a construção da subjetividade do sujeito e do coletivo, o manejo do sofrimento, fortalecendo assim os cuidados realizados (RIBEIRO, 2015).

Observa-se a presença de desafios para a implementação dessas tecnologias na prática assistencial em saúde mental, estando relacionados a condutas limitadas no atendimento voltado a esse contexto, como a assistência fragmentada, renovação de receitas e medicalização do indivíduo, despreparo para atender os sujeitos portadores de transtornos mentais e ausência de capacitação, se tornando necessário para a sua aplicação um movimento transformador do modelo de atenção a essa área (CAMPOS; BEZERRA; JORGE, 2018).

Segundo Barbosa e Oliveira (2018), a aplicação desses recursos tecnológicos não possibilita necessariamente modificações imediatas no modo de agir diante da mesma circunstância anterior, tornando-se indispensável que os trabalhadores da saúde se capacitem, buscando constantemente se aprimorarem acerca do seu funcionamento.

No que se refere aos sujeitos em circunstâncias de crise, que apresentam sofrimento mental grave, exigem dos serviços de saúde assim como dos profissionais, a

utilização de dispositivos tecnológicos de cuidado que possibilite assistência resolutiva e corresponsabilização aos pacientes (DINIZ, 2017).

Entre os tipos de tecnologias, pode-se citar os recursos tecnológicos leves que são considerados essenciais no cuidado em saúde mental, visto que abrange o âmbito das relações, que constroem saúde e produzem autonomia com os indivíduos envolvidos (PINHEIRO; KARTORSKI, 2021). Assim, de acordo com Vieira e Freire (2021) o cuidado em saúde mental é obtido por meio da utilização de recursos tecnológicos leves que fundamentam e proporcionam esse cuidado, como o projeto terapêutico singular e a clínica ampliada.

Já Nascimento *et al.* (2020) apontaram a escuta terapêutica como um instrumento tecnológico que pode ser aplicado no cenário da saúde mental, como uma maneira de buscar superar as dificuldades por meio de uma comunicação efetiva, baseada no entendimento das necessidades do indivíduo. Além disso, um estudo evidenciou as ferramentas tecnológicas utilizadas pelo enfermeiro no contexto da Atenção Primária a Saúde durante a assistência aos indivíduos em sofrimento psíquico, onde foi relatado que o acolhimento é a ferramenta mais utilizada na sua prática assistencial (CAMPOS; BEZERRA; JORGE, 2018).

Quanto as tecnologias leve-duras, uma pesquisa evidenciou a construção de um protocolo assistencial em saúde mental denominado PPEsma1- checkilists, direcionado a indivíduos em utilização abusiva de psicoativos em um Centro de Atenção Psicossocial Álcool e outras drogas tipo III, que apresenta checklists compostos pelas etapas do processo de enfermagem para que o enfermeiro possa operacionaliza-lo na sua assistência (GUEDES; FEITOSA; CAMPOS, 2019). Acrescentam ainda que essa tecnologia pode ser um meio capaz de possibilitar a incorporação de ações de reabilitação psicossocial e o direcionamento de projetos terapêuticos singulares em saúde mental, facilitando o trabalho do profissional de enfermagem.

Além do mais, ainda sobre esses recursos tecnológicos disponíveis, pode ser supracitado a construção de aplicativos móveis (APP) como tecnologias duras, que são alternativas inovadoras que estão bastante evidentes no campo da saúde, assim como demonstra o estudo de Silva *et al.* (2021), que revelou a produção de um protótipo designado MentalPro, sendo esse voltado para auxiliar os profissionais frente aos casos suspeitos de transtornos mentais comuns na atenção básica em saúde, direcionando a adoção de condutas mais adequadas.

Salienta-se que embora haja a coexistência dos elementos tecnológicos no ato do cuidar no processo de produção da saúde, a variação ocorre por meio da possibilidade de combiná-los, com isso, esses elementos e seus variantes mostram-se como uma nova forma de abordar as necessidades de cada pessoa, possibilitando um atendimento humanizado (BOTTEGA; MERLO, 2016).

De acordo com Silva *et al.* (2018), uma prática de enfermagem humanizada é obtida através de diferentes métodos e novos recursos tecnológicos do cuidado desenvolvidos em associação com as políticas públicas na área da saúde mental, em que pode ser destacado que a implementação dessas políticas no Brasil proporcionou uma acentuada modificação no sistema nacional de saúde mental e consideráveis melhorias tanto na acessibilidade como nos cuidados direcionados a esse campo (ALMEIDA, 2019).

Assim, os princípios da humanização se fortalecem com base em uma relação terapêutica, a escuta ativa, possibilitando o bem estar do indivíduo, o processo de acolhimento e a construção de vínculo entre o usuário e o profissional de saúde (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Portanto, apesar dos desafios para sua aplicação, foi evidenciado que as tecnologias em saúde contribuem de modo significativo para a prática assistencial dos profissionais de enfermagem no âmbito da saúde mental, proporcionando melhorias no serviço, sendo indispensável os saberes científicos para a sua construção e desenvolvimento.

Para realização da assistência na saúde mental não deve ser levado em consideração somente os equipamentos, mas também os outros tipos de tecnologias como as relacionais, que são muito importantes para o estabelecimento do cuidado, ofertando assim um atendimento qualificado.

Também foi evidenciado a importância da capacitação dos profissionais de enfermagem para utilizar esses recursos, tendo em vista que para a sua utilização adequada é necessário compreender o seu funcionamento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. A.; MAZZAIA, M. C. Consulta de Enfermagem em Saúde Mental: vivência de enfermeiros da rede. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 71 (suppl 5), p. 2282-2289, 2018.

ALMEIDA, H. R. F. M. Das tecnologias às tecnologias digitais e seu uso na educação matemática. **Nuances: estudos sobre Educação**, Presidente Prudente-SP, v. 26, n. 2, p. 224-240, maio/ago. 2015.

ALMEIDA, J. M. C. Política de saúde mental no Brasil: o que está em jogo nas mudanças em curso. **Caderno de Saúde Pública**, v. 35, n. 11, p. 01-06, 2019.

ANDRADE, J. J. C.; SILVA, A. C. O.; FRAZÃO, I. S.; PERRELLI, J. G. A ; SILVA, T. T. M.; CAVALCANTI, A. M. T. S. Funcionalidade familiar e sobrecarga de familiares cuidadores de usuários com transtornos mentais. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 74, n. 5, p. 01-10, 2021.

BARBOSA, E. C.; OLIVEIRA, F. M. Inovação tecnológica em saúde: o CAPS transformando o modelo assistencial. **Argumentum**, Vitória, v. 10, n. 1, p. 180-197, jan./abr. 2018.

BOTTEGA, C. G.; MERLO, A. C. Linha de cuidado em saúde mental do trabalhador: discussão para o SUS. **Revista Polis e Psique**, v. 6, n. 3, p. 77-102, 2016.

BRAGA, F. S.; OLSCHOWSKY, A.; WETZEL, C.; SILVA, A. B.; NUNES, C. K.; BOTTEGA, M. S. X. Meios de trabalho do enfermeiro na articulação da rede de atenção psicossocial. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 41, p. 01-08, 2020.

BRASIL, Ministério da Saúde. Entendendo a Incorporação de Tecnologias em Saúde no SUS : como se envolver – Brasília : Ministério da Saúde, 2016. Disponível em:< [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/entendendo\\_incorporacao\\_tecnologias\\_sus\\_envolver.pdf&ved=2ahUK Ewiuro3ZoNfyAhVTrZUCHcHkCiwQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw2Of79pD1W7Vx\\_eY6khyr2M&cshid=1630275608561](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/entendendo_incorporacao_tecnologias_sus_envolver.pdf&ved=2ahUK Ewiuro3ZoNfyAhVTrZUCHcHkCiwQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw2Of79pD1W7Vx_eY6khyr2M&cshid=1630275608561)>. Acesso em: 27.ago.2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Atenção psicossocial a crianças e adolescentes no SUS : Tecendo redes para garantir direito – Brasília : Ministério da Saúde, 2014, p.01-61. Disponível em:<[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/atencao\\_psicossocial\\_crianças\\_adolescentes\\_sus.pdf&ved=2ahUK EwjDi-n3vKXzAhVhKfKfHa3sBHQQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3cNYM4YWFJBpzqJJGHZf34](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/atencao_psicossocial_crianças_adolescentes_sus.pdf&ved=2ahUK EwjDi-n3vKXzAhVhKfKfHa3sBHQQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3cNYM4YWFJBpzqJJGHZf34)>. Acesso em: 29.set.2021.

CAFÉ, L. A.; SILVA, E. C.; SILVA, N. C. D. L.; SOUZA, L. N.; SILVA, A. D. A atuação do enfermeiro na saúde mental. **Revista Artigos.com**, v. 21, p. 01-09, 2020.

CAMPOS, D. B.; BEZERRA, I. C.; JORGE, M S. B. Tecnologias do cuidado em saúde mental: práticas e processos da Atenção Primária. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 71, n. 5, p. 2228- 2236, 2018.

CARVALHO, L. A.; THOFEHRN, M.; AMESTOY, S. C.; NUNES, N. J. S.; FERNANDES, H. N. O uso de tecnologias no trabalho em enfermagem: revisão integrativa. **Journal of Nursing and Health**, v. 8, n 1, p. 01- 20, 2018.

CAVALCANTE, L. T. C.; OLIVEIRA, A. A. N. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. **Psicologia em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 83-102, abr. 2020.

DINIZ, A.M. Projeto terapêutico singular na atenção à saúde metal: tecnologias para o sujeito em crise. **SANARE**, Sobral - v.16 n.01,p. 07-14, jan./jun., 2017.

GUEDES, D.; FEITOSA, F. B.; CAMPOS, F. A. A. C. A construção do protocolo de enfermagem para operacionalizar o processo de enfermagem em saúde mental para Caps AD III. **Revista Saúde em Redes**, v. 5, n. 1, p. 163-179, 2019.

LIMA, S. G. G.; BRITO, C.; ANDEADE, C. J. C. O processo de incorporação de tecnologias em saúde no Brasil em uma perspectiva internacional. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 5, p.1709-1722, 2019.

NASCIMENTO, J. M. F.; NETO, F. J. C.; JÚNIOR, D. N. V.; BRAZ, Z. R.; JÚNIOR, I. G. C.; FERREIRA, A. C. C.; SANTOS, L. E. S.; OLIVEIRA, A. K. S. Escuta terapêutica: uma tecnologia do cuidado em saúde mental. **Revista enfermagem UFPE on line**, v. 14, 2020.

NASCIMENTO, M. G. G. NADALETI, N. P.; VILELA, S. C.; TERRA, F. S.; NADALETI, N. P.; VIELA, S. C.; TERRA, F. S.; SILVA, S. A.; RESCK, Z. M. R. O processo de trabalho do enfermeiro na promoção da saúde mental: análise reflexiva. **Revista de Enfermagem do Centro-Oeste Mineiro**, v. 7, p. 1-7, 2017.

NIETSCHE, E. A.; LIMA, M. G. R.; RODRIGUES, M. G. S.; TEIXEIRA, J. A.; OLIVEIRA, B. N. B.; MOTTA, C. A.; GRIBLER, G. S.; GRIBLER, V. M.; LUCAS, D. D. ; FARIAS, M. K. F. Tecnologias inovadoras do cuidado em enfermagem. **Revista de Enfermagem UFSM**, v. 2, n. 1, p. 182-189, jan/abr, 2012.

NOVAES, H. N. D.; SOÁREZ, P. C. A Avaliação das Tecnologias em Saúde: origem, desenvolvimento e desafios atuais. *Panorama internacional e Brasil*. **Caderno de Saúde Pública**, v. 36, n. 9, p. 01-10, 2020.

OLIVEIRA, M. C P.; MOURA, A. K.; LIMA, K. M. O.; MENDEIROS, M. C.W. C.; LIRA, M. N.; LIMA, J. R. Construção de um protótipo de aplicativo móvel para processo de enfermagem do paciente renal. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 01-17, 2021.

OLIVEIRA, M. J. S.; SOUZA, A.; CALVETTI, P. U.; FILIPPIN, L. S. A escuta ativa como estratégia de humanização da assistência em saúde. **Revista Saúde e Desenvolvimento Humano, Canoas**, v. 6, n. 2, p. 33-38, 2018.

OUCHI, J. D.; LUPO, A. P. R.; ALVES, B. O.; ANDRADE, R. V.; FOGAÇA, M. B. O papel do enfermeiro na unidade de terapia intensiva diante de novas tecnologias em saúde. **Revista Saúde em Foco**, n. 10, p. 412-428, 2018.

PEREIRA, D. S.; SOUZA, R.; SANTOS, A. C.; BEZERRA, A. M. S.; GOMES, F. L. C.; SANTOS, Z. M. S. A. A tecnologia como ferramenta promotora da saúde. In: SANTOS, Z.M.S.A.; FROTA, M.A.; MARTINS, A.B.T. **Tecnologias em saúde: da abordagem teórica a construção e aplicação no cenário do cuidado**. Fortaleza: EdUECE, 2016.

\_\_\_\_\_. Portaria 3088, de 23 de dezembro de 2011. Institui a Rede de atenção Psicossocial para pessoas com sofrimento ou transtorno mental e com necessidade decorrentes do uso de Álcool, crack e outras drogas, no âmbito do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2011. Disponível em: <://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt3088\_23\_12\_2011\_rep.html>. Acesso em: 29.set.2021.

PINHEIRO, G. E. W.; KANTORSKI, L. P. Contribuições do enfermeiro para o apoio matricial em saúde mental em saúde mental na atenção básica. **Revista de Enfermagem UFSM**, Santa Maria, v11, p. 1-22, 2021.

RIBEIRO, M. C. Trabalhadores dos Centros de Atenção Psicossocial de Alagoas, Brasil: interstícios de uma nova prática. **Interface- comunicação, saúde, educação**, v. 19, n. 52, p. 95- 107, 2015.

ROCHA, D M.; CAVALCANTE, A. K. C. B.; OLIVEIRA, A. C.; BENÍCIO, A. C. D. A. V.; SANTOS, A. R. M.; NOGUEIRA, L. T. Contribuições das tecnologias em saúde na avaliação de risco para comportamento suicida: revisão integrativa. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 74, n. 3, p. 01-10, 2021.

SALVADOR, P. T. C. O.; OLIVEIRA, R. K. M.; COSTA, T. D.; SANTOS, V. E. P.; TOURINHO, F. S. V. Tecnologia e inovação para o cuidado em enfermagem. **Revista de Enfermagem UERJ**, Rio de Janeiro, v. 20, n.1, p. 111-117, jan/mar, 2012.

SANTOS, Z. S. A. Tecnologia em Saúde – Aspectos teórico-conceituais. In: SANTOS, Z M. S A.; FROTA, M. A.; MARTINS, A. B. T. **Tecnologias em saúde: da abordagem teórica a construção e aplicação no cenário do cuidado**. Fortaleza: EdUECE, 2016.

SILVA, A. O. M.; COELHO, B. O.; SOUZA, L. P. S.; SILVA, Q. M. A.; SILVA, E. P.; PINTO, I. S.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, C. S. O. Saúde mental no trabalho do Enfermeiro da Atenção Básica de um município do Brasil. **Revista Cubana de Enfermería**, v. 31, n. 1, 2015.

SILVA, J. L. L.; MEIRELLES, I. B.; RAMOS, G. F. S.; ABREU, K. M.; MARTINS, A. R. R. Aplicativo mentalpro para auxílio na suspeição de transtornos mentais na Atenção Básica em Saúde. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, p. 01-10, 2021.

SILVA, O. P.; SILVA, D. V. A.; RODRIGUES, C. A. O.; SANTOS, N. H. F.; BARBOSA, S. F. A.; SOUTO, V. D.; GUSMÃO, R. O. M. Cuidado clínico de enfermagem em saúde mental. **Revista enfermagem UFPE on line.**, Recife, v. 12, n. 1, p.3133-46, nov., 2018.

SILVA, R. C.; FERREIRA, M. A. Tecnologia no cuidado de enfermagem: uma análise a partir do marco conceitual da Enfermagem Fundamental. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 67, n. 1, p. 111-118, jan/fev, 2014.

SILVA, T. G.; SANTANA, R. F.; DUTRA, V. F. D.; SOUZA, P. A. Implantação do processo de enfermagem na saúde, mental: pesquisa convergente-assistencial. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 73 (Suppl 1), p. 01-09, 2020.

THOFEHRN, M. B.; MONTESINOS, M. L. P.; ARRIEIRA, I. C.; ÁVILA, V. C.; VASQUES, T. C. S.; FARIAS, I. D. Processo de trabalho dos enfermeiros de um hospital da Espanha: ênfase nas tecnologias de cuidado. **Cogitare Enfermagem**, v. 19, n. 19, p. 141-146, jan/mar, 2014.

VIERA, S. M.; FREIRE, F. F. A. Tecnologias leves no cuidado na atenção psicossocial: entendimento e uso por profissionais na rede de saúde do município de Corumbá- MS. **Cadernos Brasileiros de Saúde Mental**, Florianópolis, v. 13, n. 34, p. 01-14, 2021.

**Capítulo 2**  
**MODELO DA CURVA DE APRENDIZAGEM PARA**  
**PREVISÃO DA PRODUÇÃO PARA PROCESSOS**  
**MECANIZADOS E AUTOMATIZADOS**

**José Angelo Ferreira**  
**Edson Luiz Valmorbida**  
**Arthur Kreling Ozório**  
**João Paulo Dutra Kreling**  
**Thiago Felipe Schiavon**



## **MODELO DA CURVA DE APRENDIZAGEM PARA PREVISÃO DA PRODUÇÃO PARA PROCESSOS MECANIZADOS E AUTOMATIZADOS**

### ***José Angelo Ferreira***

*Pós Doutor em Engenharia Industrial pela Ryerson University de Toronto-Canada (2018). Doutor em Educação pela Universidade Nove de Julho - SP (2012); Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) Graduado em Administração pelo Middlesex County College – New Jersey-EUA (1992). Graduado em Pedagogia pela Faculdade Pitágoras - Campus Londrina (2012). Professor titular da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenador da Pesquisa sobre Aplicação da Learning and Forgetting Curve no Planejamento de Produção e Monitoramento de Custos Industrial. Avaliador Institucional Externo do SINAES. Membro do Conselho de Graduação e Educação da UTFPR; Membro da Câmara Técnica de Mecânica da UTFPR; Membro do Colegiado de Curso de Engenharia de Produção da UTFPR - Campus Londrina. Membro do Programa de Iniciação. E.mail: joseaferreira@utfpr.edu.br*

### ***Edson Luiz Valmorbida***

*Doutor em Matemática (matemática aplicada) pela Universidade Federal de Santa Catarina (2018). É professor Adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina. Pesquisa na área de Análise Numérica, com ênfase em Métodos de Galerkin descontínuo, e Curvas de Aprendizado e Esquecimento para programação de produção. E-mail: edsonvalmorbida@utfpr.edu.br*

### ***Arthur Kreling Ozório***

*Graduando de Engenharia de Produção pela UTFPR- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Membro do projeto de pesquisa sobre aplicação da Learning e Forgetting Curve no planejamento de produção e monitoramento de custos industriais. Foi aprendiz da qualidade na Atlas Schindler e estagiário de planejamento na Vzan. Apresentou artigos em diversos congressos, como o Enenpro, Enegep e South Florida Congress. Fluente em inglês e espanhol intermediário. E-mail: arthurozorio@alunos.utfpr.edu.br*

***João Paulo Dutra Kreling***

*Graduado em Engenharia de Produção na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Participante do Projeto de Pesquisa com o tema: Aplicação da Curva de Aprendizagem e Esquecimento (Learning and Forgetting Curve) no Planejamento da Produção e no Gerenciamento dos Custos Industriais. Foi monitor da disciplina de Gestão de Custos. Atuou como consultor no setor comercial e responsável na área de Inteligência de Negócios na Aprimora - Empresa Júnior de Engenharia de Produção. Atualmente é Analista de Processos Industriais e também atuou como Analista de Qualificação no departamento de Engenharia da Sandoz Indústria Farmacêutica.*

***Thiago Felipe Schiavon***

*Graduando em Engenharia de Produção na UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) em Londrina. Iniciação científica inicialmente com ênfase em Gestão de Custos, atualmente voltada a Curva de Aprendizagem. Monitor voluntário em Gestão de Custos (2020). Cargo atual: Analista de PCP e Processos, voltado a Custos. E-mail: thiagoschiavon@alunos.utfpr.edu.br*

**Resumo:** Pesquisas demonstraram que vários fatores impactam no desempenho “normal” de um operador, mesmo tendo experiência prévia, porém poucos estudos tratam da influência do índice de automação do equipamento no tempo total de fabricação de um item, para a determinação da Curva de Aprendizagem e conseqüente projeção de tempo e volumes de produção. Com a mecanização, a automação e a robótica, cada vez mais substituindo o toque humano nos processos industriais, identificou-se a necessidade de definir um Modelo de Curva de Aprendizagem, contemplando o ciclo da máquina e o fenômeno de plateau, para predição de volumes e tempos necessários para produzir um lote. Este estudo apresenta um modelo matemático, que contempla o ciclo da máquina e o plateau do operador (momento em que ele cessa de aprender e o tempo unitário de fabricação permanece constante), permitindo assim, predizer o tempo necessário para que este operador finalize um lote de produção.

**Palavras-chave:** Curva de Aprendizagem. Modelo Matemático. Programação da Produção.

**Abstract:** Research has shown that several factors impact the "normal" performance of an operator, even with previous experience, but few studies address the influence of the equipment automation index on the total time of manufacturing an item, for the determination of the Learning Curve and consequent time projection and production volumes. With mechanization, automation and robotics, increasingly replacing the human touch in industrial processes, it was identified the need to define a Learning Curve Model, contemplating the machine cycle and the plateau phenomenon, for volume prediction.

and times required to produce a batch. This study presents a mathematical model, which includes the machine cycle and the operator's plateau (the moment when he ceases to learn and the unit manufacturing time remains constant), thus allowing the prediction of the time required for this operator to complete a batch. of production.

**Keywords:** Learning Curve. Mathematical Model. Planning Curve

## INTRODUÇÃO

Muito se tem escrito sobre a importância dos efeitos da aprendizagem na performance de um trabalhador sujeito a tarefas repetitivas. A literatura sobre o tema, traz resultados laboratoriais e empíricos, que demonstram e comprovam a influência da relação entre tempo necessário e familiaridade do operador para realização de uma tarefa, porém consta muito pouco sobre este tema nos livros didáticos que tratam de estudo de tempos e movimentos e técnicas de programação da produção, que se fixam em considerar para determinação para um tempo padrão para fabricação de um processo, um trabalhador caracterizado por um desempenho “normal”.

Pesquisas demonstraram que vários fatores impactam no desempenho “normal” de um operador, mesmo tendo experiência prévia, tais como, alterações no produto, mudança nos padrões de matéria-prima, interrupções da linha de produção, prêmios produtividade, porém poucos estudos tratam da influência do índice de automação do equipamento no tempo total de fabricação de um item, para a determinação da Curva de Aprendizagem do trabalhador e conseqüente projeção de tempo e volumes de produção.

DeJong (1957), foi o pioneiro nos estudos da relação homem/máquina ao introduzir em sua fórmula de aprendizagem, o fator de incompressibilidade  $M$  (uma constante entre 0 e 1) que incorpora parâmetros para a proporção de atividade manual/maquinário em uma tarefa (BADIRU et al., 2013). O modelo desenvolvido explica o impacto do grau de automação/mecanização na definição da Curva de Aprendizagem de um operador, permitindo mais acuracidade na programação da produção.

Com o crescente grau de mecanização e automação das indústrias, e a premente necessidade de uma maior compreensão da relação homem/máquina, que possibilite uma eficiente programação da produção no atingimento das metas de produção e produtividade, motivou o estudo e análise do Modelo de DeJong, avaliando sua aplicabilidade.

Este estudo identificou, ao analisar processos produtivos de uma indústria metalúrgica, que o Modelo de DeJong responde de forma positiva na compreensão do

efeito da automação/mecanização na Curva de Aprendizagem de um operador, contudo, observou-se, que a variação entre 0 e 1 como fator de incompressibilidade  $M$ , encontrado por DeJong em sua pesquisa para o processo de uma operação em um torno mecânico, não necessariamente representa um expoente que possa genericamente ser aplicado para todos os equipamentos.

Outro relevante aspecto observado neste estudo, foi que o Modelo de DeJong, não contempla o ponto em que o aprendizado do operador cessa, conhecido como fenômeno de *plateau*, estágio onde a mão de obra direta permanece constante à medida que a produção cumulativa aumenta, fazendo com que a curva de aprendizagem entre em estado estacionário, observado pela primeira vez por Conway e Schutz em seus estudos sobre a função de progresso de fabricação em 1959.

Na medida que a mecanização, a automação e a robótica, cada vez mais substituem o toque humano nos processos industriais, identificou-se a necessidade de definição de um Modelo de Curva de Aprendizagem, que contemple o fator de incompressibilidade e o fenômeno de plateau, possibilitando assim, predizer com mais acuracidade, a quantidade de um item a ser produzido em um determinado tempo por um operador, podendo ser utilizado como ferramenta de apoio para a Programação da Produção. O desenvolvimento deste Modelo, é o objeto deste estudo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

No final da década de 30, profissionais das indústrias manufatureiras começaram a aplicar a curva de aprendizagem na análise e programação dos processos industriais e de custos. O Engenheiro americano T. P. Wright (1936) foi o primeiro a documentar o fenômeno da aprendizagem no processo produtivo, observando, que o tempo unitário da fabricação de um avião diminuía a uma taxa constante, cada vez que a produção dobrava, afetando diretamente o custo do produto, formulando uma regra denominada curva de 80%, segundo a qual, o custo de montagem das aeronaves sofria uma redução de 20% a cada duplicação da quantidade produzida. O Modelo de Aprendizado de Wright (1936), também conhecido como modelo clássico, é representado pela equação:

$$Tx = T1x^b \quad (1)$$

Onde:

$Tx$  = o tempo médio acumulado (ou custo relacionado) após a produção de  $x$  unidades

$T1$  = tempo necessário para produzir a primeira unidade

$x$  = número da unidade cumulativa

$b = (\ln Lc / \ln 2)$  = inclinação constante da curva

Este modelo, ao longo dos anos, foi alterado e modificado, se adequando a diversas aplicações, sendo ainda, contudo, um padrão utilizado, em muitas indústrias manufatureiras.

Pesquisadores vem desenvolvendo modelos matemáticos da aplicação da curva de aprendizagem para avaliação do desempenho, possibilitando sua compreensão nos mais diferentes segmentos. Dos modelos mais difundidos destacam-se os modelos univariados (potenciais, exponenciais e hiperbólicos) e os modelos multivariados que modificam as tradicionais curvas de aprendizagem, quando o objetivo é o de analisar as influências causadas por fatores quantitativos e qualitativos. A aderência ao modelo, é ponderada através do coeficiente de determinação  $R^2$  (Anzanello & Fogliatto, 2007). Os modelos de maior destaque sobre Learning Curve são (BADIRU,1992):

- Modelo log-linear, também conhecido como modelo convencional ou Modelo de Wright. Este modelo representa a relação entre o custo médio acumulado por unidade e produção acumulada, indicando que o custo cumulativo por unidade diminui a uma porcentagem constante, à medida que o volume de produção dobrar. O modelo é expresso na equação (1). Este modelo pode ser manipulado para permitir o cálculo do tempo total para fabricação de  $x$  unidades (Eq. 2) e do tempo necessário para fabricação de uma unidade (Eq.3) (ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007);
- Modelo de Glover, neste modelo, Glover (1966) introduziu um fator de início de trabalho. O Modelo de Glover utiliza resultados de aprendizado individual do trabalhador como base para os padrões da curva de aprendizado para toda a fábrica (BADIRU, 1992);
- Modelo de Stanford, que acrescenta ao Modelo de Wright, uma unidade constante de experiência  $B$  variando entre 0 e 10. Esta constante representa o número de unidades anteriormente produzidas (experiência) de um item similar. Se mais de 10 unidades foram produzidas anteriormente deste item, a constante permanece 10 (MOORE et al, 2015);
- Modelo de Knecht (1974), que apresenta uma modificação da curva de aprendizado, quando as unidades produzidas ultrapassam 200, para expressar a divergência entre os custos reais daqueles previstos pela teoria da curva de

aprendizado. Knecht propõe a utilização de funções exponenciais e potenciais combinadas;

- Modelo Hiperbólico de Mazur e Hastie, neste modelo é proposta uma formulação que contempla a razão das unidades conformes sobre o total de unidades produzidas, combinando com o efeito da experiência prévia do trabalhador (MAZUR E HASTIE,1978; ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007);
- Modelo Curva S proposto por Carr [1946], parte da suposição de uma curva de aprendizado em forma de S, onde uma função de distribuição normal para a curva de partida e a forma de uma função de características operacionais para a curva de aprendizado. Este modelo contempla operações que necessitam da máquina (constante M) e a experiência prévia do trabalhador como proposto no Modelo Stanford-B (constante B).

Neste estudo foram analisados o Modelo de Plateau e o Modelo de DeJong, que serviram como parâmetros para o desenvolvimento do Modelo a ser apresentado.

## 2.1 Modelo de Plateau

Nas curvas de aprendizagem, o Plateau, indica um período de pouco ou nenhum progresso. Para demonstrar este estágio, foi introduzida ao modelo de Wright uma constante C que força a curva a atingir um plateau em vez de continuar a diminuir. Isto ocorre quando o processo de aprendizagem do trabalhador está próximo a sua conclusão ((YELLE, 1979; BADIRU, 1992; ANZANELLO E FOGLIATO, 2007).

$$Tx = C + T_1x^b \quad (2)$$

Onde:

*Tx = o tempo médio acumulado (ou custo relacionado) após a produção de x unidades*

*C= desempenho do trabalhador ao atingir o estágio estacionário*

*T1 = tempo necessário para produzir a primeira unidade*

*x = número da unidade cumulativa*

*b = (ln Lc / ln 2) = inclinação constante da curva*

## 2.2 Modelo de DeJong

DeJong (1957) apresentou um modelo incorporando os parâmetros para a proporção de uma atividade manual. Este modelo explora a participação da máquina no processo de aprendizagem e conclui que quando operações são controlados por tarefas manuais, o tempo será compressível, contudo, se os tempos de ciclo de uma máquina é que controlam as operações o tempo será cada vez menos compressível a medida que aumentam o número de unidades produzidas.

Para representar esta incompressibilidade em seu estudo sobre os “Efeitos do Aumento da Habilidade no Tempo do Ciclo e suas Consequências para os Padrões de Tempo de 1957, DeJong introduz um fator M que ele denomina de fator de incompressibilidade. Este fator busca explicar o fator homem-máquina, significado o tempo total de uma operação constituída por processos automatizados. O Modelo de DeJong é representado pela equação (DEJONG, 1957):

$$y = T_1[M + (1 - M)x^b] \quad (3)$$

Onde:

*y = o tempo médio acumulado (ou custo relacionado) após a produção de x unidades*

*T1 = tempo necessário para produzir a primeira unidade*

*x = número da unidade cumulativa*

*b = (ln Lc / ln 2) = inclinação constante da curva*

*M = constante 0 < M < 1 fator de incompressibilidade*

Quando M = 0, o modelo se reduz ao modelo de Wright, o que implica uma operação totalmente manual, já em operações totalmente dominadas por máquina, M = 1. Nesse caso, o tempo unitário se reduz a uma constante igual a C1, o que sugere que nenhuma melhoria de tempo é possível em operações controladas por máquina, representando uma operação de alta incompressibilidade (BADIRU, 1992).

## 2.3. ESTADO DA ARTE

### 2.3.1 Modelo de DeJong

Mesmo diante do ritmo de automação industrial, verificou-se na literatura, poucos estudos sobre a aplicação do Modelo de DeJong. A maior parte dos trabalhos sobre a Curva de Aprendizagem e suas aplicações, expõe este modelo com o intuito de citá-lo como um

dos modelos desenvolvidos nas últimas décadas ou compará-lo a outros modelos, porém, poucos discutem seu desenvolvimento e aplicabilidade.

Sob esta perspectiva, tratam do Modelo de DeJong entre outros: Yelle (1979) em *"The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey"*; Badiru (1992) em *"Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models"*; Nembhard & Uzumeri (2000) em *"An Individual-Based Description of Learning Within An Organization"*; Jaber (2005) em *"Learning and Forgetting Models and Their Applications"*; Anzanello & Fogliatto (2007) em *"Learning Curve Modelling of Work Assignment In Mass Customized Assembly Lines"*; Ferreira; Kreling & Ozório (2020) em *"Learning And Forgetting Curve Theories, Applied to Production Planning and Programming"*.

Em um estudo mais relevante sobre o modelo, Johnson (2015) e Moore (2015), comparam a aplicação dos Modelo de Wright, Modelo de DeJong e o Modelo da Curva S para estimativas de custos de produção de aeronaves e compras para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos.

Moore (2015), aponta que ao testar os modelos, identificou que os Modelos de DeJong e Modelo da Curva S são mais acurados que o Modelo de Wright para a predição de horas necessárias para manufatura de um item, o que foi confirmado por Johnson (2015), por incorporarem em seu cálculo o fator de incompressibilidade M.

Moore (2015) testou os modelos, assumindo incrementos de 0,05 a 0,20 para M e descobriu que quando o fator de incompressibilidade era de zero a 0,05, os modelos DeJong e S-Curve eram estatisticamente diferentes e, em última análise, mais precisos do que o modelo de Wright, ao comparar os valores reais com os valores previstos. Contudo, Johnson (2015), relata que os fatores de incompressibilidade testados por Moore (2015) foram definidos de maneira subjetiva e que utilizou estes mesmos fatores subjetivos nos seus estudos.

Verificou-se, porém, em um estudo prévio, que muito pouco se tem discutido sobre o Modelo de DeJong. Badiru (1992) em seu trabalho *"Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models"*, já constatava a necessidade de estudos sobre este modelo: *"Lamentavelmente, nenhum dado publicado significativo está disponível sobre se o modelo de DeJong foi ou não usado com sucesso para explicar o grau de automação em qualquer operação. Com o crescente movimento em direção à automação na indústria, este certamente é um tópico de pesquisa urgente"* (BADIRU, 1992, p.176, tradução nossa).

### 2.3.2 Modelo de Plateau

Também como no Modelo de DeJong, grande parte dos estudos sobre o Modelo de Plateau são para citá-lo como um dos modelos desenvolvidos nas últimas décadas. Destacam-se, porém, dois relevantes trabalhos que se aprofundaram no estudo do fenômeno de Plateau: “The Manufacturing Progress Function” de Conway & Schultz (1959) e “Extensions of the Learning Curve: Some Empirical Results” de Baloff (1971).

Conway e Schultz (1959), foram os primeiros a observarem o fenômeno de plateau. Utilizando dados de várias empresas, observaram que alguns pontos de aprendizado pareciam parar ou desacelerar consideravelmente, representando um estado estacionário da curva de aprendizagem, que para os autores, apresentava o ponto em que a aprendizagem cessa.

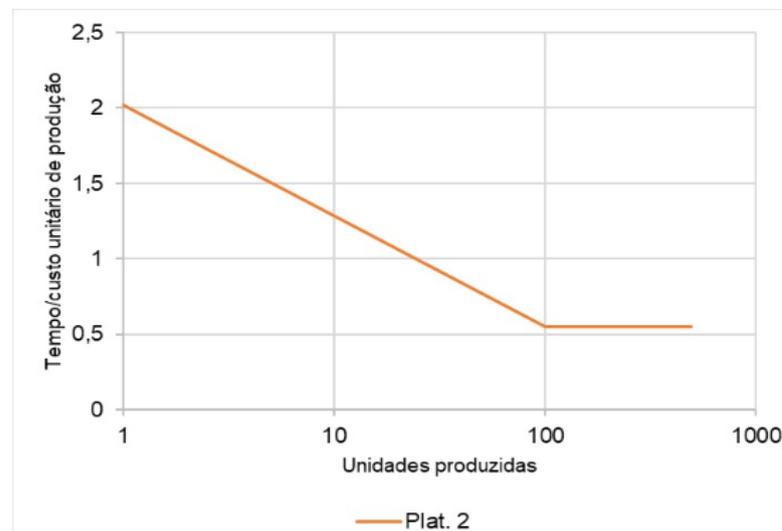


Figura 2 – Fenômeno de plateau (1971)

Baloff (1971), identificou em seus estudos, que a curva de aprendizagem clássica descreve apenas o aprendizado ou fase inicial do processo, porém, não contempla a fase do estado estacionário, onde o tempo do processo permanece constante. Em seu trabalho, constatou que o estágio estacionário ocorreu em todas os produtos estudado por ele na indústria de máquinas, aeroespaciais e confecções e que a “previsão de parâmetros e as descobertas de estado estacionário podem ser úteis para os usuários em potencial da curva de aprendizado” (BALOFF, p. 340, 1971, tradução nossa).

Para contornar a subjetividade na definição do fator de incompressibilidade  $M$  do Modelo de DeJong e a constante  $P$  do Modelo de Plateau, foi desenvolvido um Modelo que permite projetar o tempo necessário para produzir uma determinada quantidade de um

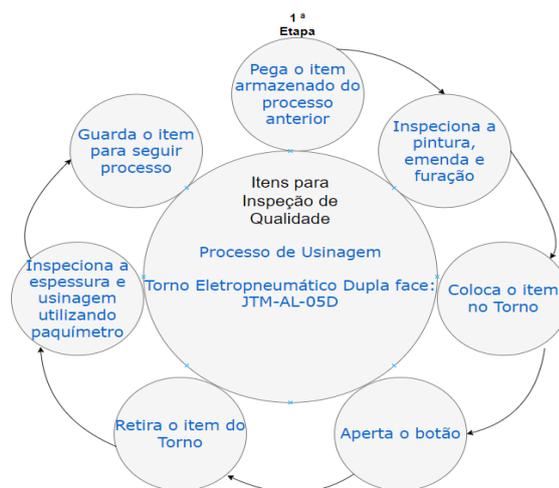
item, considerando o tempo de ciclo da máquina (M do Modelo de DeJong) e a estimativa do estado estacionário do operador (P do Modelo de Plateau). O desenvolvimento do Modelo e um exemplo numérico de sua aplicação será apresentado nos tópicos a seguir.

### 3. METODOLOGIA

Este experimento foi conduzido em 3 fases: Primeiro foram levantados os dados pelo método de cronoanálise, de produção e tempos de processo de usinagem em um torno Eletropneumático Dupla Face, em uma indústria metal mecânica, localizada no estado do Paraná. Os dados obtidos foram registrados e serviram como base para análise e desenvolvimento do modelo. A fase seguinte foi o desenvolvimento do modelo para definir o fator de incompressibilidade M, do Modelo de DeJong que melhor representasse a Curva de Aprendizagem. Na terceira fase, foi testado o modelo e realizadas as comparações entre os resultados reais e o obtido para ratificar o modelo desenvolvido.

O processo de desenvolvimento do produto nesta etapa se resume a dois fluxos: um contínuo, onde os itens não são analisados detalhadamente, e outro mais criterioso, onde a inspeção analisa algumas características dos itens, demandando um tempo maior. Os fluxogramas abaixo representam as duas formas de produção dos itens no setor de usinagem:

Figura 2 – Fluxo do Processo de Itens que recebem Inspeção criteriosa



Fonte: Autores (2022)

Figura 3 – Fluxo Contínuo do Processo dos Itens



Fonte: Autores (2022)

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Como o problema envolve interação humano-máquina, o tempo médio acumulado  $y$  para produzir  $x$  unidades é dado pela soma do tempo médio do operador  $T_{op}$  com o tempo do ciclo da máquina  $T_m$ :

$$y = T_m + T_{op} \quad (4)$$

Seguindo o modelo de Plateau, o tempo médio do operador será descrito pelo modelo:

$$T_{op} = T_1 x^b + P_{op} \quad (5)$$

No modelo acima,  $b = \ln(R)/\ln(2)$  é o índice de aprendizado ( $R$  é o índice de aprendizado do operador) é obtido de forma usual como no modelo de Wright. O termo  $P_{op}$  é uma constante que será obtida e é chamada de Plateau do operador.

De fato, substituindo a segunda equação na primeira (Eq.4) e (Eq. 5) temos a expressão:

$$\begin{aligned} y &= T_m + T_1 x^b + P_{op} \\ \Rightarrow P_{op} &= y - T_m - T_1 x^b \end{aligned} \quad (6)$$

Com isso, tendo  $T_m$  e  $b$  para uma máquina e um operador e tendo  $y$  para diferentes quantidades de itens produzidos  $x$ , o coeficiente  $P_{op}$  é obtido por média aritmética dos dados disponíveis.

Algebricamente, o cálculo da estimativa para o plateau do operador  $P_{op}$  é feita pela expressão:

$$P_{op} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n = P_{op,i}, \quad (7)$$

em que  $n$  é o número de amostras disponíveis sobre o operador e  $P_{op,i}$  é dado por:

$$P_{op,i} = y_i - T_m - T_1 x_i^b, \quad (8)$$

sendo  $x_i$  o número da  $i$ -ésima amostra e  $y_i$  o tempo observado para a  $i$ -ésima amostra.

#### 4.1 Exemplos numéricos

Para exemplificar o cálculo da estimativa para o plateau, considere um operador com os seguintes tempos:

Tabela 1 - Tempo de fabricação por unidade do Operador

X	Y (s)
1	31,5
2	28,5
3	28,5
4	25,0

Fonte: Autores (2022)

Além disso, suponha que o ciclo da máquina seja  $T_m = 12,5$  s. Primeiramente, note que  $T_1$  na equação 5 é tomado apenas do tempo do operador já descontando o ciclo da máquina. Assim, usamos a tabela a seguir:

Tabela 2 - Tempo de fabricação Total e tempo de Ciclo da Máquina

X	$Y - T_m$ (s)
1	19
2	16
3	16
4	12,5

Fonte: Autores (2022)

Calculando a curva para os dados na tabela temos uma curva de 81,2% e  $b = -0,3$ . Com isso,

$$P_{op,1} = 19 - 19 \cdot 1^{(-0,3)} = 0$$

$$P_{op,2} = 16 - 19 \cdot 2^{(-0,3)} = 0,567$$

$$P_{op,3} = 16 - 19 \cdot 3^{(-0,3)} = 2,335$$

$$P_{op,4} = 12,5 - 19 \cdot 4^{(-0,3)} = -0,035$$

Tendo estes dados, aplicamos a fórmula 7 para obter a estimativa para  $P_{op}$ :

$$P_{op} = \frac{P_{op,1} + P_{op,2} + P_{op,3} + P_{op,4}}{4} = 0,96$$

É importante notar que a precisão dos resultados obtidos, assim como em qualquer processo do tipo, depende da qualidade e da quantidade dos dados disponíveis.

Tendo em mãos o valor estimado de  $P_{op}$ , é possível estimar os tempos do operador aplicando a fórmula inicial 6:

$$y = T_m + T_1 x^b + P_{op} = 12,5 + 19x^{(-0,3)} + 0,96$$

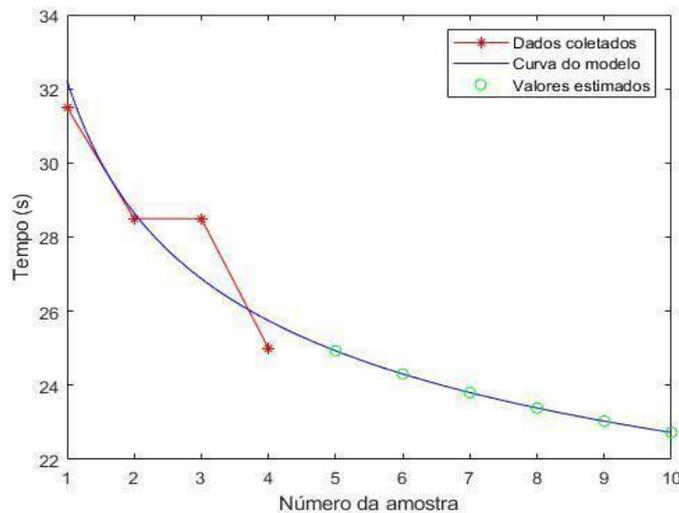
Calculando a expressão acima para  $x = 5, 6, \dots$  temos a tabela abaixo. O gráfico 2 exibe a estimativa.

Tabela 3 - Tempo Estimado

X	Y (s)
5	25,18
6	24,56
7	24,06
8	23,64
9	23,29
10	22,98

Fonte: Autores (2022)

Figura 4 - Comparativo entre Tempos de Operador e o tempo Previsto pelo Modelo desenvolvido



Fonte: Autores (2022)

Aplicando o modelo nos dados obtidos nas 27 primeiras amostras de uma operadora do setor de usinagem estudado, cujo torno Eletropneumático Dupla Face tem um ciclo  $T_m = 12,63s$  e a curva de aprendizagem da operadora é de 86,31%, encontrou-se um plateau da operadora de  $P_{op}$  de 1,26 s.

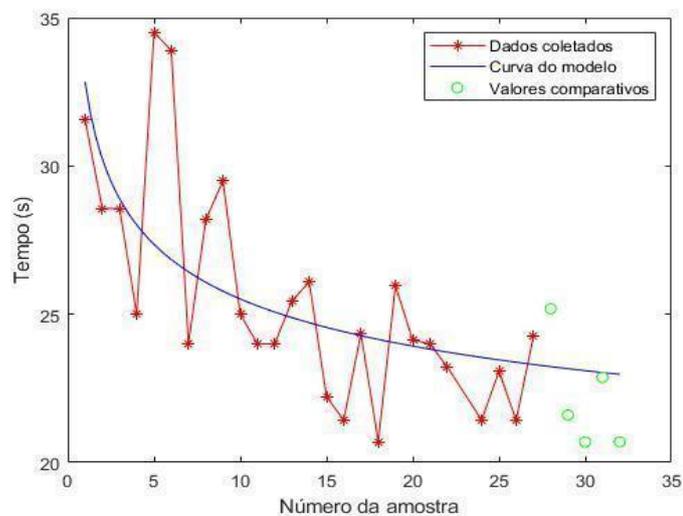
Para atestar o modelo, projetou-se o tempo que a operadora iria dispendir para produzir as 5 unidades subsequentes e comparou-se aos dados observados apresentados na Tabela 1, encontrando um erro médio de 7,67% entre o previsto pelo Modelo e o observado:

Tabela 4 - Comparativo entre tempo Estimado pelo Modelo e Tempo Observado

X	$Y_{estimado}$ (s)	$Y_{observado}$ (s)	Erro (%)
28	23,23	25,18	7,74
29	23,16	21,60	7,24
30	23,10	20,69	11,63
31	23,03	22,87	0,71
32	22,97	20,69	11,03

Fonte: Autores (2022)

Figura 5 - Comparativo entre Tempos de Operador e o tempo Previsto pelo Modelo desenvolvido



Fonte: Autores (2022)

Apesar de o tempo do ciclo da máquina somado com o plateau estimado nos dados levantados somado ao tempo de ciclo ( $T_m + P_{op} = 13,89$  s.) não ser atingido em um volume pequeno de produção, a inclusão do plateau no modelo, reduz conceitualmente, o erro nas estimativas de tempo e produção.

## CONCLUSÃO

Neste artigo foi desenvolvido um Modelo matemático, que contempla o ciclo da máquina e o plateau do operador (momento em que ele cessa de aprender e o tempo unitário de fabricação permanece constante), permitindo predizer o tempo necessário

para que este operador finalize um lote de produção, resolvendo assim, a subjetividade do fator de incompressibilidade  $M$  do Modelo de DeJong (DeJong, 1957) e da constante  $C$  do Modelo de Plateau (CONWAY E SCHULTZ,1959).

Os resultados projetados pelo Modelo matemático desenvolvido, se aproximaram dos resultados obtidos no levantamento de dados de produção do setor de usinagem da empresa estudada, confirmando a aplicabilidade deste modelo para este setor.

Com base nesses resultados, pesquisas futuras podem coletar dados empíricos e aplicar o Modelo desenvolvido, que potencialmente poderão esclarecer a aplicabilidade do modelo para previsão da produção para outros tipos de equipamentos, setores e seguimentos com diferentes graus de mecanização e automação industrial.

## REFERÊNCIAS

ALEIXO, R.; VIEIRA, F. **Métodos Iterativos para Problemas de Quadrados Mínimos Lineares**. 1. ed. São Carlos: Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2022. 200p

ANZANELLO, M. J. ; FOGLIATTO, F. S. **Learning Curve Modelling of Work Assignment in Mass Customized Assembly Lines**. International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 13, 1 July 2007, 2919–2938.

BADIRU, A., ELSHAW, J., & EVERLY, M. (2013). **Half-life Learning Curve Computations for Airframe Life-cycle Costing of Composite Manufacturing**. Journal of Aviation and Aerospace Perspectives, 3(2), 6–37.

BADIRU; Adedeji B. **Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models**. EEE Transactions On Engineering Management, Vol. 39, No.2, May 1992.

BAILEY, Charles D.; MCINTYRE, Edward V. **Using Parameter Prediction Models to Forecast Post-interruption Learning**. IIE Transactions (2003) 35, 1077–1090.

BALOFF, Nicholas. **"Extensions of the Learning Curve: Some Empirical Results."** Operational Research Quarterly. Vol. 22: Dec. 1971; pp. 329-340.

BRISCOE, Nat R., ROARK, Stephen. **The Learning Curve and Productions Standards: Learning Implications**. Review of Business; Spring 1991; 12, 4; ABI/INFORM Collection.

CONWAY, R. W., & SCHULTZ, A., Jr. (1959). **The Manufacturing Progress Function**. Journal of Industrial Engineering, 10(1), 39–53.

FERREIRA, J.A., KRELING, J.P.D., & OZÓRIO, A.K. (2020). **Learning and Forgetting Curve Theories, Applied to Production Planning and Programming**. Brazilian. Journal of Development, 6, 94914-94928.

KNECHT, G.R. "**Costing, Technological Growth and Generalized Learning Curves,**" Oper. Res. Quart., vol. 25, no. 3, pp. 487-491, Sept. 1974.

CARR, G.W. "**Peacetime Cost Estimating Requires New Learning Curves,**" Aviation, vol. 45, April 1946.

GLOVER, J. H. "**Manufacturing Progress Functions: An Alternative Model and Its Comparison with Existing Functions,**" Int. J. Production Research, vol. 4, no. 4, pp. 279-300, 1966.

DEJONG, J.R. "**The Effect of Increased Skills on Cycle Time and Its Consequences for Time Standards,**" Ergonomics, vol. 1, pp. 51-60, 1957.

JABER, Mohamad Y. "**Learning and Forgetting Models and Their Applications**". Handbook of Industrial and Systems Engineering. Edited By Adedeji B. Badiru (2005).

JOHNSON, Brandon J. "**A Comparative Study of Learning Curve Models and Factors in Defense Cost Estimating Based on Program Integration, Assembly, and Checkout**" (2016). Theses and Dissertations. 400.

MAZUR, J. E.; HASTIE, R. **Learning as Accumulation: a Reexamination of the Learning Curve.** Psychological Bulletin, Washington DC, v. 85, n. 6, p. 1256-1274, 1978.

MOORE, J.R., ELSHAW, J.J., BADIRU, A.B., & RITSCHER, J. (2015). **Acquisition Challenge: The Importance of Incompressibility in Comparing Learning Curve Models.**

MOORE, Justin R., "**A Comparative Study of Learning Curve Models in Defense Airframe Cost Estimating**" (2015). Theses and Dissertations. 156.

NEMBARD, D. A.; UZUMERI, M. V. **An Individual-Based Description of Learning within an Organization.** IEEE Transactions on Engineering Management, New Jersey, v. 47, n. 3, p. 370-378, 2000a.

WRIGHT, Theodore P. "**Factors Affecting the Cost of Airplanes,**" Journal of Aeronautical Sciences, vol. 3, no. 4, pp. 122-128, 1936.

YELLE, L. E. **The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey.** Decision Science, London, v. 10, n. 2, p. 302-328, 1979.

Capítulo 3  
FUSÃO NUCLEAR VIA MÁQUINA TOKAMAK  
ENERGIA ELÉTRICA PARA O FUTURO DO  
DESENVOLVIMENTO HUMANO  
Filipe Wiltgen



# FUSÃO NUCLEAR VIA MÁQUINA TOKAMAK

## ENERGIA ELÉTRICA PARA O FUTURO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO

**Prof. Dr. Filipe Wiltgen**

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

*Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA – São José dos Campos). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté, e também, Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (IFSP – Campinas) desde 2022 nos cursos de Eletrônica e Eletricidade, além de Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC – Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. Currículo Lattes CNPq ([buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4](http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4)). Base de Documentos ResearchGate ([www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen](http://www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen)). Google Acadêmico ([scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao](http://scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao)). Currículo FAPESP ([bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa](http://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa)). [ProfWiltgen@gmail.com](mailto:ProfWiltgen@gmail.com)*

### **Resumo**

A energia elétrica é um fator importante e fundamental para o desenvolvimento humano. Sua aplicação na vida moderna é sem dúvida a cada novo dia uma descoberta, permitindo aos humanos inclusive realizarem grande parte de suas tarefas na atualidade de forma remota evitando proliferação de doenças e economizando recursos financeiros e de tempo em deslocamentos. As pesquisas em energia via fusão nuclear datam de antes mesmo de 1930. Desde esse tempo, os experimentos vêm evoluindo conforme ocorrem novos desenvolvimentos em engenharia. Devido à enorme quantidade de calor necessário para obter a fusão nuclear na Terra, as máquinas destinadas a esses experimentos necessitam utilizar fortes campos magnéticos para conter os elementos combustíveis no estado físico de plasma por um determinado tempo para que ocorram as reações de fusão nuclear. Não existe material na Terra que possa suportar a temperatura de milhões de graus Célsius, por isso utiliza-se campos magnéticos nessas máquinas. O experimento de

fusão nuclear mais próximo de se tornar um futuro reator a fusão termonuclear controlada é a máquina chamada de *Tokamak*, de origem russa. Dentre essas máquinas do tipo *Tokamak*, o *ITER* (*International Thermonuclear Experimental Reactor* - [www.iter.org](http://www.iter.org)), um dispositivo que vem sendo construído na França é o melhor candidato a um reator a fusão nuclear. Esse é o momento em que um experimento de fusão nuclear passa a ser um reator de fusão nuclear, no qual passa a produzir mais energia do que consome para obter as reações de fusão nucleares. O calor produzido pela reação nuclear dentro de um *Tokamak* é extraído por sofisticados trocadores de calor, que além de transportarem de forma muito eficiente o calor produzido, também permitem obter parte do combustível necessário para as reações nucleares. Esse calor é transportado para turbinas a vapor que de forma tradicional geram eletricidade que é disponibilizada na rede elétrica. Após a construção e testes do *Tokamak ITER*, serão construídos reatores a fusão nuclear chamados de DEMO (Dispositivos Demonstrativos de Fusão Nuclear) os quais vão permitir o desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos materiais e da engenharia de fusão nuclear para finalmente serem comercializados na forma de reatores. Os reatores a fusão nucleares que serão comercializados são chamados de Planta ou Usina de Fusão (*FPP - Fusion Power Plant*), estima-se que o primeiro reator comercial possa estar em funcionamento ainda neste século e que isso seja uma oportunidade ímpar para o futuro do desenvolvimento humano.

**Palavras-chave:** Energia Nuclear, Fusão Nuclear, Fusão Termonuclear Controlada, Tokamak, Energia Elétrica.

#### ABSTRACT

Electric energy is an important and fundamental factor for human development. Its application in modern life is undoubtedly a discovery with each new day, allowing humans to even perform most of their tasks remotely, avoiding proliferation of diseases and saving financial resources and time in displacements. Research in energy via nuclear fusion dates back to even before 1930. Since then, experiments have evolved as new developments in engineering occur. Due to enormous amount of heat required to obtain nuclear fusion on Earth, machines intended for these experiments need to use strong magnetic fields to contain fuel elements in the physical state of plasma for a certain time for nuclear fusion reactions to occur. There is no material on Earth that can withstand temperature of millions of degrees Celsius, so magnetic fields are used in these machines. The closest nuclear fusion experiment to becoming a future controlled thermonuclear fusion reactor is the machine called the Tokamak, of Russian origin. Among these type Tokamak machines, the ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor* - [www.iter.org](http://www.iter.org)), a device being built in France, is best candidate for a nuclear fusion reactor. This is moment when a nuclear fusion experiment becomes a nuclear fusion reactor, in which it starts to produce more energy than it consumes to obtain nuclear fusion reactions. The heat produced by the nuclear reaction inside a Tokamak is extracted by sophisticated heat exchangers, which, in addition to transporting heat produced very efficiently, also make it possible to obtain part of fuel needed for nuclear reactions. This heat is transported to steam turbines that traditionally generate electricity that is made available on electrical grid. After the construction and testing of the Tokamak ITER, nuclear fusion reactors called DEMO (*Demonstration Nuclear Fusion Devices*) will be built, which will allow development and improvement of nuclear fusion materials and engineering to finally be commercialized in form of reactors. The nuclear fusion reactors that will be commercialized are called Fusion Power Plant (FPP), it is estimated that the first commercial reactor could be in operation in this century and that this will be a unique opportunity for the future of human development.

**Keywords:** Nuclear Energy, Nuclear Fusion, Controlled Thermonuclear Fusion, Tokamak, Electric Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

Qual será o futuro da humanidade? Essa talvez seja uma pergunta difícil de ser respondida, visto as características autodestrutivas dos seres humanos. Entretanto, mesmo a espécie sendo capaz de realizar os pesadelos mais assombrosos e inimagináveis ao longo de todo este tempo de existência, os humanos também são capazes de sonhar e construir coisas absolutamente incríveis. Desta forma, sem nenhuma dúvida faz parte da tarefa de um cientista pesquisador olhar sempre para o horizonte, e vislumbrar a luz do futuro.

Pensando desta forma, diversos pesquisadores no mundo todo dedicaram suas preciosas vidas na tentativa de entender o íntimo do universo e descobrir como a natureza criou a forma mais eficiente de gerar energia. Segundo a termodinâmica, pensando em um grande sistema fechado, o Cosmos, a energia transita de uma forma em outra sempre se transformando desde o início da criação do Cosmos no *Big Bang*. Foi a partir desse exato momento que a natureza possibilitou o surgimento das estrelas.

A sabedoria implícita do Cosmos, aqui cabe lembra a origem desta palavra grega, *Kósmos* cujo significado pode ser beleza, ordem, organização ou harmonia, o que deixa explícita sua sabedoria. Desta forma, a construção do Cosmos conta com diversos reatores a fusão nucleares naturais, as estrelas, e estes estão espalhados aos milhares dentro de uma galáxia, e em milhares de diversas galáxias espalhadas pelo universo todo.

Um fato que sempre chamou muito a atenção de todo e qualquer cientista pesquisador é a curiosidade sobre os mecanismos da natureza, nesse caso particular uma intrincada forma de produzir energia muito eficiente e em quantidade extraordinária chamada de fusão nuclear. Diferentemente das outras formas de transformar energia, a energia nuclear faz uso da energia dos átomos para transformar parte de sua massa em energia de forma muito eficiente. A natureza dotou as estrelas do universo com este mecanismo para produzir uma enorme quantidade de energia em todo o Cosmos (McCRACKEN and STOTT, 2012; EL-GUEBALY, 2009; CHEN, 1974).

Se este foi o processo escolhido pela natureza, deve existir um motivo muito óbvio para isso. É óbvio também, que as condições físicas de uma estrela, naturalmente permitem que as reações de fusão nuclear ocorram mais facilmente do que em um planeta

como a Terra. A força gravitacional presente em uma estrela permite que ocorram reações de fusão nucleares espontâneas, algo muito diferente da luta dos pesquisadores em aparatos científicos das mais diversas formas construtivas e conceitos físicos diversos explorados e capitaneados aqui na Terra (LABERG, 2017; SCHOOFs and TODD, 2022).

O planeta Terra é um lugar especial, tão especial que é um dos poucos no universo, dado o que se conhece hoje, que possui os estados físicos da matéria mais raros presentes no Cosmos. Aqui na Terra o estado físico quase sempre está na forma sólida, líquida ou gasosa, muito diferente dos ~99,99% dos outros estados físicos da natureza no universo (WILTGEN, 2022A).

Isso faz com que construir um futuro reator a fusão nuclear seja uma tarefa muito difícil e de muito longo prazo, envolvendo muitas gerações de cientistas pesquisadores durante cerca de 150 anos, supondo é claro que isso se realize em ~2050, como é esperado (WILTGEN, 2022B; WILTGEN, 2022C).

O principal obstáculo para obter a fusão nuclear na Terra ocorre devido a energia térmica de agitação das partículas necessária para romper a força eletrostática da barreira de Coulomb. Para que isso possa ser alcançado na Terra é necessário obter um conjunto de parâmetros (Critério de Lawson) que permitam que as condições sejam propícias, de forma similar ao que ocorre em uma estrela, mantidas e guardadas suas devidas proporções (LAWSON, 1957). Cabendo lembrar que na Terra este processo não é natural, e assim sendo, nunca poderá ser igual ao de uma estrela. Por tudo que se conhece, não há uma forma física de se reproduzir uma estrela a não ser em uma estrela natural (WILTGEN, 2021; ELIEZER and ELIEZER, 1989; BOYLE, 1968).

Este artigo tem como finalidade explicar de forma simples e objetiva o caminho para a fusão termonuclear controlada na Terra a ser obtida por uma máquina do tipo Tokamak. Apresentando um dispositivo em desenvolvimento a muitas gerações de cientistas pesquisadores o qual agora é uma real opção duradoura para o fornecimento de energia elétrica em quantidade suficientemente necessária para suprir as necessidades de desenvolvimento para o futuro da espécie humana na tentativa de garantir um ambiente propício para o conforto digno as seres humanos no planeta, e permitir também, pensar na realização de muitas outras novas ideias e inovações inerentes a sabedoria científica humana.

## 2. FUTURO DA ENERGIA PARA A HUMANIDADE

É fato que não se produz a quantidade suficiente de energia demanda no mundo. Também é conhecido o enorme déficit elétrico pertinente a baixa qualidade de vida em muitos países por muitas nações em diferentes continentes (WILTGEN, 2022D).

O índice mais crítico e vergonhoso decorrente deste fato, ou seja, da humanidade não ser suficientemente eficiente em produzir energia, principalmente energia elétrica pode ser mais claramente visto na Figura 1, no qual fica clara a dependência do Produto Interno Bruto (PIB) de cada país com a sua forma de gerar capital e riquezas econômicas as quais estão intimamente ligadas a transformação de energia em produtos, o que todos conhecem. O que nem todos conhecem é o outro eixo desta figura relacionado a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI). Note que quanto menor for a capacidade de uma nação de produzir bens, será inversamente proporcional a taxa de mortalidade infantil abaixo de 5 anos de idade (SMITH *et al.*, 2013; WILTGEN, 2022D).

Veja que na Figura 1 o pior índice é o da África Central com ~12,5% de TMI e PIB próximo de zero, o que representa ~50 vezes mais que a taxa de mortalidade infantil presente na Islândia (TMI próximo de zero e PIB ~50.000 dólares). O desequilíbrio vivido em grande parte do terceiro mundo é algo muito inerente a falta de recursos financeiros advindos da produção de bens os quais quase sempre demandam muita energia elétrica, que precisam de valores acessíveis e em quantidade significativa. A fatura de energia então impacta na produção, que impacta no PIB, o qual por sua vez impacta diretamente na Taxa de Mortalidade Infantil (WILTGEN, 2022C; TRYGGESTAD, 2019).

Fica claro que a forma de reduzir a mortalidade infantil no mundo percorre caminhos paralelos a de conseguir produzir mais energia elétrica no mundo. Na visão da engenharia moderna de energia isso necessita de uma quebra de paradigma capaz de romper com nossa estagnação energética. Sob o ponto de vista científico a atual forma de fazer isso é seguir com a tentativa de obter fusão nuclear utilizando as máquinas Tokamak (WILTGEN, 1998; WILTGEN, 2018; ARTISIMOVICH, 1972; HAMACHER and BRADSHAW, 2001; SCHOOFs and TODD, 2022; MISHRA and ANITHA, 2020).

Mesmo que a energia elétrica seja devidamente distribuída de forma a ser um fator de impacto na sociedade mundial, ainda assim, a quantidade produzida é insignificante quando comparada a necessidade atual, e não há parâmetros fidedignos para sequer estimar a diferença produzida da demandada para um futuro próximo como em 2100.

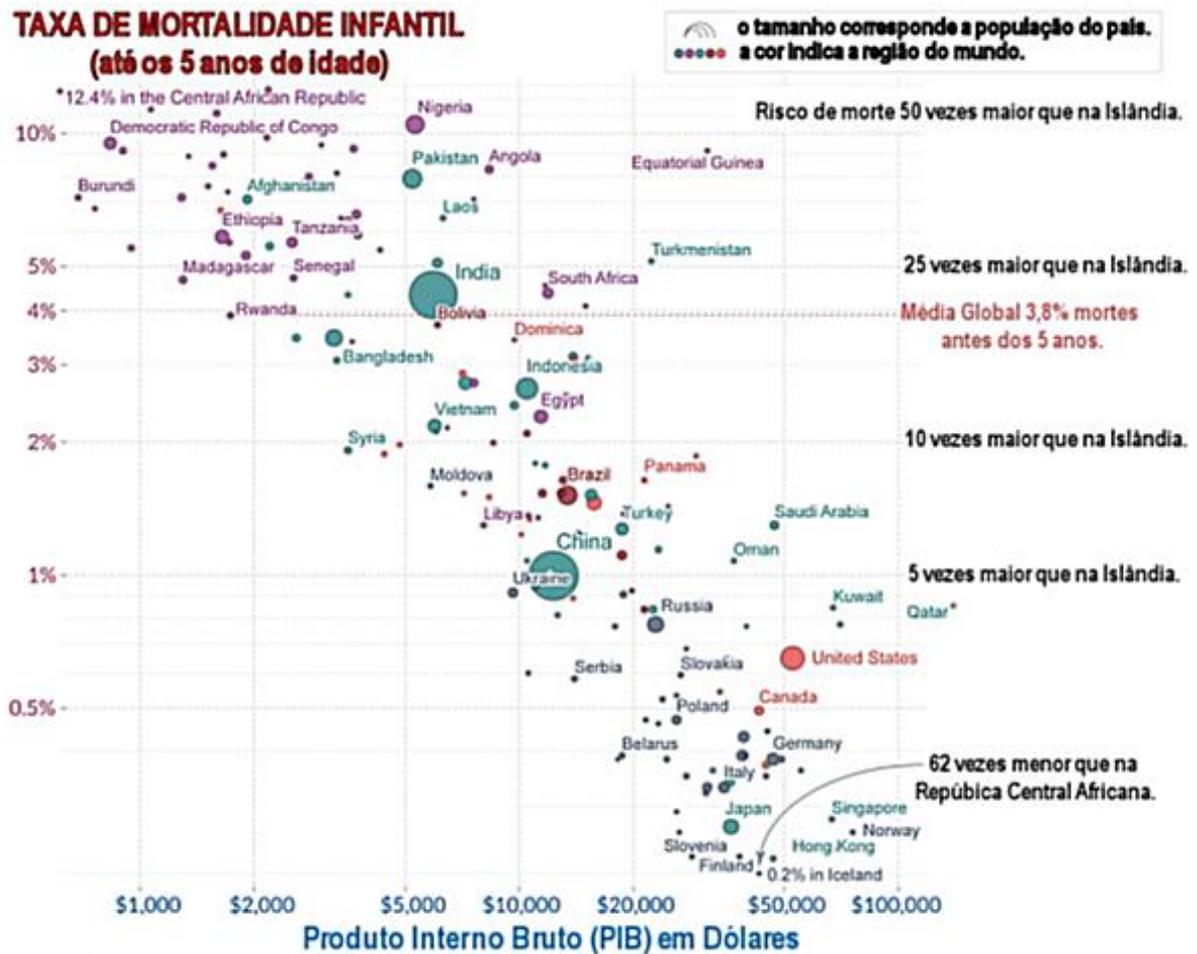


Figura 1. Taxa de Mortalidade Infantil (TMI) pelo Produto Interno Bruto (PIB) em 2020.  
Fonte: Adaptado da World in Data (2020).

Na Figura 2 supondo que a população mundial chegue a ~14 bilhões de pessoas próximo de 2100, a quantidade de energia faltante poderá ser de ~25TW (cor roxa em três tons diferentes – alto, médio e baixo), o que é cerca de ~9TW a mais de energia do que a de hoje (~16TW). Observe que isso apenas considerando a média de ~3kW/h por pessoa (McLEAN, 2002). Parece que a única forma de encontrar um suprimento de energia desse montante é recorrendo a máquinas das pesquisas em fusão nuclear.

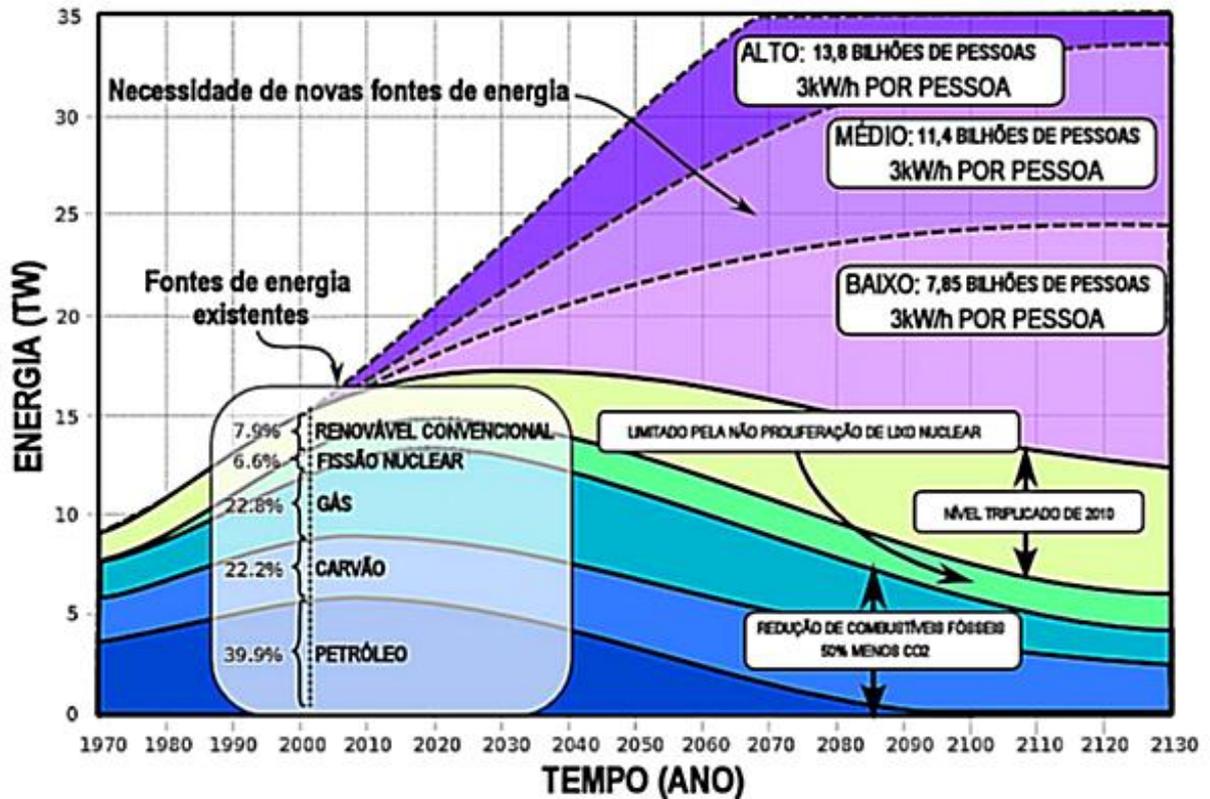


Figura 2. Necessidade estimada de energia elétrica para o futuro (2130).

Fonte: Adaptado de McLean (2002).

Na Figura 2 observe que no ano de ~2130, as reservas de suprimento de energia vão ser menores que os de agora (~16TW) devido ao fim do Petróleo (cor azul escuro - próximo de 2100) com ~12TW de energia disponível (diferença de ~4TW a menos). Ou seja, a situação energética do futuro próximo se mostra grave o suficiente para que algo seja realizado de forma contundente antes que o tempo de agir se esvaia, tornando a vida dos seres humanos do futuro uma disputa muito acirrada por recursos energéticos, talvez ainda mais agressivos do que se tem hoje.

### 3. FUSÃO NUCLEAR PARA A HUMANIDADE

De fato, toda e qualquer pesquisa científica na área energética tem como finalidade alcançar a demanda de energia solicitada pela humanidade. Entretanto, a humanidade tem se mostrado uma voraz consumidora de energia, principalmente a energia elétrica.

Como a energia elétrica, assim como as demais formas de energia, necessitam de um mecanismo de transformação, quer seja, cinética ou potencial (Hidroelétrica ou Eólica ou Marés), quer seja, química ou térmica (Biomassa ou Combustíveis Fósseis), quer seja,

pela radiação da luz ou nuclear (Fotovoltaica ou Fissão ou Fusão), é o transito desta energia que deve ser o fator de maior atenção. Isso porque é na transformação da energia (termodinâmica) é que se perde ou se ganha eficiência.

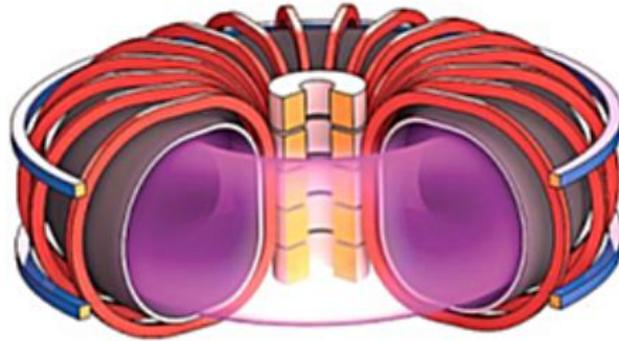
Dispor de um processo de geração de energia eficiente termodinamicamente é um passo importante para que a energia possa ser bem aproveitada. Um processo no qual a fonte primária de energia seja muito eficiente é um bom parâmetro, como no caso nuclear. A energia nuclear precisa do Ciclo de Rankine (condução de calor por vapor) para que sua energia possa ser transformada em calor em trânsito através da forma tradicional de produção de energia elétrica via turbinas a vapor conectadas a geradores elétricos tradicionais. Desta forma, fica claro que as fontes nucleares (Fissão e Fusão) na verdade tem a função de aquecer de forma muito eficiente um líquido (água) com a finalidade de utilizar o estado físico de vapor para o transporte de calor para produzir eletricidade (WILTGEN, 2022C).

Dentre as máquinas mais eficientes capazes de realizar esta tarefa, são os experimentos a fusão nuclear, chamados de fusão termonuclear controlada por confinamento magnético do plasma, as que mais se destacam. Dentro destas, é uma máquina de origem russa a que parece ser a mais promissora, conhecida como Tokamak (WILTGEN, 1998; COSTLEY, 2019; GALAMBOS *et al.*, 1995; HAMACHER and BRADSHAW, 2001; McLEAN, 2002; SCHOOFS and TODD, 2022).

Um Tokamak é um dispositivo que utiliza uma câmara de vácuo em forma de toroide capaz de manter o estado físico de plasma a fim de obter a fusão nuclear via intensos campos magnéticos responsáveis pelo confinamento e produção do plasma em seu interior a uma temperatura de ~100 milhões de graus célsius (ARTISIMOVICH, 1972; WILTGEN, 1998; WILTGEN, 2022C).

Na Figura 3 é possível ver um esquema básico de dois modelos de Tokamak (câmara de vácuo (cor cinza), coluna de plasma (cor roxa) e bobinas magnéticas (cores vermelha e azul)), o convencional cuja secção da coluna de plasma é circular e o esférico no qual a secção da coluna de plasma é na forma de um “D” o qual indica ser a melhor forma geométrica para obtenção da fusão nuclear (SCHOOFS and TODD, 2022; WILTGEN, 2022C).

## Tokamak Convencional



## Tokamak Esférico

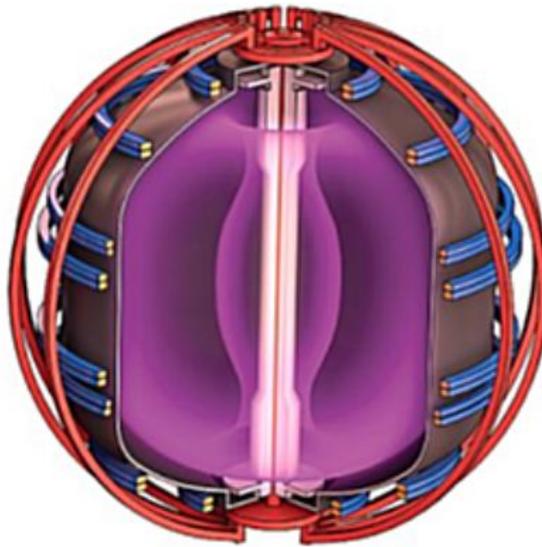


Figura 3. **Tipos de Tokamaks (Convencional e Esférico).**

Fonte: Adaptado de Laberg (2017).

Um Tokamak para operar com um futuro reator a fusão nuclear vai precisar utilizar um conjunto de outros dispositivos auxiliares capazes de inserir o combustível nuclear no interior da máquina, assim como, extrair os resíduos e manter o vácuo, além dos campos magnéticos, toda a parte de trocadores de calor e turbinas a vapor conectadas aos geradores elétricos. Na Figura 4 é possível ver um esquema básico de um Tokamak operando como um futuro reator a fusão nuclear e todos os sistemas necessários para seu funcionamento e sustentação operacional.

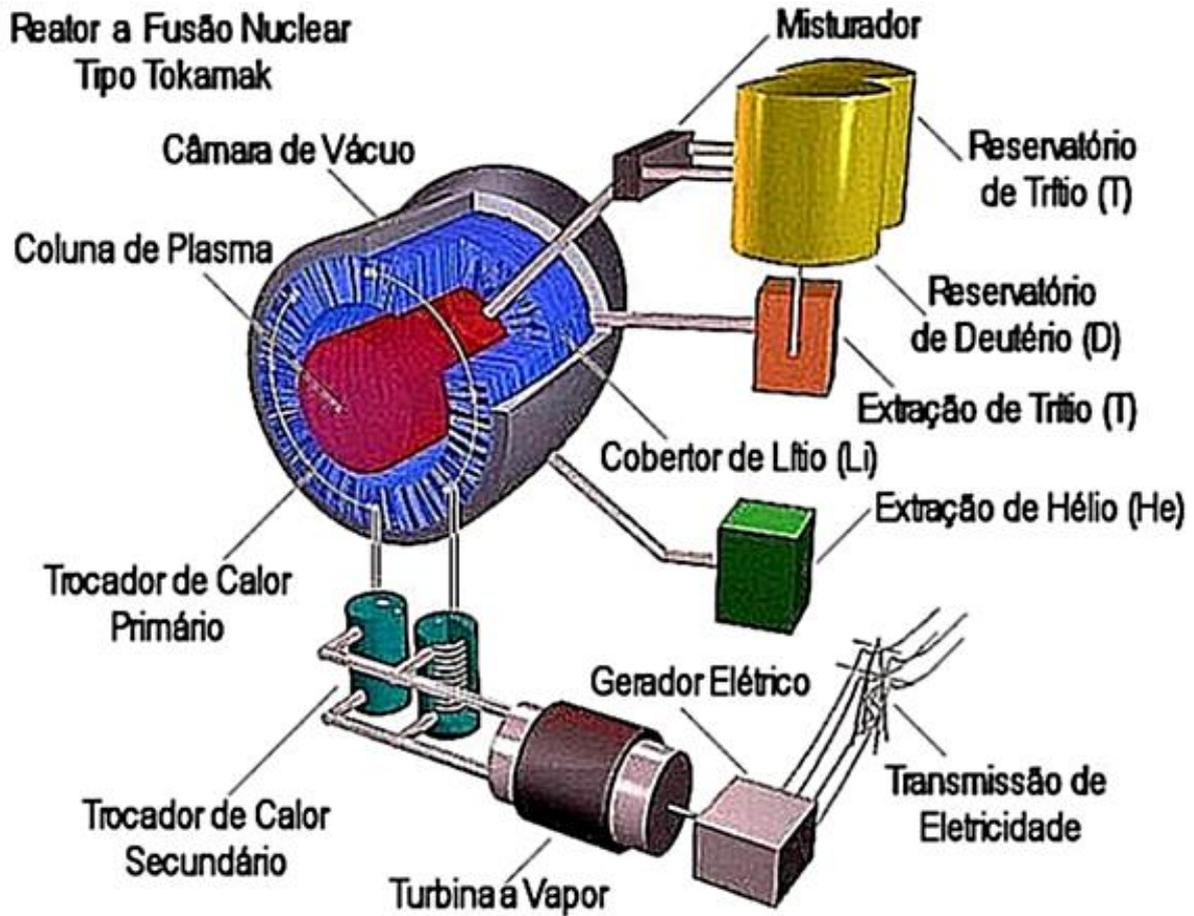


Figura 4. Funcionamento de um reator a fusão nuclear do tipo Tokamak.  
 Fonte: Wiltgen (1998).

#### 4. PERSPECTIVAS FUTURAS

O futuro da humanidade se mistura com o futuro da energia. A espécie humana depende da fartura da energia para se desenvolver, isso é atualmente um limitante para o desenvolvimento e a qualidade de vida.

As pesquisas científicas mostram que a única forma atual de suprir a escassez de energia para as próximas gerações depende do sucesso da máquina Tokamak como o primeiro reator a fusão nuclear do mundo. Seu desenvolvimento e sua comercialização deverá garantir um suprimento ilimitado de energia, algo que a espécie humana almeja a muito tempo.

Espera-se que a maior fartura de energia além de ajudar no desenvolvimento tecnológico humano possa de certa forma garantir uma condição melhor de convívio pacífico entre as nações e seus povos. Permitindo uma verdadeira e significativa mudança no desenvolvimento humano, e na forma de conduzir a humanidade ao futuro.

## REFERÊNCIAS

- ARTISIMOVICH, L.A., *Tokamak Devices*. Nuclear Fusion. v.12, pp.215-252, 1972.
- BOYLE, F.I., *Plasmas en el Laboratorio y en el Cosmos*. Reverté Mexicana, 1968. 175p.
- CHEN, F.F., *Plasma Physics and Controlled Fusion*. Plenum, 1974. 440p.
- COSTLEY, A.E., *Towards a Compact Spherical Tokamak Fusion Pilot Plant*. Philos. Trans. R. Soc. A. v.377(2141), pp.20170439, 2019.
- EL-GUEBALY, L.A., *History and Evolution of Fusion Power Plant Studies: Past, Present, and Future Prospects*. Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering, NOVA Science Publishers. pp.217-271, 2009.
- ELIEZER, Y., ELIEZER, S., *The Fourth State of Matter - An Introduction to the Physics of Plasma*. Bristol and Philadelphia, Adam Hilger, 1989. 226p.
- GALAMBOS, J.D., PERKINS, L.J., HANEY, S.W., MANDREKAS, J., *Commercial Tokamak Reactor Potential with Advanced Tokamak Operation*. Nuclear Fusion. v.35(5), pp.551-573, 1995.
- HAMACHER, T, BRADSHAW, A.M., *Fusion as a Future Power Source: Recent Achievements and Prospectus*. 18th Congress World Energy Council, Buenos Aires, 21-25 October, pp.1-19, 2001.
- LABERG, M., *Alternative Approaches in Fusion*. Presentation General Fusion, Fusion Forum in Edmonton Alberta. November 4, pp.1-20, 2017.
- LAWSON, J.D., *Some Criteria for a Power Producing Thermonuclear Machine*. Proceedings of the Physical Society. B70, v.6, pp.6-10, 1957.
- MCCRACKEN, G., STOTT, P., *Fusion: The Energy of the Universe*. Academic Press. 2012. 248p.
- McLEAN, A., *The ITER Fusion Reactor and its Role in Development of a Fusion Power Plant*. Canadian Nuclear Society Bulletin. v.23(02), pp.13-18, 2002.
- MISHRA, A.K., ANITHA, G., *Nuclear Fusion Reactor – A Review Study*. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), v.4(03), pp.2456-6470, 2020.
- SCHOOFS, F., TODD, T.N., *Magnetic Field and Power Consumption Constraints for Compact Spherical Tokamak Power Plants*. Fusion Engineering and Design. v.176, pp.113022 (1-11), 2022.
- SMITH, K.R., FRUMKIN, H., BALAKRISHNAN, K., BUTLER, C.D., CHAFE, Z.A., FAIRLIE, I., KINNEY, P., KJELLSTROM, T., MAUZERALL, D.L., MCKONE, T.E., MCMICHAEL, A.J.,

SCHNEIDER, M., *Energy and Human Health*. Annu. Rev. Public Health. v.34, pp.159-88, 2013.

TRYGGESTAD, C., *Global Energy Perspective 2019: Reference Case*. Energy Insights McKinsey. pp.1-31, 2019.

WILTGEN, F., *Sistema Elétrico Pulsado com Controle Digital do Tokamak ETE (Experimento Tokamak Esférico)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, 1998. 228p.

WILTGEN, F., *Sistemas Inteligentes para o Controle de Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak – Aplicação de Sistemas de Controle com Inteligência Artificial*. Novas Edições Acadêmicas, 2018. 372p.

WILTGEN, F., *Energia Elétrica via Fusão Termonuclear Controlada*. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). v.38(03), pp.97-107, 2021.

WILTGEN, F., *Estados Físicos da Matéria*. Uniesmero, Ciência e Tecnologia: Temáticas e Fundamentos, v.3(cap.09), pp.106-130, 2022A.

WILTGEN, F., *Fusão Termonuclear Controlada por Confinamento Magnético do Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak*. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). Aguardando publicação, 2022B.

WILTGEN, F., *Futuro Reator a Fusão Nuclear do Tipo Tokamak – Máquina de Engenharia Desafiadora*. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica-(CONEM). Teresina, 07-11 agosto. pp.1-10, 2022C.

WILTGEN, F., *The Pragmatic Dichotomy of Energy in the World*. Revista de Humanidades, Tecnologia e Cultura (REHUTEC). Aguardando publicação, pp.1-18, 2022D.

**Capítulo 4**  
**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA**  
**IMPLANTAÇÃO DE UMA AGÊNCIA DE TURISMO**  
**RECEPTIVO PARA O LITORAL NORTE DE SERGIPE**

**Maisa Oliveira Santos**  
**Bruna Neves Lima**  
**José Nilton de Melo**



# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA AGÊNCIA DE TURISMO RECEPTIVO PARA O LITORAL NORTE DE SERGIPE

**Maisa Oliveira Santos**

*Graduanda em Gestão de Turismo (IFS), maisa.santos102@hotmail.com*

**Bruna Neves Lima**

*Graduanda em Gestão de Turismo (IFS), brunalima.7@hotmail.com*

**José Nilton de Melo**

*Professor do curso de Gestão de Turismo (IFS), doutor em Propriedade Intelectual(UFS),  
graduado em Economia (UFS), niltonmelo@hotmail.com*

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica para implantação de uma Agência de Turismo Receptivo para o litoral Norte de Sergipe, a escolha do tema deu-se considerando que o litoral norte tem potencial turístico e que não há nenhuma empresa que preste esse serviço, então se considerou a possibilidade de investimento nesse território. O Turismo em Sergipe vem crescendo consideravelmente, no estado podemos encontrar vários segmentos da atividade turística a exemplo do: sol e mar, histórico-cultural, religioso, náutico, ecoturismo, turismo de experiência. A parte norte do estado é composta por cinco municípios que possuem produtos e atrativos turísticos para oferecer aos turistas que cheguem nesses locais e o turismo receptivo foi a proposta encontrada para aproximá-los dessa realidade visto que nesse modelo os clientes poderão conhecer o turismo local através de passeios, *city tours*, e traslados. Na metodologia foi usada pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa e buscou informações via *internet* a cerca do segmento do turismo na região e para determinar se o projeto seria viável, levaram-se em consideração os seguintes indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback Simples e Payback Descontado. Após a análise dos dados, verificou-se que é economicamente viável.

**Palavras-Chave:** Turismo Receptivo; indicadores econômicos; viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

The present work aims to analyze the economic feasibility for the implementation of a Receptive Tourism Agency for the North coast of Sergipe, the choice of theme was given considering that the north coast has tourist potential and that there is no company that provides this service, then the possibility of investment in this territory was considered. Tourism in Sergipe has been growing considerably, in the state we can find several

segments of tourist activity such as: sun and sea, historical-cultural, religious, nautical, ecotourism, experience tourism. The northern part of the state is composed of five municipalities that have products and tourist attractions to offer tourists who arrive in these places and inbound tourism was the proposal found to bring them closer to this reality since in this model customers will be able to know the local tourism through tours, city tours, and transfers. In the methodology, bibliographic research was used with a qualitative approach and information was sought via the internet about the tourism segment in the region and to determine if the project would be viable, the following economic indicators were taken into account: Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR), Simple Payback and Discounted Payback. After analyzing the data, it was found to be economically viable.

**Keywords:** Inbound Tourism; economic indicators; economic viability.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério do Turismo (Mtur 2010) as Agências de Turismo Receptivo são empresas que têm como principal atividade a venda e a operação direta de serviços turísticos em um ou mais destinos, tais como: passeios, traslados, city tour, entre outros... ou seja, empresas que irão recepcionar os turistas quando os mesmos chegarem à determinada localidade. Em Sergipe, as empresas de turismo Receptivo se localizam em Aracaju, sendo em sua maioria, no bairro Atalaia e fazem o roteiro para o Litoral Sul do estado.

Tendo em vista os turistas que ficam interessados em conhecer também a parte norte do estado, surgiu a proposta de uma Agência de Turismo Receptivo para o Litoral Norte de Sergipe a fim de atender essa demanda.

"As Marias- turismo" é uma proposta de agência receptiva que trabalhará no Litoral Norte de Sergipe, a ideia surge da necessidade de ter um receptivo para se explorar também a parte norte do estado visto que os receptivos existentes só têm roteiros para o litoral Sul de Sergipe a exemplos de Crôa de Goré e Ilha dos Namorados em Aracaju, Lagoa dos Tambaquis e Praia do Saco em Estância, além da parte do sertão sergipano com o roteiro para os Cânions de Xingó na cidade de Canindé de São Francisco.

A vantagem da Agência "As Marias- Turismo" é a falta de concorrentes diretos visto que será a primeira agência do estado a explorar roteiros no litoral norte sergipano, o diferencial será oferecer aos clientes roteiros personalizados que explore o turismo de experiência, ecoturismo, turismo cultural, e turismo de sol e praia. O nosso objetivo será de que os turistas tenham novas experiências no nosso estado, conheça outros municípios

e se encantem com o turismo sergipano para que assim possam sempre retornar ao nosso estado.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia para o estudo de viabilidade econômico-financeira deste empreendimento constou em etapas que contribuíram para os resultados deste projeto. Este estudo se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica com abordagem quantitativa. Dessa forma, a primeira etapa foi um levantamento bibliográfico acerca do tipo de empreendimento denominado Agência de Turismo Receptivo bem como suas características e seus aspectos gerais, em seguida, buscou-se informações sobre os municípios do Litoral Norte de Sergipe, com ênfase em seu potencial turístico.

Para a viabilidade foram utilizados os principais indicadores econômico-financeiros como: Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR); Prazo de Retorno do Investimento (PayBack simples e descontado) e Índice de Lucratividade (IL). Os tabulamentos de dados serão feitos por meio de planilha eletrônica (EXCEL), onde também serão calculados os indicadores de viabilidade.

O Valor Presente Líquido (VPL) é considerado um dos principais indicadores, pois através dele é possível fazer a projeção do fluxo de caixa, calculando o valor presente que ainda virão. Partindo do princípio básico de que o dinheiro vale mais hoje do que valerá amanhã, esse indicador traz o lucro que se espera para os valores presentes. É aplicada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) ao fluxo de caixa futuro até o dia que o investimento será resgatado. Quanto aos resultados obtidos, caso estes sejam positivos, o projeto estará apto para ser colocado em prática, caso esteja negativo, é considerado inapto.

A Taxa Interna de Retorno se refere ao quanto de porcentagem de retorno o negócio dará. A TIR somente é calculada se for seguido a periodicidade dos fluxos de caixa. Caso este indicador seja superior a Taxa de Atratividade Mínima, o seu negócio é viável. Caso contrário será inviável.

O Payback indica qual o tempo que você levará para conseguir conquistar o valor do investimento feito inicialmente. Um fator interessante e bastante relevante, é que mesmo que os indicadores anteriores forem positivos, se o Payback for muito longo, a viabilidade do projeto não é tão positiva.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1- APRESENTAÇÃO DO NEGÓCIO

A agência "As Marias-Turismo" é uma proposta de receptivo para o litoral norte de Sergipe, com roteiros que irão abranger cinco municípios, a empresa estará localizada na Orla de Atalaia na Avenida Santos Dummont, no bairro Atalaia, zona sul de Aracaju. Contará com o operacional de duas coordenadoras, duas guias de turismo e duas motoristas.

#### 3.2- ANÁLISE DE MERCADO

##### A) Clientes

Os clientes da agência serão os turistas que visitam Sergipe e os nativos que desejam conhecer a parte norte do estado. Esses turistas viriam principalmente do Nordeste, a sua maioria vinda da cidade de Salvador-Ba, que é o principal polo receptivo de Sergipe, já os nativos seriam os próprios sergipanos oriundos não só da capital aracajuana, mas também dos outros municípios do estado, nas variadas faixas etárias desde adolescentes até a terceira idade, e seriam de todas as classes sociais (A, B e C) e de todos os gêneros.

##### B) Parcerias

"As Marias" terá parceria com meios de hospedagem (hotéis, pousadas, hostels), restaurantes e agências de eventos.

##### C) Concorrentes

A agência de turismo receptivo: "As Marias" não teria concorrente direto visto que atualmente não existe uma empresa de turismo receptivo para o litoral norte de Sergipe, porém teria concorrentes indiretos que seriam as empresas que realizam o receptivo para o litoral sul sergipano e apesar de não ser tão comum, algumas empresas de excursões realizam passeios e/ou "bate e volta" para destinos consolidados no litoral norte. Nosso

diferencial frente à concorrência será de explorar novas segmentações do turismo nessa região que vai muito além do sol e praia que já é um roteiro concretizado no litoral norte.

#### D) Planejamento Estratégico- Análise SWOT

TABELA 1: ANÁLISE SWOT

Forças	Fraquezas
Atendimento personalizado Preço abaixo da concorrência Diferenciação no segmento turístico	Indisponibilidade de capital elevado Dificuldade na entrada e reconhecimento do mercado
Oportunidades	Ameaças
Pouca Concorrência Alta oferta de serviços turísticos no destino	Conflito de interesses com o povo local Mudanças Climáticas Instabilidade econômica

### 3.3- PLANO DE MARKETING

#### A. Produtos e Serviços

O negócio refere-se à agência de turismo receptivo: “As Marias Turismo”, que pretende atuar no litoral norte do estado de Sergipe e tem como interesse de mercado, vendas de pacotes turísticos através do turismo receptivo.

O produto a ser contratado será direcionado às pessoas que buscam um contato maior com natureza, fazendo esquecer o estresse do dia a dia e encontrar comodidade, conforto e ter uma incrível integração com a natureza com os nossos destinos. No nosso roteiro encontrarão praias, cachoeira, lagos, lagoas, rios, além de turismo histórico e cultural com os nossos City Tours pelas cidades.

Os nossos serviços serão: no município de Pirambu (praia, Reserva Biológica de Santa Isabel, povoado Lagoa Redonda, Cachoeira do Roncador, Lagoa Azul, Lençóis Sergipanos e Fazenda Aracuípe), Pacatuba (Pantanal e Ponta dos Mangues), Brejo Grande (Foz do Rio São Francisco), Japarutuba (Banho do Prata, Centro Histórico e o Alto do Lavrado, Gruta do capim branco, Memorial Histórico Cultural) e na capital Aracaju (City Tour e Click Tour).

## B. Preço

Dentro do conceito do marketing, preço é a estratégia traçada para definir o posicionamento e a proposta de valor ofertada pelo produto. É a maneira como o produto ou serviço estará posicionado na mente do consumidor. A tabela abaixo mostra os preços dos roteiros realizados pela agência.

TABELA 2: PREÇOS

<b>Pirambu- Praia, Reserva Biológica de Santa Isabel</b>	<b>80,00</b>	<b>Povoado Lagoa Redonda, Cachoeira do Roncador e Lagoa Azul</b>	<b>90,00</b>
<b>Lençóis Sergipanos e Fazenda Aracuípe</b>	<b>90,00</b>	<b>Banho do Prata e centro histórico</b>	<b>80,00</b>
<b>Pacatuba- Pantanal e Ponta dos Mangues</b>	<b>90,00</b>	<b>Foz do Rio São Francisco</b>	<b>110,00</b>
<b>Aracaju-City Tour</b>	<b>70,00</b>	<b>Aracaju- Click Tour</b>	<b>70,00</b>

## C. Praça

Na própria agência, em meios de hospedagem e restaurantes parceiros e eventos ligados ao turismo.

## D. Promoção

Criação de site para a agência, criação de perfis em outras redes sociais como, por exemplo: Facebook, Anúncios e campanhas nas redes sociais, divulgação dos serviços oferecidos nos hotéis da Orla de Atalaia e do litoral Norte, em feiras e eventos além de brindes, sorteios e descontos.

### 3.4- PLANO FINANCEIRO

Para a abertura da empresa, serão necessários gastos com computadores, móveis de escritório, site, capital de giro, caução de aluguel no valor de R\$ 118.277,00.

TABELA 3: INVESTIMENTO INICIAL

<b>INVESTIMENTO INICIAL</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QT</b>	<b>VALOR</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Computadores e impressora</b>	3	R\$ 2.000,00	R\$ 6.000,00
<b>Reformas e fachada</b>	1	R\$ 65.500,00	R\$ 70.000,00
<b>Móveis de escritório</b>	1	R\$ 15.000	R\$ 15.000,00
<b>Montagem do site / Domínio e hospedagem</b>	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
<b>Marketing do site</b>	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
<b>Capital de giro</b>			R\$ 26.577,00
<b>Caução do Aluguel</b>	3	R\$ 1.500	R\$ 4.500,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 118.277,00</b>

Fonte: elaborado pelas autoras (2022)

Para os gastos fixos da empresa, observa-se um gasto maior com o pró-labore no valor de R\$ 6.000,00.

TABELA 4: GASTOS FIXOS

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Internet e telefone</b>	R\$ 200,00
<b>Materiais de escritório</b>	R\$ 300,00
<b>Pró-labore</b>	R\$ 6.000,00
<b>Hospedagem e manutenção do site</b>	R\$ 100,00
<b>Provisionamento de marketing/6 meses</b>	R\$ 500,00
<b>Energia</b>	R\$ 700,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 7.800,00</b>

Fonte: elaborado pelas autoras (2022)

Os gastos variáveis da empresa correspondem a impostos e taxas e aos insumos.

TABELA 5: GASTOS VARIÁVEIS

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Impostos e taxas</b>	R\$ 859,00
<b>Insumos</b>	R\$ 200,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.059,00</b>

Fonte: elaborado pelas autoras (2022)

A Previsão de Faturamento é um processo de gestão financeira que visa identificar quanto de dinheiro pode entrar e sair de um negócio em um período futuro, na agência

foi avaliado o mês de Dezembro conhecido por ser de alta estação, ou seja, é o mês com potencial de mais clientes para a empresa.

TABELA 6: PREVISÃO DE FATURAMENTO

<b>Serviços</b>	<b>Mês/Ano</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário(R\$)</b>
<b>Praias, City Tours, cachoeira, rio, lagos e lagoas</b>	Dezembro/2022	150 pessoas	90
<b>TOTAL</b>			<b>13.500</b>

Fonte: elaborada pelas autoras, (2022)

Demonstração de Resultado Projetada (DRE) da agência terá uma receita bruta ao ano de R\$ 162.000,00 e o lucro líquido anual de R\$ 53.292,00

TABELA 7: DRE

<b>(=) RECEITA BRUTA</b>	<b>R\$ 13.500,00</b>	<b>R\$ 162.000,00</b>
<b>(-) impostos sobre vendas e serviços</b>	<b>R\$ 500,00</b>	<b>R\$ 6.000,00</b>
<b>(=) RECEITA LÍQUIDA</b>	<b>R\$ 13.000,00</b>	<b>R\$ 156.000,00</b>
<b>(-) Custos dos serviços prestados</b>	<b>R\$ 1.059,00</b>	<b>R\$ 12.708,00</b>
<b>(=) LUCRO BRUTO</b>	<b>R\$ 11.941,00</b>	<b>R\$ 143.292,00</b>
<b>(-) Despesas administrativas</b>	<b>R\$ 1.500,00</b>	<b>R\$ 18.000,00</b>
<b>Pró-labore</b>	<b>R\$ 6.000,00</b>	<b>R\$ 72.000,00</b>
<b>(-) outras despesas operacionais</b>		<b>R\$ 0,00</b>
<b>(=) LUCRO OPERACIONAL</b>	<b>R\$ 4.441,00</b>	<b>R\$ 53.292,00</b>
<b>(+) Receitas não operacionais</b>		<b>R\$ 0,00</b>
<b>(-) Provisão para IR e CSLL</b>		<b>R\$ 0,00</b>
<b>(=) LUCRO LÍQUIDO</b>	<b>R\$ 4.441,00</b>	<b>R\$ 53.292,00</b>

Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

Ponto de equilíbrio contábil em quantidade e em reais

TABELA 8: PONTO DE EQUILÍBRIO

<b>PEC em Quantidade</b>	<b>94,04</b>
<b>PEC em Reais</b>	<b>R\$ 8.463,95</b>

Fonte: Elaborada pelas autoras (2022)

Margem de segurança em quantidade, reais e porcentagem, verificou-se que a Margem de segurança em porcentagem é de 63%.

TABELA 9: MARGEM DE SEGURANÇA

<b>Margem de segurança em Qt</b>	<b>55,96</b>
<b>Margem de segurança em R\$</b>	<b>R\$ 5.036,05</b>
<b>Margem de segurança em %</b>	<b>63%</b>

Fonte: Elaborada pelas autoras (2022)

Na Análise econômico-financeira da agência analisam-se os custos e benefícios do projeto, ou seja, se economicamente a ideia é viável ou não.

TABELA 10: ANÁLISE ECONÔMICA-FINANCEIRA

	ANO	FLUXO DE CAIXA (FC)	SALDO	VALOR PRESENTE (Fluxo de caixa descontado)	SALDO
	0	-R\$ 118.277,00	-R\$ 118.277,00	-R\$ 118.277,00	-R\$ 118.277,00
<b>2022</b>	1	R\$ 53.292,00	-R\$ 64.985,00	R\$ 48.447,27	-R\$ 69.829,73
<b>2023</b>	2	R\$ 58.621,20	-R\$ 6.363,80	R\$ 48.447,27	-R\$ 21.382,45
<b>2024</b>	3	R\$ 64.483,32	R\$ 58.119,52	R\$ 48.447,27	R\$ 27.064,82
<b>2025</b>	4	R\$ 70.931,65	R\$ 129.051,17	R\$ 48.447,27	R\$ 75.512,09
<b>2026</b>	5	R\$ 78.024,82	R\$ 207.075,99	R\$ 48.447,27	R\$ 123.959,36

<b>TMA</b>	<b>10%</b>
<b>VPL</b>	R\$ 123.959,36
<b>TIR</b>	42,86%
<b>PAYBACK SIMPLES</b>	2,10
<b>PAYBACK DESCONTADO</b>	2,44
<b>ÍNDICE DE LUCRAT.</b>	2,05

Fonte: elaborada pelas autoras (2022)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma análise de viabilidade econômica e financeira para um empreendimento voltado ao ramo turístico, especificamente uma Agência de Turismo Receptivo para o litoral norte de Sergipe. Tendo

em vista que o mercado turístico vem crescendo e atraindo cada vez mais investidores, apesar da pandemia ainda é um ramo promissor, que aquece a economia de um País e nesse caso específico a economia sergipana. O turismo é uma atividade com variadas possibilidades de investimento e seus serviços e produtos podem ser direcionados aos mais diversos tipos de consumidores, sem limites de idade, sexo, raça ou cor. Quando se fala em investimento em um novo empreendimento, logo, pensa-se que terá um alto custo inicial. Ao se fazer o levantamento de investimento inicial desta agência, conclui-se que não é alto o investimento, por se tratar do ramo de serviços e não exigir uma grande infraestrutura. Outro aspecto favorável é poder trabalhar-se com mão de obra terceirizada e freelancer, reduzindo assim custos com encargos sociais e trabalhistas.

Do ponto de vista econômico e financeiro a Agência é viável, Considera-se:  $TIR > TMA$  O projeto será economicamente viável,  $TIR < TMA$  o projeto será economicamente inviável;  $TIR = TMA$  / indiferente.

Ou seja, o TIR será de 42,86% e o TMA de 10%, o VPL é positivo no valor de R\$ 123.959,36 e a cada dinheiro investido terá 2,05 de lucro. O prazo de retorno do investimento necessário para a implantação da agência de receptivo demonstrou-se viável, pois o investimento será recuperado no prazo de 2 anos, 1 mês e 6 dias, considerando o Payback Simples; e de 2 ano, 5 meses e 8 dias considerando o Payback Descontado. Nesse caso, ambos estão dentro do tempo do projeto, que é de cinco anos.

Outro indicador de viabilidade é o Ponto de Equilíbrio, o empreendimento possui uma margem de segurança de 63%.

## 5. REFERÊNCIAS

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação econômica de projetos**. São Paulo: Atlas, 1984.

RIBEIRO, Marcos Costa. Estudo de viabilidade econômico-financeira de implantação de um cama & café em barra dos coqueiros-se. **Revista Ifs**, Aracaju, ano 2022, p. 1-15, Semestral.

SILVA, Elma Betânia R. Pereira da; PEREIRA, Myriam Rocha. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de uma cooperativa no município de santana do são francisco-SE**. Orientador: Prof. Dr. José Nilton de Melo. 2022. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão de Turismo, Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, 2022.

VON ENDE, Marta *et al.* **Elaboração e Análise de Projetos**. 1. ed. Rio Grande do Sul: Etec, 2015. 103 p. v. 1. ISBN 978-85-63573-91-9

**Capítulo 5**  
**MODELOS DE CURVA DE ESQUECIMENTO E SUA**  
**APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO**

**José Angelo Ferreira**  
**Bruno Goulart Sato**  
**Bruno Pontes Fuentes**



# MODELOS DE CURVA DE ESQUECIMENTO E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO

## ***José Angelo Ferreira***

*Pós Doutor em Engenharia Industrial pela Ryerson University de Toronto-Canada (2018). Doutor em Educação pela Universidade Nove de Julho - SP (2012); Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) Graduado em Administração pelo Middlesex County College – New Jersey-EUA (1992). Graduado em Pedagogia pela Faculdade Pitágoras - Campus Londrina (2012). Professor titular da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenador da Pesquisa sobre Aplicação da Learning and Forgetting Curve no Planejamento de Produção e Monitoramento de Custos Industrial. Avaliador Institucional Externo do SINAES. Membro do Conselho de Graduação e Educação da UTFPR; Membro da Câmara Técnica de Mecânica da UTFPR; Membro do Colegiado de Curso de Engenharia de Produção da UTFPR - Campus Londrina. Membro do Programa de Iniciação. E.mail: joseaferreira@utfpr.edu.br*

## ***Bruno Goulart Sato***

*Graduando em Engenharia de Produção na UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina. Membro do Grupo de Pesquisa na área de Curvas de Aprendizado e Esquecimento para Programação de Produção. E-mail: brunogoulartsato@alunos.utfpr.edu.br*

## ***Bruno Pontes Fuentes***

*Graduando de Engenharia Mecânica pela UTFPR- Universidade Tecnológica Federal do Campus Londrina. Membro do Grupo de Pesquisa na área de Curvas de Aprendizado e Esquecimento para Programação de Produção, e Utilização de Termovisor na Manutenção Preditiva de Equipamentos e Sistemas. E-mail: brunofuentes@alunos.utfpr.edu.br*

**Resumo:** As curvas de esquecimento que modelam esquecimento de um trabalhador, tem se mostrado, quando utilizadas em complemento as curvas de aprendizagem, uma ferramenta importante para a programação da produção, por permitirem a predição de entrega dos lotes de fabricação, ao computarem a perda de aprendizagem de um

trabalhador, provocadas pelas interrupções no processo de fabricação. Este artigo apresentou uma revisão da literatura dos principais modelos de Curva de Esquecimento e suas aplicações, visando trazer contribuições gerenciais relevantes para o Planejamento e Controle da Produção, por possibilitar uma melhor utilização da capacidade produtiva ao compreender os impactos provocados pelo esquecimento na produtividade do trabalhador.

**Palavras-chave:** Curva do Esquecimento. Curva de Aprendizagem. Programação da Produção.

**Abstract:** The forgetting curves that model a worker's forgetfulness have been shown, when used in addition to the learning curves, to be an important tool for production scheduling, as they allow the prediction of delivery of manufacturing batches, when computing the learning loss. of a worker, caused by interruptions in the manufacturing process. This article presented a literature review of the main Forgetting Curve models and their applications, aiming to bring relevant managerial contributions to Production Planning and Control, by enabling a better use of productive capacity by understanding the impacts caused by forgetting on worker productivity.

**Keywords:** Forgetting Curve. Learning Curve. Planning Curve

## INTRODUÇÃO

As primeiras investigações de aprendizagem se concentraram no comportamento de sujeitos individuais. Essas investigações revelaram que o tempo necessário para realizar uma tarefa diminuiu a uma taxa decrescente à medida que a experiência com a tarefa aumentou (Thorndike, 1898; Thurstone, 1919). Tal comportamento foi registrado experimentalmente, com seus dados ajustados a uma equação que descrevia adequadamente a linha de tendência e os pontos dispersos ao seu redor. A primeira tentativa de formular relações entre variáveis de aprendizagem de forma quantitativa foi feita por Wright (1936), e resultou na teoria da “curva de aprendizagem”.

Coube ao Engenheiro Americano Theodore Wright (1936), documentar o fenômeno da aprendizagem no processo produtivo, observando, que o tempo unitário da fabricação de um avião diminuía a uma taxa constante, cada vez que a produção dobrava, afetando diretamente o custo do produto (WRIGHT, 1936).

As diversas teorias acerca da curva de aprendizado, originadas a partir do Modelo de Wright (1936), apresentaram resultados significativos para a compreensão do fenômeno da aprendizagem humana, consequência da repetição de uma atividade e seus impactos no processo produtivo, contudo, não examinam o fenômeno do esquecimento, que da mesma maneira que a aprendizagem aumenta com a repetição de uma tarefa, o fenômeno do esquecimento ocorre com a interrupção da tarefa de forma voluntária ou

não, como férias, turnover, *setup*, entre outra e que aumenta em função desta ruptura da atividade produtiva (JABER, 2006)

Observando-se o um aumento significativo nas publicações sobre o fenômeno do esquecimento, este estudo visa a apresentar modelos mais expressivos das principais literaturas sobre a Curva do Esquecimento, tendo como eixos a fundamentação teórica a formulação dos modelos e a aplicação no ambiente industrial proposta pelos pesquisadores. Para tanto foram analisadas publicações referentes a curvas de aprendizado nas bases de dados *Science Direct*, *Scielo*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Academics*, sendo utilizadas na pesquisa palavras-chave como “*forgetting curves*”, “*total forgetting*” “*learning and forgetting curve*” e “*forgetting effects*”.

## 2. PRINCIPAIS MODELOS DAS CURVAS DE ESQUECIMENTO

Em contraposição as inúmeras pesquisas sobre Curvas de Aprendizagem, pesquisadores vêm trabalhando na modelagem do processo de esquecimento de forma matemática, experimental e empírica, faz-se importante então, que as características dos processos do esquecimento sejam revisadas. Neste estudo, foram organizados os principais modelos de esquecimento, visando estabelecer uma base concisa acerca dessa área de estudo. Tais modelos são listados abaixo:

- Modelo de Carlson, J. G e Rowe;
- Modelo Exponencial;
- Modelo de Forma S;
- Modelo VRIF;
- Modelo LFCM;
- Modelo LFRCM.

### 2.1 Modelo de Carlson, J.G e Rowe

Um dos modelos mais antigos desenvolvidos para projetar o tempo da enésima peça produzida depois de uma interrupção. Carlson, J.G e Rowe (1976) desenvolveram um modelo de aprendizagem-esquecimento em que o modelo de esquecimento é modelado por uma curva semelhante a de aprendizado, sua curva de esquecimento também é assumida como sendo uma função exponencial.

$$T_x = T_1 X^f \quad (1)$$

Onde:

$T_x$  = Tempo necessário para produzir a peça número  $x$  depois da interrupção;  $T_1$  = Tempo medido da primeira peça produzida após a interrupção;  $X$  = Tempo acumulado para produzir até a peça  $x$  sem interrupção;  $f$  = coeficiente de esquecimento que varia entre 0 e 1.

Carlson, J.G e Rowe (1976) afirma que o aumento do tempo da primeira unidade no próximo ciclo depende da duração da interrupção. Carlson, J.G e Rowe (1976), que sugeriram em seus estudos, que algum esquecimento é sempre esperado, porém o esquecimento total não ocorre em breves períodos de interrupção, E que a quantidade esquecida durante um período de interrupção é decorrente da quantidade aprendida e do comprimento da interrupção.

## 2.2 Modelo exponencial

Globerson (1986) citou alguns exemplos de interrupção, como a manutenção preventiva que parava a produção e o tempo que o operador termina seu turno até a retomada no dia seguinte. O modelo desenvolvido foi:

$$F(X, t) = T_1 - [T_1 - X]e^{-at} \quad (2)$$

Onde:

$F(X, t)$  = tempo de desempenho da primeira repetição após uma interrupção;  $t$  = tempo da interrupção;  $X$  = tempo de desempenho do próximo ciclo caso a interrupção não ocorra;  $a$  = coeficiente de esquecimento;  $T_1$  = tempo utilizado para produzir o primeiro produto.

Segundo Towill (1985) o fator  $a$  recebe valores entre 0 e 100 por cento, quando 0 significa que não há esquecimento e 100 significa esquecimento total. Simulando a equação (2) obtem-se:

Figura 1 - Modelo Exponencial

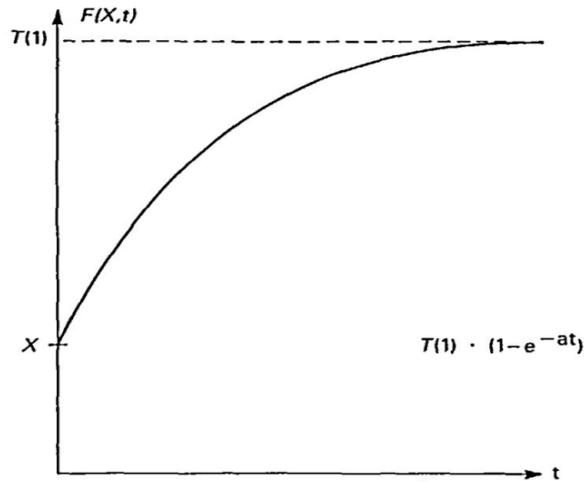


Figura 1: Adaptado de Globerson (1986)

Globerson (1986) concluiu, entretanto, que o modelo é falho quando há um curto período de interrupção, e que se fazia necessário adaptar o modelo para que satisfizesse curtas interrupções. Este modelo foi nomeado como Modelo de Forma S.

### 2.3 Modelo de forma S

Este modelo foi desenvolvido com base no modelo Exponencial para uma melhor representação quando há um curto período de interrupção.

$$F(X, t) = T_1 - [T_1 - X](at + 1)e^{-at} \quad (3)$$

Onde:

$F(X, t)$  = tempo de desempenho da primeira repetição após uma interrupção;  $t$  = tempo da interrupção;  $X$  = tempo de desempenho do próximo ciclo caso a interrupção não ocorra;  $a$  = coeficiente de esquecimento;  $T_1$  = tempo utilizado para produzir o primeiro produto.

Quando é feita uma simulação da equação (3) é gerado um gráfico do tempo utilizado para produzir o primeiro produto após a interrupção pelo tempo de interrupção, apresentado na figura (2) a seguir.

Figura 2 – Modelo em Forma S

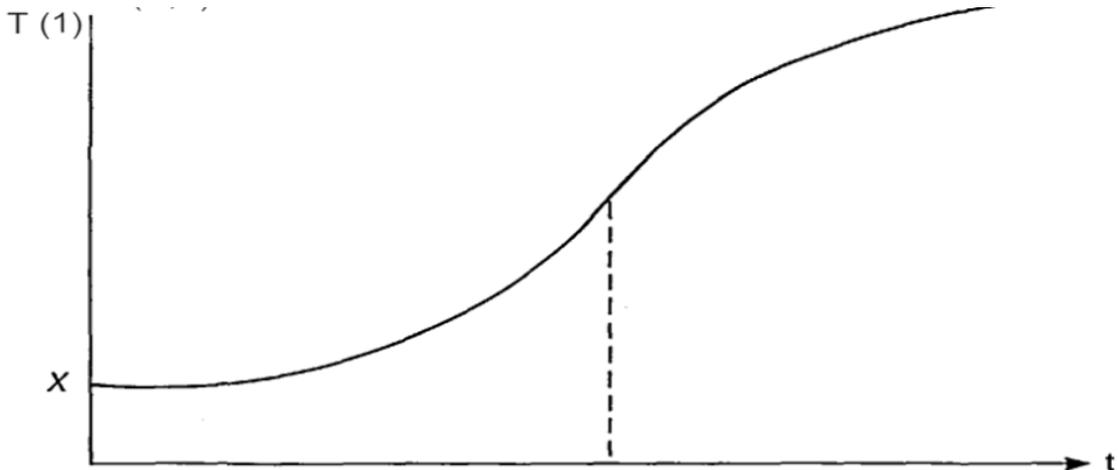


Figura 2 – Adaptado de Globerson (1986)

Globerson (1986) concluiu com estudos empíricos que pesquisas futuras devem se concentrar em duas direções: quantificação das variáveis de esquecimento e investigação de possíveis valores dos parâmetros nos modelos. A investigação dos modelos de esquecimento só pode ser alcançada se a empresa tiver os bancos de dados adequados.

#### 2.4 Modelo VRIF

O modelo VRIF desenvolvido por Elmaghraby (1990) atribui que existe uma função única de esquecimento com um único ponto de interceptação com a de aprendizado. A equação (4) que satisfaz sua teoria é:

$$T_x = T_1 q_i^{-(l+f)} \quad (4)$$

Onde:

$T_x$  = tempo necessário para produzir a  $x$  peça após a interrupção;

$T_1$  = tempo necessário para produzir a primeira peça;

$q_i$  = experiência transferida do ciclo  $i$ ;

$l$  = inclinação de esquecimento;

$f$  = *slope* de esquecimento que varia entre -1 e 0.

Segundo Elmaghraby (1990)  $T_1$  e  $f$  são considerados constantes para o ciclo de produção  $i$ , o modelo VRIF é o mais consistente com a racionalização prévia do ciclo *Learning and Forgetting*.

## 2.5 Modelo LFCM

O modelo LFCM desenvolvido por Jaber e Bonney (1997) calcula o valor do *slope* de esquecimento baseado em três fatores: o número de unidades produzidas até o ponto de interrupção, o mínimo intervalo ao qual o operário assume o esquecimento total e o *slope* de aprendizado. O modelo LFCM é expresso na equação (5) a seguir:

$$f_i = \frac{l(1-l)\log q_i}{\log(C_i + 1)} \quad (5)$$

Onde:

$f_i$  = *slope* esquecimento;  $l$  = *slope* de esquecimento;  $q_i$  = experiência transferida do ciclo  $i$ ;  $C_i$  = tempo mínimo para esquecimento total.

O  $C_i$  é cálculo através da equação 6 expresso a seguir:

$$C_i = t_b \left[ \frac{T_1}{1-l} q_i^{1-l} \right]^{-1} \quad (6)$$

Com a equação (6) é possível calcular o tempo para esquecer  $q_1$  variando  $f_i$  em cada ciclo (JABER e BONNEY 1997) através da equação (7):

$$T_{1i} = T_1 q_1^{-(l+f_i)} \quad (7)$$

Como conclusão, Jaber e Bonney (1997) definiram que o modelo LFCM produzem resultados mais consistentes em comparação aos resultados do modelo de Globerson (1986).

## 2.6 Modelo LFRCM

Ferreira et al. (2021) criaram o modelo LFRCM com o intuito de estimar os processos iniciais de aprendizagem, os dados de esquecimento e a estimativa de reaprendizagem após as pausas.

Para calcular a aprendizagem, são utilizados os dados de performance antes de um período de férias para realização de uma regressão linear por meio da seguinte equação:

$$y = ax + b \quad (8)$$

Onde:

a = coeficiente angular;

b = coeficiente linear;

Já para calcular o esquecimento em cada quantidade de dias, este método utiliza-se do algoritmo desenvolvido por Lindeke (2010), o qual é equacionado a seguir:

$$F = 1 - \frac{Y_{c,n+1} - Y_{c,n}}{Y_{f,n} - Y_{c,n}} = \frac{Y_{f,n} - Y_{c,n+1}}{Y_{f,n} - Y_{c,n}} \quad (9)$$

Onde:

$Y_{c,n+1}$  é o primeiro tempo após a parada  $n$ ,  $Y_{c,n}$  é o primeiro tempo antes da parada  $n$ ,  $F$  é o esquecimento e  $Y_n$  é o último tempo anterior à parada.

Com o conjunto de dados do esquecimento, encontra-se os coeficientes do modelo de regressão para o cálculo do esquecimento por meio da seguinte equação:

$$F(d) = a\sqrt{\ln(d)} + b \quad (10)$$

Onde:

d = número de dias parados;

a e b = coeficientes do modelo.

Por fim, utilizando o mesmo coeficiente angular das retas de regressão e a performance estimada, calcula-se os coeficientes lineares dos ajustes para as estimativas pós interrupção no processo.

## CONCLUSÃO

O fenômeno do esquecimento é o fenômeno inverso da aprendizagem, onde esquecer não significa a negativa da aprendizagem e sim, é uma consequência provocada por interrupções. Globerson (1987), sugere que uma das teorias que explicam o esquecimento é a teoria do desuso e que ocorre quando uma informação não é utilizada, concluindo também em seus estudos, que o esquecimento é proporcional ao intervalo de interrupção do uso desta informação.

As curvas de esquecimento que modelam esquecimento de um trabalhador, tem se mostrado, quando utilizadas em complemento as curvas de aprendizagem, uma ferramenta importante para a programação da produção, por permitirem a predição de entrega dos lotes de fabricação, ao computarem a perda de aprendizagem de um trabalhador, provocadas pelas interrupções no processo de fabricação.

Este artigo apresentou uma revisão da literatura dos principais modelos de Curva de Esquecimento e suas aplicações, visando trazer contribuições gerenciais relevantes para o Planejamento e Controle da Produção, por possibilitar uma melhor utilização da capacidade produtiva ao compreender os impactos provocados pelo esquecimento na produtividade do trabalhador.

Vale salientar, que a revisão trazida por este estudo, tem como objetivo o de instigar, futuras pesquisas sobre o esquecimento e a relevância dos seus impactos em outros processos organizacionais, tais como custos, preços, agrupamentos de forças de trabalho e estratégias empresariais.

## REFERÊNCIAS

- ARGOTE, L., BECKMAN, S.L., AND EPPLE, D. **The persistence and transfer of learning in industrial settings**. *Manage. Sci.*, 36, 140–154, 1990.
- ARGOTE, L. AND EPPLE, D., **Learning curves in manufacturing**, *Science*, 247, 920–924, 1990.
- ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. **Learning Curve Modelling of Work Assignment in Mass Customized Assembly Lines**. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 13, 1 July 2007, 2919–2938.
- BADIRU; ADEDEJI B. **Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models**. *EEE Transactions On Engineering Management*, Vol. 39, No.2, May 1992.
- CARLSON, J. G. AND ROWE, R. G. **“How much does forgetting cost?”** *Industrial Engineering* 8: 40 – 47, 1976.
- ELMAGHRABY, S. E. **Economic manufacturing quantities under conditions of learning and forgetting (EMQ/LaF)**. *Prod. Planning Control*, 1990, 1, 196-208.
- FERREIRA, J. Â.; VALMORBIDA, E. L.; OZÓRIO, A. K.; KRELING, J. P. D. **O Impacto do Esquecimento nos Coeficientes de Reaprendizagem dos Operadores Provocado pelas Interrupções na Produção**. In: ENENPRO, Sessão Temática: Gestão da Produção, 4, 2021, Anais: Resumo Expandido. Londrina: 2021. Link.

FERREIRA, J. Â.; KRELING, J. P. D.; OZÓRIO, A. K. **Learning and forgetting curve theories, applied to production planning and programming**. Brazilian. Journal of development, Curitiba, v. 6, n.12, p.94914-94928 dec. 2020.

GLOBERSON, S. "**Incorporating Forgetting into Learning Curves**". International Journal of Operations & Production Management, Vol. 7 Issue: 4, pp.80-94, 1987.

HOFFMAN, T.R. **Effect of prior experience on learning curve parameters**, J. Ind. Eng., 19, 412-413, 1968.

JABER, MOHAMAD Y. "**Learning and Forgetting Models and Their Applications**". Handbook of Industrial and Systems Engineering. Edited By Adedeji B. Badiru (2006).

JABER AND BONNEY. "**A comparative study of learning curves with forgetting**". Appl. Math. Modelling, Vol 21, pp 523-521, 1997.

THORNDIKE, E.L. **Animal intelligence: an experimental study of the associative process in animals**, Psychol Rev.: Monogr. Suppl., 2, 1-109, 1898.

THURSTONE, L.L. **The learning curve equation**. Psychol. Monogr., 26, 1-51, 1919.

TOWILL, D.R. "**The Use of Learning Curve Models for Prediction of Batch Production Performance**". International Journal of Operations & Production Management, Vol. 5 No. 2, 1985.

WRIGHT, T. P. **Factors Affecting the Cost of Airplanes**. Journal of Aeronautical Science. February, 1936.

YELLE, L.E. "**The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey**". Decision Sciences, Vol. 10 No. 2, April 1979.

Capítulo 6  
FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO  
TOKAMAK: MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA  
Filipe Wiltgen



# FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO TOKAMAK: MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA

**Prof. Dr. Filipe Wiltgen**

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

*Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA – São José dos Campos). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté, e também, Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (IFSP – Campinas) desde 2022 nos cursos de Eletrônica e Eletricidade, além de Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC – Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. Currículo Lattes CNPq ([buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4](http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4)). Base de Documentos ResearchGate ([www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen](http://www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen)). Google Acadêmico ([scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao](http://scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao)). Currículo FAPESP ([bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa](http://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa)). [ProfWiltgen@gmail.com](mailto:ProfWiltgen@gmail.com)*

## RESUMO

Faz parte do desenvolvimento humano encontrar uma forma sustentável de prover energia suficiente para manter o atual ritmo de crescimento e desenvolvimento da espécie. A espécie humana está intrinsecamente ligada à utilização da energia elétrica. É fato de que o humano depende da energia elétrica para executar grande parte das tarefas rotineiras, obter conforto alimentar, desde o armazenamento refrigerado, as inúmeras formas de cozimento de alimentos, na saúde com diagnósticos médicos obtidos por diversos equipamentos eletroeletrônicos, além do lazer e dos estudos. Há muitos anos vem sendo conduzidas pesquisas em física de plasmas para a obtenção de um tipo de reator a fusão nuclear. Entretanto, foram nos últimos 10 anos que as pesquisas alcançaram o amadurecimento necessários da engenharia. O provimento de novos materiais semicondutores, e técnicas de fabricação como a manufatura aditiva, tem ajudado na rápida evolução alcançada pelos diversos laboratórios no mundo, tanto na construção, quanto nos testes experimentais de novas máquinas do tipo Tokamak, e suas

diversas geometrias. Atualmente, a fusão termonuclear controlada aguarda para obter o “ponto de ignição” que é o momento em que um experimento de fusão nuclear passa a ser um reator nuclear, ou seja, produz mais energia do que consome. Isso é amplamente esperado em 2025 com o funcionamento de uma máquina do tipo Tokamak de enormes proporções, em um dos maiores consórcios multinacionais científicos realizados. Essa máquina se chama ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor* - [www.iter.org](http://www.iter.org)) e vem sendo construída na França. A engenharia do ITER envolve as mais avançadas e desafiadoras soluções em engenharia utilizadas no mundo. A tarefa do ITER é conseguir confinar o plasma em temperaturas da ordem de 150 milhões de graus celsius por um tempo pequeno, mas suficiente para que permita ocorrer as reações de fusão nuclear, e assim, a produção de energia elétrica. No decorrer deste artigo, serão apresentados os avanços obtidos com máquinas do tipo Tokamak no mundo e o apoio constante na evolução da engenharia moderna em todo esse caminho tecnológico que poderá ainda nesse século permitir à humanidade dispor de uma quantidade de energia jamais imaginada.

**Palavras-chave:** Energia Nuclear, Fusão Nuclear, Fusão Termonuclear Controlada, Tokamak, Energia Elétrica.

#### **ABSTRACT**

It is part of human development to find a sustainable way to provide enough energy to maintain the current rate of growth and development of species. The human species is intrinsically linked to use of electrical energy. It is a fact that humans depend on electrical energy to perform most routine tasks, obtain food comfort, from refrigerated storage, numerous ways of cooking food, in health with medical diagnoses obtained by various electrical and electronic equipment, in addition to leisure and of studies. Research in plasma physics has been carried out for many years to obtain a type of nuclear fusion reactor. However, it was in the last 10 years that research reached the necessary maturity in engineering. The provision of new semiconductor materials, and manufacturing techniques such as additive manufacturing, has helped in the rapid evolution achieved by various laboratories around the world, both in construction and in experimental tests of new Tokamak type machines, and their various geometries. Currently, controlled thermonuclear fusion waits to obtain the “ignition point” which is moment when a nuclear fusion experiment becomes a nuclear reactor, that is, it produces more energy than it consumes. This is widely expected in 2025 with the operation of a Tokamak type machine of enormous proportions, in one of largest multinational scientific consortia ever undertaken. This machine is called ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor* - [www.iter.org](http://www.iter.org)) and is being built in France. ITER engineering involves the most advanced and challenging engineering solutions used in the world. The task of ITER is to confine the plasma to temperatures of the order of 100 million degrees Celsius for a short time, but sufficient to allow nuclear fusion reactions to occur, and thus, production of electrical energy. In the course of this paper, advances obtained with Tokamak type machines in the world will be presented and constant support in evolution of modern engineering throughout this technological path that may still allow humanity to have an amount of energy never imagined in this century.

**Keywords:** Nuclear Energy, Nuclear Fusion, Controlled Thermonuclear Fusion, Tokamak, Electric Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

A história da humanidade com a fusão nuclear teve início em uma época muito conturbada pelos desdobramentos da Segunda Guerra Mundial. O medo de que a Alemanha Nazista pudesse dominar grande parte do planeta, despertou a ânsia dos governos em encontrar uma solução definitiva para a questão. A solução definitiva seria encontrar um tipo de artefato bélico capaz de por fim na guerra. Diversos foram os pesquisadores envolvidos na tarefa de encontrar uma forma na ciência de algo que pudesse ser devastador, e isso foi realizado tanto pelos Aliados (Reino Unido, França, União Soviética e Estados Unidos), quanto pelo Eixo (Alemanha, Itália e Japão).

A solução encontrada foi a energia nuclear. Tornar possível uma arma nova e capaz de desencadear uma quantidade enorme de energia instantaneamente. As primeiras propostas foram no sentido de quebrar um átomo pesado realizando a fissão nuclear, obtendo segundo Prof. Leó Szilárd o que ficou conhecido como reação nuclear em cadeia. A reação em cadeia uma vez iniciada poderia sequencialmente progredir em uma escala de energia jamais vista ou imaginada. Isso deu origem as Bombas Atômicas pelo Projeto Manhattan nos Laboratórios de Los Alamos nos EUA em 1940.

Diversos estudos sobre a energia nuclear surgiram a partir desta época, dentre estes estudos um campo novo de confinamento de plasma para a fusão nuclear se mostrava interessante. Pesquisadores da União Soviética que desenvolveram as bombas atômicas do período da Guerra Fria entre EUA e URSS, resolveram conduzir uma pesquisa experimental em um dispositivo novo capaz de confinar com campos magnéticos o estado físico do plasma de forma eficiente, e assim, permitir obter a fusão nuclear na década de 1950. Esta máquina foi chamada de Tokamak (T-1). Os pesquisadores soviéticos construíram o Tokamak (*Toroidalnaya Kamera Magnitnaya Katushka* – Câmara Toroidal com Bobinas Magnéticas) pela primeira vez em 1958, pelo Prof. Natan Yavlinsky a partir dos estudos dos físicos Prof. Igor Tamm e Prof. Andrei Sakharov inspirados pelos estudos do “pai da bomba atômica soviética” o Prof. Oleg Lavrentiev.

A máquina Tokamak T-1 abriu caminho para uma das mais longas e maiores pesquisas científicas do pós-guerra, a tentativa de obter a fusão nuclear controlada, ou Fusão Termonuclear Controlada (SMIRNOV, 2010; EL-GUEBALY, 2009; EL-GUEBALY, 2010). Uma reação completamente diferente do que ocorre em uma bomba de hidrogênio (Bomba H) no qual uma reação de fissão nuclear (utilizada como espoleta da arma) dá início a uma reação de fusão nuclear descontrolada. A bomba H foi construída depois das

utilização das bombas atômicas logo após a Segunda Guerra Mundial durante o período da Guerra Fria.

A reação de fusão nuclear é capaz de gerar uma quantidade de energia centenas de vezes maior do que uma reação de fissão nuclear, ou seja, sob o aspecto de eficiência a reação de fusão nuclear é muito mais eficiente do que a reação de fissão nuclear na quantidade de energia térmica liberada. A união de átomos leves é uma proeza da natureza, isso porque é preciso vencer a barreira eletrostática de Coulumb, a qual impede um átomo de se fundir com outro naturalmente, sem a presença de enormes quantidades de energia térmica e gravitacional como ocorre no Universo. Este é o principal motivo do estudo da fusão nuclear, conseguir com pouco combustível formado por átomos leves (isótopos do hidrogênio) produzir uma quantidade enorme de energia, tal como fazem as estrelas no Cosmos (CLARKE e CAI, 2012; BOYLE, 1968; MCCRACKEN, 2012; MURRAY, 1993; KIKUCHI *et al.*, 2012).

As estrelas são na verdade reatores a fusão nuclear naturais. Entretanto, as pesquisas de fusão nuclear não tem nenhuma similaridade com as fantasiosas notícias da mídia referente a construção de estrelas artificiais, isso além de ser inviável, é completamente descabido. Uma máquina de fusão nuclear na Terra não é auto-sustentável, precisa de combustíveis a cada novo funcionamento, e diferente de uma estrela natural, sua condição de operação necessita de energia elétrica para confinar magneticamente o plasma dentro do dispositivo (WILTGEN, 2022A; WILTGEN, 2022B).

É a intrincada forma de confinar o plasma dentro desta máquina que a faz ser tão desafiadora. A engenharia durante estes últimos 70 anos tem evoluído e permitido aos pesquisadores de fusão nuclear construir máquinas do tipo Tokamak maiores e melhores na forma de confinar o plasma. Novos materiais capazes de conduzir maiores correntes elétrica nas (bobinas magnéticas, assim como, suportar as temperaturas extremamente altas das vizinhanças da coluna de plasma, permitem elaborar formas de limpar os resíduos deixados das reações de fusão nuclear no interior dos Tokamaks Grandes (Divertores). Sistemas de controle modernos são necessários para permitir o controle em tempo real do disparo do Tokamak a fim de evitar que o plasma fique instável durante a evolução da corrente de plasma que conduz as reações de fusão nucleares (WILTGEN, 2018). Além dos diversos novos materiais necessários em ligas de metais para compor a estrutura de suporte e a blindagem criostática nos Tokamaks que se destinam aos experimentos de fusão nuclear com combustíveis do tipo D-T (Deutério-Trítio).

A fusão termonuclear controlada em máquinas de confinamento magnético do tipo Tokamak começaram a ter condições práticas para realmente explorar a fusão nuclear a partir da década de 1970. Atualmente existem cerca de ~70 Tokamaks no mundo (IAEA, 2017; IAEA, 2020) entre máquinas em funcionamento (~55), em construção (5) e planejadas (14). Destas máquinas cerca de 69 Tokamaks estão no setor público (Institutos e Universidades) e apenas 5 Tokamaks no setor privado (IAEA, 2020; CANAL *et al.*, 2021; HAMACHER e BRADSHAW, 2001; HERMAN, 1990).

Com as inovações esperadas propiciadas com os resultados dos Tokamaks modernos em fase final de construção, é possível que outros Tokamaks sejam fabricados no setor privado, visando o conhecimento da fusão nuclear para a comercialização de futuros reatores a fusão nuclear do tipo Tokamak.

Este artigo tem como objetivo mostrar como um experimento de fusão nuclear vem se desenvolvendo junto com a engenharia para conseguir obter a fusão termonuclear controlada, desafiando as condições disponíveis na Terra que tornam essa uma tarefa difícil, mas muito promissora para o desenvolvimento humano. No decorrer do artigo, será possível observar e entender a importância da fusão nuclear e sua eficiência, como funcionará um reator a fusão nuclear do tipo Tokamak, quais os tipos de Tokamaks que existem e sua relação com o formato do plasma, características típicas de um Tokamak e seus campos magnéticos, comparação de escala das grandes máquinas existentes e o caminho a ser seguido até a obtenção do primeiro reator comercial a fusão nuclear no mundo. Assim compreendendo porquê o Tokamak é chamado de máquina de engenharia desafiadora.

## **2. REAÇÃO DE FUSÃO NUCLEAR E SUA EFICIÊNCIA**

Reações nucleares liberam enormes quantidades de energia quando se quebram ou quando se fundem. Sendo que o processo de fundir átomos (fusão) produz uma quantidade muito maior de energia do que quando se quebra um átomo (fissão). Além disso, a energia necessária para quebrar um átomo é significativamente menor e muito mais fácil de ser obtida do que a energia necessária para fundir átomos.

Na Terra o estado físico da matéria propício para fundir átomos através da fusão nuclear é o plasma (WILTGEN, 2022; BOYLE, 1968; CHEN, 1978; ELIEZER e ELIEZER, 1989; BOYD, 2003; BELLAN, 2008; BIEL, 2017). O plasma apesar de comum no Cosmos é algo raro na Terra. Para conseguir o estado físico do plasma é preciso elevar muito a

temperatura, e assim, o grau de agitação térmica das partículas até que possam se dissociar em íons e elétrons. Quando isso ocorre, o ambiente para obter a fusão nuclear é formado. Entretanto, existem algumas limitações de temperatura, tempo de confinamento e densidade que precisam ser obtidas no plasma para que as condições propícias para a fusão nuclear possam ocorrer (HAMACHER e BRADSHAW, 2001; CHEN, 1974; HERMAN, 1990; HORVATH e RACHLEW, 2016; KIKUCHI *et al.*, 2012; WILTGEN, 2021, WILTGEN, 2022B).

A temperatura do plasma necessária para a fusão nuclear é da ordem de milhões de graus celsius, muito maior do que a temperatura da superfície do Sol. Isso implica diretamente na engenharia necessária para manter este plasma longe de qualquer tipo de material existente na Terra. É por isso que se utiliza uma câmara de vácuo e bobinas magnéticas capazes de manter o plasma a essa enorme temperatura longe das paredes da câmara de vácuo, confinando-o em uma região central da máquina Tokamak no formato de um anel, que é chamado de coluna de plasma.

Na Figura 1 pode ser observada a reação de fusão nuclear com dois isótopos do hidrogênio (Deutério e Trítio), estes dois elementos são os mesmos utilizados na pesquisa de fusão termonuclear controlada via máquinas do tipo Tokamak. É possível notar que ao quebrar a barreira eletrostática de Coulomb enorme quantidade de energia é liberada na forma de calor, além de nêutrons de alta energia cinética e a composição, produto da fusão nuclear do Deutério (D) com o Trítio (T) que é o Hélio (He) (ARTISIMOVICH, 1972; CLARKE e CAI, 2012; CHEN, 1974; WILTGEN, 1998; MISHRA, 2020).

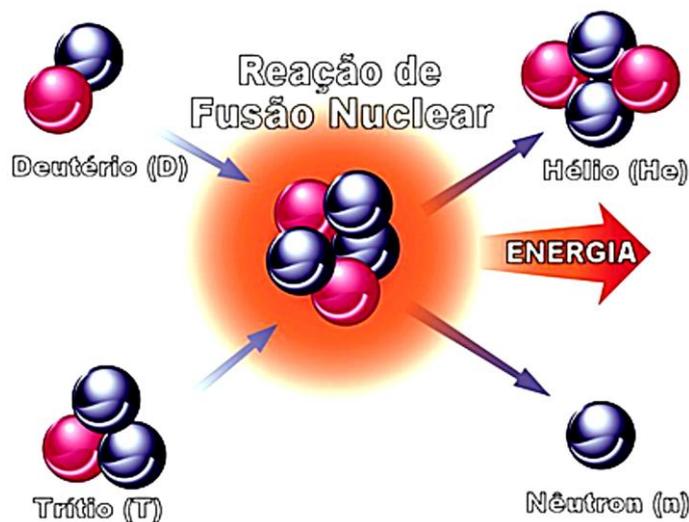


Figura 1. **Reação de fusão nuclear entre Deutério (D) e Trítio (T).**  
Fonte: Adaptado da revista Nature (2020).

O processo de fusão nuclear parte de elementos com pequeno número atômico e elevada energia de ligação, completamente diferente do processo de fissão nuclear que parte de elementos com grande número atômico e baixa energia de ligação, como pode ser visto na Figura 2. Nessa figura é possível observar que a fissão nuclear parte do Urânio 235 (U) até chegar em elementos de menor número atômico como o Bário 139 (Ba) e o Criptônio 94 (Kr). No sentido oposto é possível notar o caminho percorrido no processo de fusão nuclear, que parte de elementos de pequeno número atômico como o Hidrogênio (H) para a formação do Hélio (He) e do Lítio (Li) (WILTGEN, 2018).

Devido a isso, a quantidade de combustível de fusão nuclear é extremamente mais eficiente do que qualquer outro combustível utilizado para produzir energia elétrica. Sua proporção de combustível de fusão nuclear baseado em Deutério e Trítio é muito menor do que a proporção de Urânio necessária para produzir a mesma quantidade de energia elétrica. Se comparar as reações nucleares com outras formas convencionais de produzir eletricidade via combustíveis como o petróleo e o carvão é possível notar a proporção significativa da eficiência das reações nucleares.

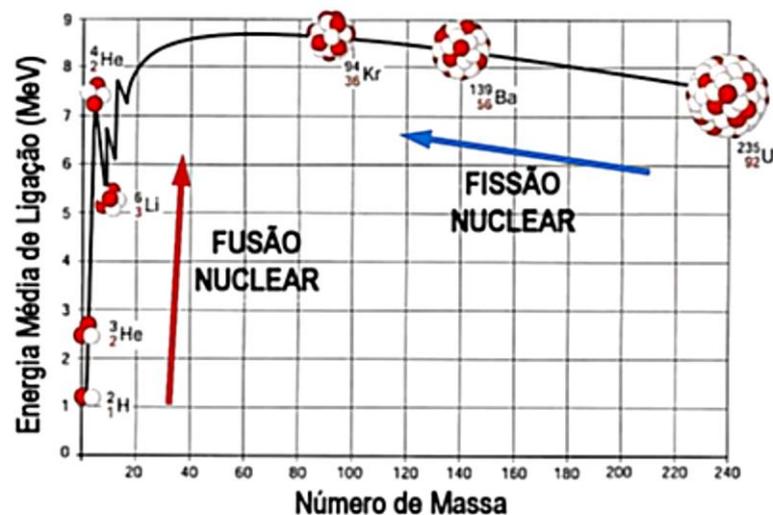


Figura 2. **Relação massa e energia para fusão e fissão nucleares.**  
 Fonte: Adaptado de Fusion Physics (2012).

Na Figura 3 pode ser vista uma comparação entre as reações nucleares de fusão e fissão, e a mesma quantidade de combustíveis de petróleo e de carvão necessárias para gerar ~1GW de energia elétrica, e perceber como há grande diferença na eficiência destes quatro processos apresentados (WILTGEN, 1998; LABERG, 2017; HAMACHER e BRADSHAW 2001).

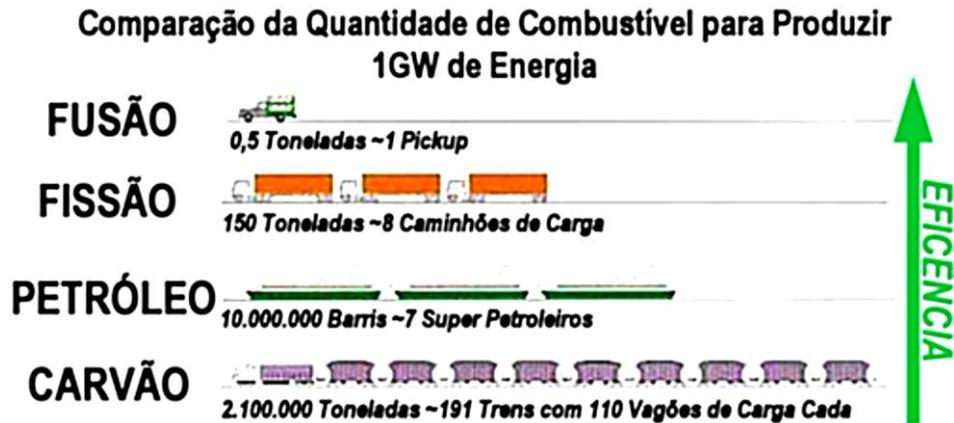


Figura 3. Comparativo das eficiências dos combustíveis utilizados para gerar 1GW de eletricidade.

Fonte: Wiltgen (2021).

Mesmo olhando apenas para a eficiência da fusão nuclear comparada a fissão nuclear na Figura 3, é possível perceber a enorme quantidade de combustível fissio necessário (~150t) para conseguir produzir ~1GW de energia elétrica e a fração de combustível de fusão de apenas meia tonelada (0,5t) capaz de produzir a mesma quantidade de energia elétrica (~1GW). Esta eficiência energética é a motivação principal para as pesquisas em fusão nuclear para produção de eletricidade. Fato de que o ser humano necessita de eletricidade em grande quantidade para ter conforto e se desenvolver, obter a fusão nuclear é sem dúvida uma oportunidade ímpar da ciência no provimento de energia para o futuro. A engenharia se reinventa a cada novo obstáculo que a física da fusão nuclear descobre no caminho para a fusão, é por isso que a engenharia utilizada em um Tokamak, esta sempre no estado da arte do desenvolvimento humano.

### 3. O FUNCIONAMENTO DE UM TOKAMAK COMO REATOR A FUSÃO NUCLEAR

Para obter um reator a fusão nuclear é necessário que a máquina possa produzir uma quantidade de energia maior do que a quantidade de energia utilizada no processo. Em Tokamaks isso é chamado de “ponto crítico de ignição”, ou seja, o limite que torna um experimento de fusão nuclear em um reator a fusão nuclear.

Como a energia necessária no processo de funcionamento de um Tokamak é muito grande, devido a necessidade de produzir elevados campos magnéticos de confinamento, em temperaturas de plasma muito elevadas para a obtenção de fusão nuclear, é possível então perceber que um Tokamak para funcionar como reator nuclear

irá precisar de uma quantidade enorme de energia produzida por fusão nuclear apenas para alcançar o ponto de ignição, e mais ainda para superar o limite do critério de Lawson e funcionar como um reator (LAWSON, 1957; COSTLEY, 2016; COSTLEY *et al.*, 2017).

O critério de Lawson é a barreira de ignição que relaciona a condição tríplice (Temperatura, Densidade e Tempo de Confinamento) e a temperatura alcançada no processo (WILTGEN, 2022B; HORVATH e RACHLEW, 2016; LAWSON, 1957).

Um Tokamak para operar como um reator a fusão nuclear precisa utilizar diversos dispositivos de segurança estruturais para que as reações de fusão nucleares fiquem contidas dentro da máquina (nêutrons energéticos) evitando desta forma, a contaminação com combustíveis nucleares (SAXENA, 2016).

A máquina Tokamak precisa de sistemas de troca de calor muito eficientes para remover o excesso de calor gerado pelo processo de fusão nuclear, que além de aquecer termicamente o revestimento de Lítio (Li), utilizado para a produção de Trítio, deve transferir a energia para outros circuitos trocadores de calor até chegar as turbinas convencionais a vapor que irão acionar os geradores de produção de eletricidade, e compor a matriz energética.

O resultado esperado de um reator a fusão nuclear é produzir muita eletricidade com pouco combustível nuclear e com eficiência superior a qualquer outra fonte de energia existente. Para tanto, o reator Tokamak deve através das reações de fusão nuclear aquecer um líquido refrigerante eficiente na troca de calor no interior dos trocadores, e suas serpentinas, a fim de que o calor possa ser conduzido por diversos estágios de trocadores de calor até que possa gerar vapor de água para o acionamento das turbinas convencionais acopladas aos geradores elétricos (WILTGEN, 2021).

Na Figura 5 pode ser visto um esquema simplificado apenas para entender os elementos mais críticos para a operação de um Tokamak como reator a fusão nuclear. Observe que a coluna de plasma neste esquema é do tipo grande razão de aspecto (secção circular) logo após a coluna de plasma é possível perceber a câmara de vácuo e os acessos dos combustíveis Deutério (D) e Trítio (T), em seguida a cobertura de Lítio (Li) para produzir Trítio (T) que é recolhido para a câmara de armazenamento junto com o Hélio (He) também produzido na reação. Além é claro do He (He) produzido na reação de fusão nuclear e extraído da câmara de vácuo. No cobertor de Lítio (Li) é possível ver a serpentina do trocador de calor primário que transfere o calor da reação de fusão nuclear para um trocador de calor secundário distante do reator a fusão nuclear, que aciona uma

turbina a vapor tradicional que fica conectada a um gerador elétrico que produz eletricidade para a rede de transmissão elétrica. Na figura ainda podem ser observadas a camada externa da blindagem de radiação e sobre esta blindagem as bobinas magnéticas toroidais. Muitos projetos de Tokamaks para funcionarem como reatores a fusão nuclear foram projetados com suas bobinas magnéticas no interior da blindagem criostática e de radiação (KIKUCHI, 2010; WILTGEN, 2021).

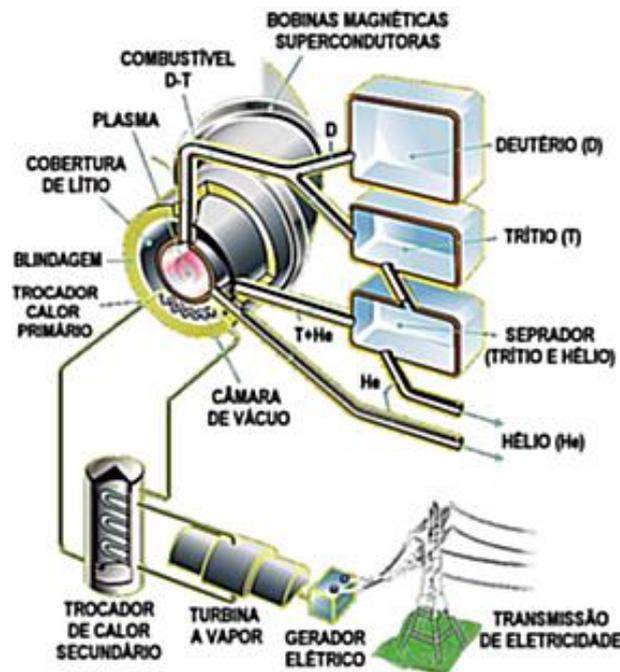


Figura 4. Funcionamento de um reator a fusão nuclear do tipo Tokamak.  
Fonte: Wiltgen (2021).

#### 4. TIPOS DE TOKAMAKS E OS FORMATOS DA COLUNA DE PLASMA

Uma máquina do tipo Tokamak pode ter basicamente de dois formatos geométricos que se caracterizam pela relação entre os raios menores ( $a$ ) e os raios maiores ( $R$ ) do toroide que forma a coluna de plasma chamado de Razão de Aspecto ( $A$ ). A razão de aspecto de um Tokamak influencia diretamente as linhas de campo magnético de confinamento do plasma devido ao formato geométrico da coluna de plasma. As pesquisas em Tokamaks evoluíram na configuração geométrica da coluna de plasma de Tokamaks convencionais para Tokamaks esféricos (COSTLEY, 2019; DEAN, 1998). Estudos mais recentes sobre fusão nuclear em Tokamaks indicam que o formato de pequena razão de aspecto propícia as configurações dos futuros reatores a fusão nuclear por confinamento magnético do plasma em Tokamaks (CONN, 1983, ONGENA *et al.*, 2016, SCHOOF e TODD, 2022; WAN, 2013).

Na Figura 5 é possível notar a diferença geométrica do formato das colunas de plasmas entre os Tokamaks do tipo convencional (larga razão de aspecto – toroide na forma de um pneu de bicicleta) dos Tokamaks do tipo esférico (pequena razão de aspecto – toroide na forma de um pneu de trator). Note que as linhas de campo magnético são completamente diferentes para cada tipo de coluna de plasma. Colunas de plasma em Tokamaks esféricos (pequena razão de aspecto) são mais estáveis, e por isso, podem obter um tempo maior de confinamento do plasma em cada disparo, o que a princípio permite uma maior interação entre átomos assegurando a condição necessária para que ocorra a fusão nuclear (WILTGEN, 1998; WILTGEN, 2001; WILTGEN, 2018, ARTISIMOVICH, 1972; FURTH, 1975; WESSON, 1987).



Figura 5. **Diferenças geométricas entre as colunas de plasmas e linhas de campo magnético em Tokamaks (Convencional e Esférico).**

Fonte: Adaptado de Tokamak Sphérique (2020).

A configuração de colunas de plasma esféricas possuem um formato na seção circular do tipo “D” isso permite a construção de máquinas mais compactas. Por um lado são mais complexas construtivamente o que impõem novos desafios a engenharia, por outro lado permite que grandes máquinas ocupem áreas menores. Dado aos dispositivos de aquecimento extra do plasma, além de sensores e sistemas de diagnóstico, injeção de combustível nuclear, produção de vácuo, entre outros, tudo isso é condicionado ao redor do Tokamak, então possuir uma máquina compacta permite o melhor aproveitamento da área ao redor do dispositivo (CANAL *et al.*, 2021; WILTGEN 2018).

Localmente existem muitos aparelhos ligados diretamente a estrutura da máquina, e outros dispostos remotamente. Existem todos os outros equipamentos de apoio necessários para a produção do plasma e o acionamento do Tokamak. Desde o fornecimento de energia elétrica para os circuitos de produção de campo magnético a sistemas de monitoramento, segurança e controle. Além dos sistemas de resfriamento e

aterramento das bobinas supercondutoras, e tudo o que for necessário para a condução do calor por sistemas trocadores de calor (WILTGEN, 2021).

Diversas são as necessidades de acionamentos pneumáticos e/ou hidráulicos de atuadores, robôs e manipuladores servo controlados, além de todos os barramentos e cabearios de energia e de dados (diagnósticos e controle) com fibras ópticas. Diversas são as especialidades em engenharia necessárias em uma máquina Tokamak.

Na Figura 6 é possível notar duas pessoas próximas ao Tokamak esférico de médio porte (NSTX-U), isso dificilmente ocorre de fato visto que as máquinas ficam envoltas por muitos equipamentos e quase nunca permitindo um acesso tão próximo ao dispositivo. Na figura é possível observar a fotografia de uma coluna de plasma no interior da câmara de vácuo do Tokamak esférico MAST (SYKES *et al.*, 2001; LUDWIG *et al.*, 2003). No detalhe é possível notar a composição dos campos magnéticos formando o campo magnético total helicoidal (na cor verde) responsável pelo confinamento do plasma.

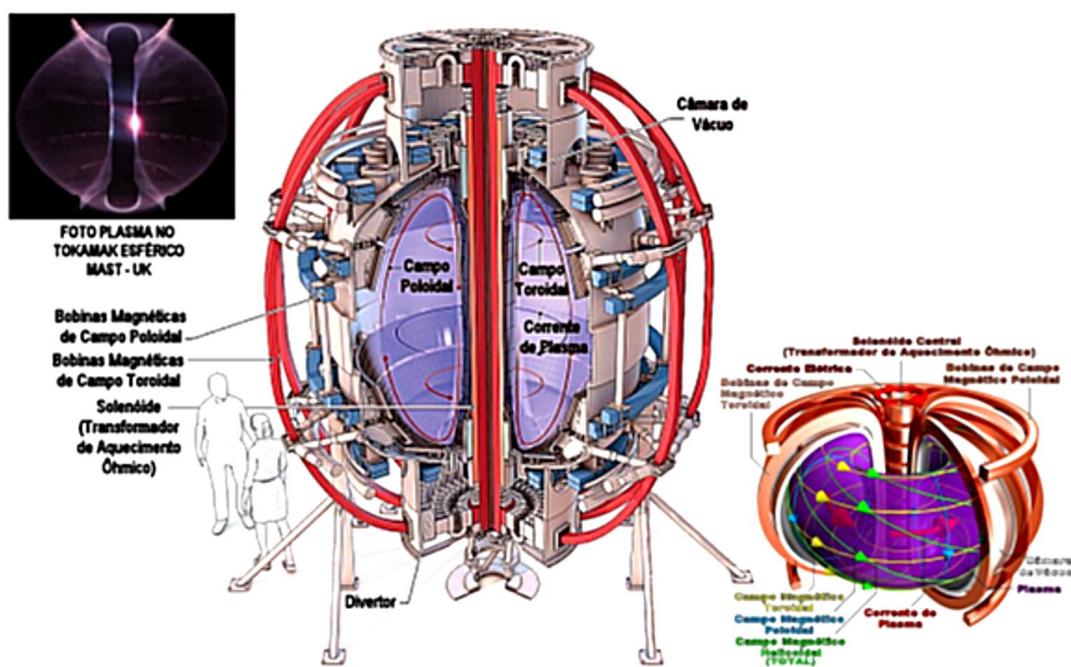


Figura 6. Características típicas de uma máquina do tipo Tokamak Esférico Compacto.

Fonte: Adaptado de Science Magazine (2020).

Diversas são as máquinas do tipo Tokamak de pequeno e médio porte que foram desenvolvidas no mundo, principalmente em institutos de pesquisas e universidades. Suas superações na engenharia e na física permitiram seguir no caminho atual dos desenvolvimentos de máquinas de grande porte capazes de explorar significativamente os segredos da fusão nuclear na Terra.

## 5. O CAMINHO DA FUSÃO NUCLEAR EM MÁQUINAS TOKAMAKS NO MUNDO

O caminho para a fusão nuclear em máquinas do tipo Tokamak teve início com a construção do Tokamak JET (*Joint European Torus* - 1984). O experimento com combustível D-T no JET foi um sucesso e em 1997, possibilitando explorar novas configurações as quais poderiam conduzir a novos resultados para encurtar o caminho para a fusão (BUTTERY *et al.*, 2021; MAISONNIER, *et al.*, 2005). Outra máquina de grande porte que deve permitir avanços na fusão é o Tokamak do Japão o JT-60SA (2020), uma versão atualizada do JT-60U (1985) que mudou de grande razão de aspecto para pequena razão de aspecto a fim de auxiliar nas pesquisas futuras do Tokamak ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) (LACKNER, 2008).

O ITER (2025) deve ser o primeiro reator a fusão nuclear do mundo, está em construção na cidade de *Saint-Paul-lès-Durance* no Centro de Pesquisas *Cadarache* na França (LACKNER, 2008). Esta máquina será o maior Tokamak a ser construído, seus impressionantes parâmetros construtivos mostram sua complexidade e tamanho (~40m de diâmetro, ~850m<sup>3</sup> de volume, ~50m de altura, ~23.000t de peso, ~20MA de corrente de plasma, 500MWth de energia térmica de fusão nuclear e temperatura 10 vezes maior que o núcleo do Sol ~150 milhões °C ∴ M=106).

A escala impressionante destes grandes Tokamaks podem ser observadas na Figura 7. Nessa figura tem-se os três maiores Tokamaks do mundo comparados a um ser humano e a torre Eiffel em Paris na França. Note que apesar do tamanho do ITER, quando comparado ao tamanho da torre *Eiffel* é até discreto, mas note a densidade de massa de ~23.000t do ITER e o peso de ~10.000t da torre *Eiffel*. Além disso, note o tamanho de um ser humano com 1,80m de altura quando comparado a cada uma das máquinas Tokamaks.

Em uma central nuclear a fusão, utilizando como reator um Tokamak esférico, terá como mostra a Figura 8, duas partes distintas de engenharia. Uma engenharia convencional, similar as soluções de geração de energia elétrica adotadas nas centrais nucleares a fissão, e uma outra engenharia moderna, ou engenharia de fusão nuclear, no qual o centro do desenvolvimento está na máquina tipo Tokamak, e em todos os demais subsistemas importantes e necessários para o funcionamento do reator (WILTGEN, 2021; WILTGEN, 1998; WARRICK, 2012; CONN, 1983).

**MAIORES TOKAMAKS DO MUNDO**

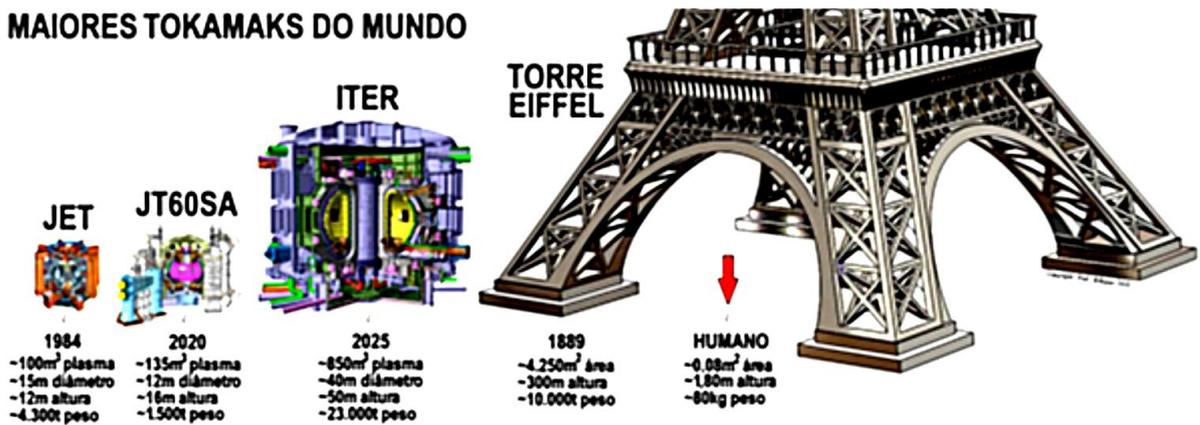


Figura 7. Escala comparativa entre as maiores máquinas do tipo Tokamak (JET, JT60SA e ITER) e a Torre Eiffel em Paris na França.

Fonte: Próprio Autor (2020).

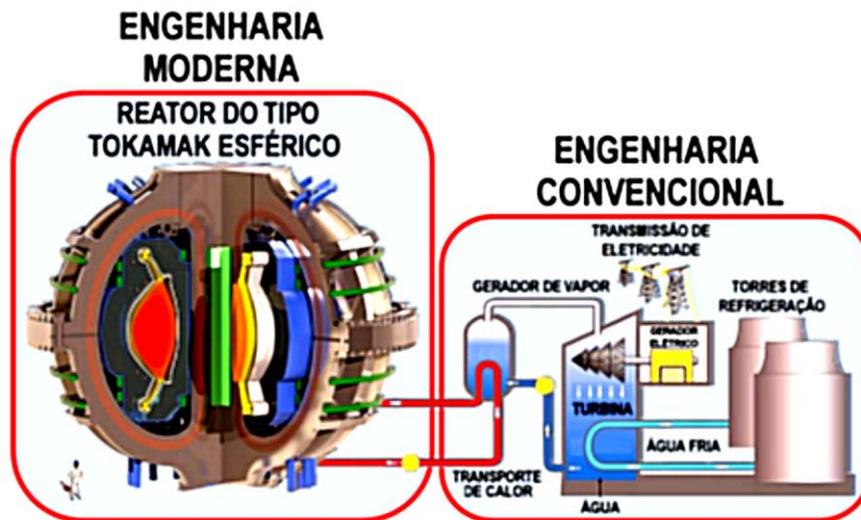


Figura 8. União da engenharia moderna de fusão nuclear com a engenharia convencional de geração de eletricidade com vapor.

Fonte: Adaptado de P. Dunn em Plasma Science and Fusion Center (2018).

Na Figura 9 podem ser observadas as maiores máquinas do tipo Tokamak desenvolvidas para a pesquisa no caminho para obter fusão termonuclear controlada, mostrando a evolução da dimensão das máquinas até o ITER (2025), os reatores DEMO (estimados para 2050) e as futuras centrais de fusão nuclear comerciais (FPP – estimados para 2100) (WILTGEN, 2021; ZOHM, 2019; YUSHMANOV *et al.*, 1990; YICAN e SUMER, 2018; MENARD *et al.*, 2016). Os reatores DEMO tem como objetivo principal servir para estudos conceituais para definir as características das centrais de fusão nuclear comerciais (FPP – *Fusion Power Plant*) (GALAMBOS *et al.*, 1995; HANDLEY *et al.*, 2021; HORVATH e RACHLEW, 2016; PEARSON *et al.*, 2020).

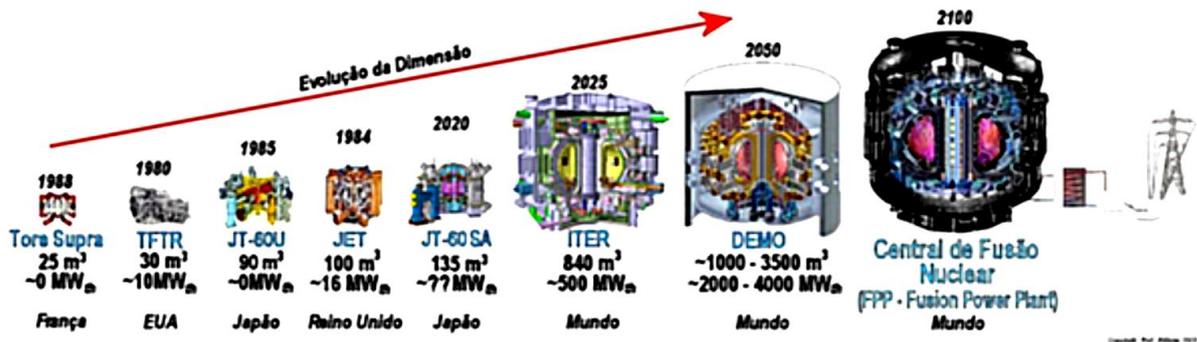


Figura 9. Caminho da fusão termonuclear por confinamento magnético do plasma em máquinas do tipo Tokamak.

Fonte: Próprio Autor (2020).

## 6. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a complexidade envolvida na construção e operação de uma máquina do tipo Tokamak é fácil perceber quanto desafiadora é a fusão nuclear para a engenharia. O aprendizado prático com a construção de Tokamaks menores permitiu avanços técnicos e científicos importantes para a evolução da fusão nuclear e nas várias áreas de engenharia.

É fato que atualmente, tem-se as condições propícias para conseguir obter a fusão nuclear em máquinas do tipo Tokamak, e assim, alcançar uma nova era próspera e abundante de energia elétrica. A quantidade de energia disponível irá permitir uma grande evolução cultural, técnica e científica, além de prover uma estabilidade ambiental devido a baixa emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera (HIWATAR E GOTO, 2019; CHEN, 2011). Apesar dos constantes desafios impostos a engenharia pela fusão nuclear, são justamente estas dificuldades que fazem acontecer as evoluções.

A engenharia de fusão nuclear será muito importante no futuro próximo por compor uma enorme diversidade de especialidades nas inúmeras áreas da engenharia.

## REFERÊNCIAS

ARTISIMOVICH, L.A., *Tokamak Devices*. Nuclear Fusion. v.12, pp.215-252, 1972.

BELLAN, P.M., *Fundamentals of Plasma Physics*. Cambridge University Press, 2008. 628p.

BIEL, W., LACKNER, K., SAUTER, O., WENNINGER, R., ZOHRM, H., *Comment on the Fusion*

***Triple Product and Fusion Power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors.*** Nuclear Fusion. v.57, pp.038001, 2017.

BOYD, J., SANDERSON, J.J., ***The Physics of Plasmas.*** Cambridge University Press, Cambridge, 2003. 548p.

BOYLE, F.I., ***Plasmas en el Laboratorio y en el Cosmos.*** Reverté, 1968. 175p.

BUTTERY, R.J., PARK, J.M., MCCLENAGHAN, J.T., WEISBERG, D., CANIK, J., FERRON, J., GAROFALO, A., HOLCOMB, C.T., LEUER, J., SNYDER, P.B., ***The Advanced Tokamak Path to a Compact Net Electric Fusion Pilot Plant.*** Nuclear Fusion. v.61, pp.046028 (1-18), 2021.

CANAL, G.P., LUDWIG, G.O., GALVÃO R., ALMEIDA, M.C.; GONÇALVES, O.J., SEVERO, J.H., ANDRADE, C.R., FERREIRA, J.G., ***Programa Nuclear Brasileiro - Proposta de Programa Nacional de Fusão Nuclear.*** CNEM (Comissão Nacional de Energia Nuclear). pp.1-41, 2021.

CHEN, F.F., ***Plasma Physics and Controlled Fusion.*** Plenum, N.York, 1974. 440p.

CHEN, F.F., ***An Indispensable Truth: how Fusion Power can Save the Planet.*** New York, Springer Science and Business Media, LLC. 2011. 450p.

CLARKE, R. H., CAI, Z., ***Helium and Fusion energy in the Future of Helium as a Natural Resource.*** United Kingdom, Routledge. v.35, pp.235-264, 2012.

CONN, R.W., The Engineering of Magnetic Fusion Reactors. Scientific American. v.249(4), 1983.

COSTLEY, A.E., ***Towards a Compact Spherical Tokamak Fusion Pilot Plant.*** Philos. Trans. R. Soc. A. v.377(2141), pp.20170439, 2019.

COSTLEY, A.E., ***On the Fusion Triple Product and Fusion Power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors.*** Nuclear Fusion. v.56, pp.066003 (1-8), 2016.

COSTLEY, A.E., BUXTON, P.F., HUGILL, J., ***Reply to Comment on the Fusion Triple Product and Fusion power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors.*** Nuclear Fusion. v.57, pp.038002 (1-3), 2017.

DEAN, S.O., CALLEN, J.D., FURTH, H.P., CLARKE, J.F., OHKAWA, T., RUTHERFORD, P.H., ***Status and Objectives of Tokamak Systems for Fusion Research.*** Journal of Fusion Energy. v.17, pp.289-337, 1998.

EL-GUEBALY, L.A., ***History and Evolution of Fusion Power Plant Studies: Past, Present, and Future Prospects.*** Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering. NOVA Science Publishers. pp.217-271, 2009.

EL-GUEBALY, L.A., ***Fifty Years of Magnetic Fusion Research (1958–2008): Brief Historical Overview and Discussion of Future Trends.*** Energies. v.3(6), pp.1067-1086,

2010.

ELIEZER, Y., ELIEZER, S., ***The Fourth State of Matter - An Introduction to the Physics of Plasma***. Bristol and Philadelphia, Adam Hilger, 1989. 226p.

FURTH, H.P., ***Tokamak Research. Nuclear Fusion***. v.15, pp.487-534, 1975.

GALAMBOS, J.D., PERKINS, L.J., HANEY, S.W., MANDREKAS, J., ***Commercial Tokamak Reactor Potential with Advanced Tokamak Operation***. Nuclear Fusion. v.35(5), pp.551-573, 1995.

HAMACHER, T, BRADSHAW, A.M., ***Fusion as a Future Power Source: Recent Achievements and Prospectus***. 18th Congress World Energy Council, Buenos Aires, 21 to 25 October, pp.1-19, 2001.

HANDLEY, M.C.; SLESINSKI, D.; HSU, S.C., ***Potential Early Markets for Fusion Energy***. Journal of Fusion Energy. v.40(18), pp.1-17, 2021.

HERMAN, R., ***Fusion - The Search for Endless Energy***. Univ. Cambridge, 1990. 280p.

HIWATAR, R., GOTO, T., ***Assessment on Tokamak Fusion Power Plant to Contribute to Global Climate Stabilization in the Framework of Paris Agreement***. Plasma and Fusion Research. v.14, pp.1305047(1-5), 2019.

HORVATH, A., RACHLEW, E., ***Nuclear Power in the 21st Century: Challenges and Possibilities***. Ambio. v.45(01), pp.S38-S49, 2016.

IAEA, ***Nuclear Power Reactors in the World – Edition 2017 (IAEA-RDS-2/37)***. IAEA (International Atomic Energy Agency). 2017.

IAEA, ***IAEA Fusion Device Information System***. IAEA (International Atomic Energy Agency). 2020.

KIKUCHI, M., ***A Review of Fusion and Tokamak Research Towards Steady-State Operation: A JAEA Contribution***. Energies. v.3, pp.1741-1789, 2010.

KIKUCHI, M., LACKNER, K., TRAN, M.Q., ***Fusion Physics***. IAEA International Atomic Energy Agency, 2012. 1.158p.

LABERG, M., ***Alternative Approaches in Fusion. Presentation General Fusion***. Fusion Forum in Edmonton Alberta. November 4, pp.1-20, 2017.

LACKNER, K., ***Dimensionless Engineering Variables for Measuring the ITER and Reactor Relevance of Tokamak Experiments***. F. Sci. Tech. 54:989-993, 2008.

LAWSON, J.D., ***Some Criteria for a Power Producing Thermonuclear Machine***. Proceedings of the Physical Society. B70, v.6, pp.6-10, 1957.

LUDWIG, G.O., BOSCO, E.D., FERREIRA, J.G., BERNI; L.A., OLIVEIRA, R.M., ANDRADE,

M.C.R., SHIBATA, C.S., UEDA, M., WILTGEN, F. (BARBOSA, L.F.W.), BARROSO, J.J., CASTRO, P.J., PATIRE JR, H., ***Spherical Tokamak Development in Brazil***. Brazilian Journal of Physics. v.33(04), pp.1-12, 2003.

MAISONNIER, D., CAMPBELL, D., COOK I., DI PACE, L., ***The European Power Plant Conceptual Study***. Fusion Eng. and Design. v.75-79, pp.1173-1179, 2005.

MCCRACKEN, G., STOTT, P., ***Fusion: The Energy of the Universe***. Academic Press. 2012. 248p.

MENARD, J. E.; BROWN, T., EL-GUEBALY, L., BOYER, M., CANIK, J., COLLING, B., RAMAN, R., ***Fusion Nuclear Science Facilities and Pilot Plants Based on the Spherical Tokamak***. Nuclear Fusion. v.6(10), pp.106023 (1-110), 2016.

MISHRA, A.K., ANITHA, G., Nuclear Fusion Reactor – A Review Study. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), v.4(03), pp.2456-6470, 2020.

MURRAY, R.L., ***Nuclear Energy***. Pergamon Press, Oxford, 1993. 576p.

ONGENA, J., KOCH, R., WOLF, R., ZOHRM, H., ***Magnetic-Confinement Fusion***. Nature Physics. v.12, pp.398-410, 2016.

PEARSON, R.J., COSTLEY, A.E., PHAAL, R., NUTTALL, W.J., ***Technology Roadmap for Hardware Development: A Case Study of a Commercial Fusion Energy Start-up***. Technol. Forecast. Soc. Change. v.158, pp.120064 (1-21), 2020.

SAXENA, Y.O., ***Tokamak: A Device for Nuclear Fusion***. Indian Journal of Cryogenics. v.41, pp.1-17, 2016.

SCHOOFS, F., TODD, T.N., ***Magnetic Field and Power Consumption Constraints for Compact Spherical Tokamak Power Plants***. Fusion Engineering and Design. v.176, pp.113022 (1-11), 2022.

SMIRNOV, V.P., ***Tokamak Foundation in USSR/Russia 1950–1990***. IAEA, Nuclear Fusion. v.50, pp.1-8, 2010.

SYKES, A., AHN, J.W., AKERS, R., ARENDS, E., CAROLAN, P.G., COUNSELL, G.F., FIELDING, S.J., ***First Physics Results from the MAST Mega-Amp Spherical Tokamak***. Physics of Plasmas. v.8(05), pp.1-6, 2001.

WAN, Y., ***Road Map of Chinese Fusion Research and the First Chinese Fusion Reactor – CFETR***. 531st Wilhelm and Else Heraeus Seminar on 3D versus 2D in Hot Plasmas, 30th April – 2nd May Physikzentrum Bad Honnef, pp.1-92, 2013.

WARRICK, C., ***Fusion Turns to Engineering***. Ing. E. Tech. v.52, pp.39-43, 2012.

WESSON, J., ***Tokamaks***. Clarendon Press, Oxford, 1987. 800p.

WILTGEN, F., ***Sistema Elétrico Pulsado com Controle Digital do Tokamak ETE (Experimento Tokamak Esférico)***. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, 1998. 228p.

WILTGEN, F., Ferreira, J.G., Ludwig, G.O., Bosco, E.D., Rossi, J.O., ***Pulsed Electric System for Production and Confinement of Plasma in ETE (Spherical Experiment Tokamak)***. 13th IEEE International Pulse Power Conference - PPC and 28th IEEE International Conference on Plasma Science - ICOPS, Las Vegas, 17-22 June, pp.1731-1734, 2001.

WILTGEN, F., ***Sistemas Inteligentes para o Controle de Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak – Aplicação de Sistemas de Controle com Inteligência Artificial***. Novas Edições Acadêmicas, 2018. 372p.

WILTGEN, F., ***Energia Elétrica via Fusão Termonuclear Controlada***. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). v.38(03), pp.97-107, 2021.

WILTGEN, F., ***Estados Físicos da Matéria***. Uniesmero, Ciência e Tecnologia: Temáticas e Fundamentos, v.3(cap.09), pp.106-130, 2022A.

WILTGEN, F., ***Fusão Termonuclear Controlada por Confinamento Magnético do Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak***. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). pp.1-6, aguardando publicação para 2022B.

YICAN, W., SUMER, S., ***Fusion Energy Production***. Elsevier Energy Systems. v.3, pp.539-589, 2018.

YUSHMANOV, P.N., TAKIZUKA, T., RIEDEL, K.S., KARDAUN, O.J, CORDEY, J.G., ***Scalings for Tokamak Energy Confinement***. N. Fusion. v.30, pp.1999-2006, 1990.

ZOHM, H., ***On the Size of Tokamak Fusion Power Plants***. Royal S., pp.1-9, 2019.

Capítulo 7  
VARIEDADES PIWI: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA  
A VITIVINICULTURA CATARINENSE?  
Gil Karlos Ferri



## VARIETADES *PIWI*: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A VITIVINICULTURA CATARINENSE?

**Gil Karlos Ferri**

*Doutorando no Programa de Pós-Graduação em História Global da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGH/UFSC), Florianópolis, Brasil. Pesquisador vinculado aos projetos*

*“Da terra à mesa: uma história ambiental da vitivinicultura nas Américas” (CNPq) e “Vitivinicultura Serrana: o despontar de um terroir de oportunidades para Santa Catarina” (FAPESC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3110-4745> E-mail: [gilferri@hotmail.com](mailto:gilferri@hotmail.com)*

**Resumo:** A inserção de vinhedos no Planalto catarinense é um fenômeno recente que vem reconfigurando a paisagem econômica e socioambiental da região. A configuração de um novo território vitivinícola é permeada por constantes escolhas diante dos velhos dilemas sobre os métodos de cultivo das videiras: convencionais (ambientalmente danosas) ou alternativas (com aspectos sustentáveis). Para compreender a trajetória e as perspectivas das pesquisas com variedades de videiras *piwi* (com melhoramento genético) neste espaço e as interconexões com outros locais, recorreremos a história ambiental global para compor uma narrativa que combine os fatores humanos e ambientais desse processo.

**Palavras-chave:** Piwi; Vitivinicultura; Santa Catarina.

### Introdução

Em 1997 o governo do Estado de Santa Catarina assinou o primeiro protocolo de intenções com a Província Autônoma de Trento, Itália, para o desenvolvimento de parcerias no setor agrícola. A partir deste documento, em 2005, foi firmado um acordo que permitiu a realização do projeto Tecnologias para o Desenvolvimento da Vitivinicultura de Santa Catarina – também chamado de “Projeto Trento” –, para estudar e indicar variedades de videiras italianas para as regiões de altitude do estado de Santa Catarina. Além do apoio financeiro, a Província Autônoma de Trento se comprometeu com os participantes do projeto de pesquisa a disponibilizar suporte técnico-científico por intermédio da Fundação Edmund Mach, com visitas técnicas de pesquisadores italianos às áreas experimentais no Brasil, realização de intercâmbios e treinamentos de pesquisadores e estudantes brasileiros em Trento, como forma de viabilizar a produção

de uvas e vinhos com sustentabilidade agrônômica, tecnológica, ambiental e econômica (PORRO & STEFANINI, 2016).

Para a execução do projeto Tecnologias para o Desenvolvimento da Vitivinicultura de Santa Catarina, no final de 2005 foram definidas quatro unidades experimentais localizadas em regiões representativas do território catarinense com diferentes altitudes, oscilando de 947 a 1.415m acima do nível do mar. As regiões escolhidas para as unidades experimentais foram: Unidade 1, região de São Joaquim, situada a 1.415m de altitude (latitude 28°16'50" S e longitude 49°56'20" O) na Estação Experimental da Epagri. Unidade 2, região de Campos Novos, localizada a 947m de altitude (latitude 27°19'83" S e longitude 50°49'18" O), na Estação Experimental da Epagri; Unidade 3, região de Tangará/Marari, situada a 1.211m de altitude (latitude 27°12'24" S e longitude 51°06'96" O), na propriedade da Vinícola Pisani na localidade Marari; e Unidade 4, região de Água Doce, localizada a 1.300m de altitude (latitude 26°43'92" S e longitude 51°30'72" O), na Vinícola Villaggio Grando. As coletas de dados, avaliações e análises do projeto tem a participação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e para cada unidade foi designado um pesquisador de referência da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), responsável pela gestão do vinhedo. A equipe da UFSC assumiu a coordenação do projeto, aprofundando temáticas específicas com a formação de mestres e doutores (PALLADINI *et al.*, 2021, 149 e 151). Além dos estudos de aclimação de castas italianas que proporcionaram o cultivo comercial de algumas delas, a parceria firmada através do "Projeto Trento" serviu de base para o início do projeto de cooperação tecnocientífica para o intercâmbio e desenvolvimento de variedades resistentes.

### **Variedades Piwi**

Nas condições climáticas do Planalto catarinense, o cultivo das variedades europeias requer grande quantidade de agroquímicos no controle de doenças como o míldio (*Plasmopara viticola*) e oídio (*Uncinula necator*). O controle químico destas doenças resulta no uso de fungicidas, o que, além de aumentar o custo de produção, também oferece riscos à saúde humana e ao ambiente, comprometendo a sustentabilidade do sistema produtivo. Para agravar esta condição, as mudanças climáticas previstas podem aumentar ainda mais a pressão destas doenças sobre o cultivo

das videiras, resultando no uso ainda mais intensivo de fungicidas. Considerando esses entraves para o desenvolvimento vitivinícola, pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com instituições da Itália (Istituto Agrario di San Michele all'Adige, Fundação Edmunch Mach) e Alemanha (Institute for Grapevine Breeding Geilweilerhof, Julius Kühn-Institut), estão investindo em programas de melhoramento fitogenético para a criação de novas variedades que combinem qualidade enológica e resistência às pragas e doenças (FAPESC, 2017, p. 04-05).

Desde o início do século XX, espécies do gênero *Vitis* (*V. labrusca*, *V. rotundifolia* e *V. rupestris*, de origem americana e *V. amurensis*, de origem asiática) estão sendo usadas em cruzamentos com a videira europeia (*V. vinifera* L.) na tentativa de combinar qualidade de vinho com resistência genética a doenças. As variedades obtidas através destes cruzamentos são chamadas de *Piwi* (*Pilzwiderstandsfähige*), que, em uma tradução livre do alemão, significa “resistente aos fungos”. Dando sequência a esses cruzamentos, nos últimos anos, pesquisadores da EPAGRI e UFSC buscam avaliar o potencial viti-enológico e a tolerância a pragas e doenças das variedades existentes com as variedades que serão introduzidas oriundas da Itália e Alemanha. O objetivo será a seleção de variedades adaptadas as diferentes regiões climáticas catarinenses, resistentes às doenças e ao ataque de insetos e com qualidade para consumo *in natura* da uva e produção de vinho (FAPESC, 2017, p. 03 e 06). O cultivo de variedades *Piwi* requer menor número de pulverizações e menor quantidade de agrotóxicos do que as variedades tradicionais de *V. vinifera*. Na conjuntura do comércio internacional, a disponibilidade de variedades próprias significaria independência tecnológica e melhores condições para participar de um mercado rentável e competitivo.

Nas últimas décadas, a seleção assistida por marcadores combinada com o retrocruzamento múltiplo com cultivares de *V. vinifera* permitiu o desenvolvimento de cultivares resistentes a fungos com genes de resistência a doenças e uma percentagem significativa (mais de 85%) de *V. vinifera* em seu *pedigree*, geralmente referidos como *Piwi* e aceitos como cultivares de *V. vinifera* em alguns catálogos europeus. Em alguns casos, porém, *Piwi* pode referir-se indistintamente tanto a híbridos interespecíficos quanto a cultivares “resistentes a doenças de *V. vinifera*” mais recentes (BRIGHENTI *et al.*, 2019, p. 116). Os cultivares híbridos são obtidos por métodos convencionais, sem engenharia

genética, o que tem a vantagem de mantê-los fora do debate atual sobre os organismos geneticamente modificados (BELLO & SANCHÍS, 2008, p. 11).

As variedades *Piwi* não são a única opção para a consolidação de uma vitivicultura diferenciada, entretanto, representam uma alternativa para o cultivo mais sustentável em uma região que busca seu espaço e marca no cenário vitivinícola global, notadamente pelo menor impacto adverso no meio ambiente e na saúde humana, comparativamente as variedades de *V. vinifera*, pelo menor uso de agrotóxicos.

### **Considerações finais**

Apesar de tratar-se de um novo território no cenário vitivinícola global, os vitivicultores do Planalto de Santa Catarina encontram-se diante do velho dilema sobre as práticas de cultivo: convencionais (ambientalmente danosas) ou alternativas (com aspectos sustentáveis). Para tanto, a história ambiental global busca contribuir neste debate, colocando em perspectiva a trajetória, os impactos socioambientais e as potencialidades sustentáveis da vitivicultura neste espaço. O reconhecimento crítico e fundamento na ciência acerca desse dilema, mas sobretudo das opções para sua superação, constituem, por fim, a relevância social e acadêmica deste capítulo. Um esboço que busca contribuir na compreensão de que sociedade e meio ambiente são interdependentes para a viabilidade de um território vitivinícola a longo prazo.

### **Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo auxílio financeiro através do projeto de pesquisa “Vitivicultura Serrana: o despontar de um terroir de oportunidades para Santa Catarina” e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro ao projeto “Da terra à mesa: uma história ambiental da vitivicultura nas Américas”. Website do projeto: <<https://projetosvinhedos.wixsite.com/daterraamesa>>.

## Referências bibliográficas

BELLO, Maria Luisa Feijoo; SANCHÍS, Fernando Mestre. Climate change mitigation to restore water resources: the contribution from vineyards management to reduce greenhouse gases. *Anais IWRA World Water Congress*. Montpellier, France, 2008.

Disponível em:

<[https://www.iwra.org/member/index.php?page=286&abstract\\_id=904](https://www.iwra.org/member/index.php?page=286&abstract_id=904)>. Acesso em: 18 nov. 2021.

BRIGHENTI, Emílio; SOUZA, André L. K.; BRIGHENTI, Alberto F.; STEFANINI, Marco; TRAPP, O.; GARDIN, J. P. P.; CALIARI, V.; DALBÓ, M. A.; WELTER, L. J. Field performance of five white Pilzwiderstandsfähige (PIWI) cultivars in the south of Brazil. *Acta Hort.*, 1248, XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics, p. 115 - 122, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1248.17>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. *Avaliação vitivinícola de genótipos de videira nas condições edafoclimáticas de Santa Catarina*. Fase V. Plano de trabalho da demanda espontânea de pesquisa. Coordenador: André Luiz Kulkamp de Souza. Florianópolis, SC: EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2017.

PALLADINI, Luiz Antonio; BRIGHENTI, Alberto Fontanella; SOUZA, André Luiz Kulkamp de; SILVA, Aparecido Lima da (Orgs.). *Potencial de variedades de uvas viníferas nas regiões de altitude de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2021.

PORRO, Duillio; STEFANINI, Marco. *Tecnologias para o desenvolvimento da vitivinicultura de Santa Catarina*. Trento: Provincia Autonoma, 2016.

# AUTORES



**Alissan Karine Lima Martins**

Enfermeira, Doutora em enfermagem pela Universidade Federal do Ceará.

**Ana Karoline de Almeida Lima**

Discente do curso de graduação em enfermagem da Universidade Regional do Cariri.

**Arthur Kreling Ozório**

Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Membro do projeto de pesquisa sobre aplicação da Learning e Forgetting Curve no planejamento de produção e monitoramento de custos industriais. Foi aprendiz da qualidade na Atlas Schindler e estagiário de planejamento na Vzan. Apresentou artigos em diversos congressos, como o Enenpro, Enegep e South Florida Congress.

**Bruna Neves Lima**

Graduanda de Gestão de Turismo do Instituto Federal de Sergipe.

**Bruno Goulart Sato**

Graduando do curso de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina. Membro do Grupo de Pesquisa Curvas de Aprendizado e Esquecimento Aplicada a Programação da Produção e Monitoramento dos Custos Industriais.

**Bruno Pontes Fuentes**

Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina. Membro do Grupo de Pesquisa Curvas de Aprendizado e Esquecimento Aplicada a Programação da Produção e Monitoramento dos Custos Industriais, e do Grupo sobre Utilização de Termovisor na Manutenção Preditiva de Equipamentos e Sistemas.

**Edilmara Tavares Gondim**

Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri.

### **Edson Luiz Valmorbidia**

Doutor em Matemática (matemática aplicada) pela Universidade Federal de Santa Catarina (2018). É professor Adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina. Pesquisa na área de Análise Numérica, com ênfase em Métodos de Galerkin descontínuo, e Curvas de Aprendizado e Esquecimento para programação de produção.

### **Filipe Wiltgen**

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>. Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA – São José dos Campos). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté, e também, Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (IFSP – Campinas) desde 2022 nos cursos de Eletrônica e Eletricidade, além de Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC – Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. Currículo [Lattes](#) [CNPq](#) ([buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4](http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4792438P4)). Base de Documentos ResearchGate ([www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen](http://www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen)). Google Acadêmico ([scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao](http://scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao)). Currículo FAPESP ([bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa](http://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa)).

### **Gil Karlos Ferri**

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em História Global da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGH/UFSC), Florianópolis, Brasil. ORCID: <<https://orcid.org/0000-0003-3110-4745>>. E-mail: [gilferri@hotmail.com](mailto:gilferri@hotmail.com)

### **João Paulo Dutra Kreling**

Graduado em Engenharia de Produção na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Participante do Projeto de Pesquisa com o tema: Aplicação da Curva de

Aprendizagem e Esquecimento (Learning and Forgetting Curve) no Planejamento da Produção e no Gerenciamento dos Custos Industriais. Foi monitor da disciplina de Gestão de Custos para o curso de Engenharia de Produção. Atuou como consultor no setor comercial e responsável na área de Inteligência de Negócios na Aprimora - Empresa Júnior de Engenharia de Produção. Atualmente é Analista de Processos Industriais e também atuou como Analista de Qualificação no departamento de Engenharia da Sandoz Indústria Farmacêutica.

### **José Angelo Ferreira**

Pós Doutor em Engenharia Industrial pela Ryerson University de Toronto-Canada (2018). Doutor em Educação pela Universidade Nove de Julho - SP (2012); Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) Graduado em Administração pelo Middlesex County College – New Jersey-EUA (1992), Graduado em Pedagogia pela Faculdade Pitágoras - Campus Londrina (2012). Professor titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenador da Pesquisa sobre Aplicação da Learning and Forgetting Curve no Planejamento de Produção e Monitoramento de Custos Industrial. Avaliador Institucional Externo do SINAES. Pertence ao Conselho Editorial da Syntagma Editores; Revisor das Revistas Elsevier Journal e E-Tech Senai e Tem experiência na área de Engenharia de Produção e Administração, com ênfase em Gestão da Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: custos, gestão da produção, engenharia econômica, logística, consultoria e jogo de empresas. Autor dos Livros: Custos na Prática (Editora STS), ABC das Finanças (Editora STS), Custos Industriais (Editora STS), Gestão de Custos (Editora UNICESUMAR), Sujeito Empreendedor (Syntagma Editores). Membro do Conselho de Graduação e Educação da UTFPR; Membro da Câmara Técnica de Mecânica da UTFPR.

### **José Nilton de Melo**

Professor do curso de Gestão de Turismo (IFS), doutor em Propriedade Intelectual (UFS), graduado em Economia (UFS).

### **Kely Vanessa Leite Gomes da Silva**

Enfermeira, Doutora em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará.

**Lívia Clarisse Dias de Souza**

Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri.

**Maisa Oliveira Santos**

Graduanda de Gestão de Turismo do Instituto Federal de Sergipe.

**Maria Gisleide Penha de Lima**

Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri.

**Maria Socorro Filgueira Bem**

Enfermeira graduada pela Universidade Regional do Cariri.

**Rosely Leyliane dos Santos**

Enfermeira, Doutora em Enfermagem pela Universidade Federal do Ceará.

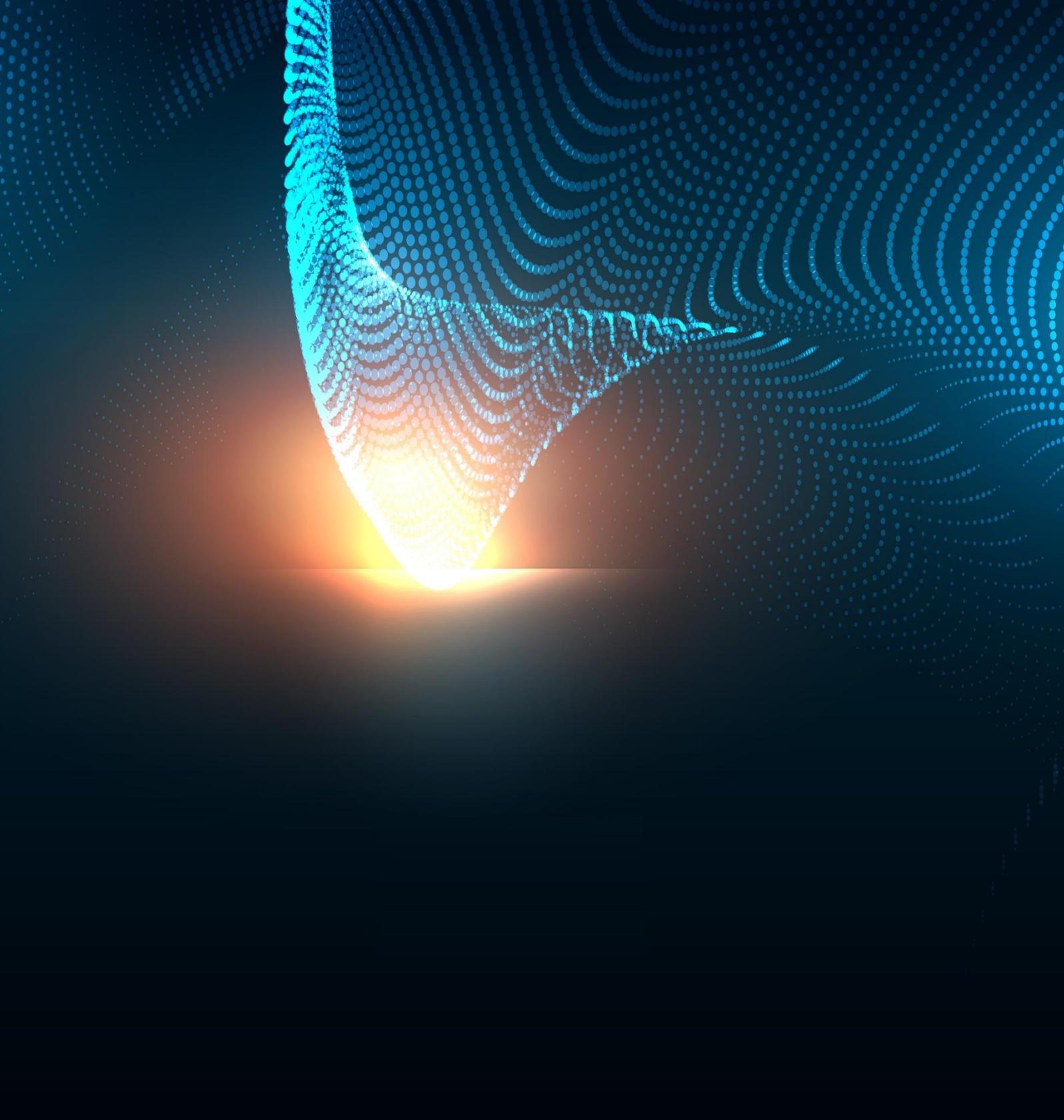
**Thiago Felipe Schiavon**

Graduando em Engenharia de Produção na UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) em Londrina. Iniciação científica inicialmente com ênfase em Gestão de Custos, atualmente voltada a Curva de Aprendizagem. Monitor voluntário em Gestão de Custos (2020). Cargo atual: Analista de PCP e Processos, voltado a Custos.

***Organizador***

**CLAUDIONOR NUNES CAVALHEIRO**

Licenciado em Educação Física pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, atualmente é docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFMT na cidade de Primavera do Leste – MT. Sua trajetória acadêmica sempre foi voltada para a área educacional, tendo como principal ponto de intervenção as escolas públicas. Possui especialização em Gestão Escolar e Metodologia em Didática e Ensino Superior, com Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento. Cursa Doutorado em Ensino na Universidade Vale do Taquari – UNIVATES e tem como foco de pesquisa a Metodologia Callejera, com foco na dialogicidade proporcionada pela mesma e suas possibilidades de Ensino.



  
**Editora**  
**UNIESMERO**

ISBN 978-658459987-1



9 786584 599871