



Ernane Rosa Martins  
(ORGANIZADOR)

# Ciência, tecnologia e inovação:

3

Fatores de progresso e de desenvolvimento



Ernane Rosa Martins  
(ORGANIZADOR)

# Ciência, tecnologia e inovação:

3

Fatores de progresso e de desenvolvimento

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Ernane Rosa Martins

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C569 Ciência, tecnologia e inovação: fatores de progresso e de desenvolvimento 3 / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-750-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.502210612>

1. Ciência. 2. Tecnologia. 3. Inovação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 601

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A nossa sociedade está em constante evolução em todas as áreas do conhecimento. Esta obra pretende apresentar o panorama atual relacionado a ciência, a tecnologia e a inovação, com foco nos fatores de progresso e de desenvolvimento. Apresentando análises extremamente relevantes sobre questões atuais, por meio de seus capítulos.

Estes capítulos abordam aspectos importantes, tais como: avaliar a influência do uso de jogos lúdicos no aprendizado da tabela periódica em aulas de química; um relato de experiência sobre um processo seletivo, formação e posterior contratação de desenvolvedores de softwares para uma empresa do ramo da tecnologia; o desenvolvimento de empresas de base científica e tecnológica por meio de suporte individualizado e transferência de conhecimento; uma reflexão sobre o campo educacional e suas inquietações e adaptabilidades frente a crescente digitalização condicionada, assim como as consequências educacionais em período atípico de pandemia do novo corona vírus pelo mundo; a implementação de clubes de robótica e automação, na forma de ação extensionista em estabelecimentos de ensino, como modalidade de produto educacional; a coleta de dados de imóveis pelo Poder Público, através do método de automatização chamado de web crawler; a avaliação da influência da estrutura bruta de solidificação (grãos equiaxiais e colunares) nos processos posteriores de conformação plástica e respectivos tratamentos térmicos; analisar como o uso de jogos eletrônicos pode ser aliado ao ensino da Matemática para o desenvolvimento de uma aprendizagem efetiva e contínua; o estudo da influência da topografia na molhabilidade de superfícies tratadas a plasma; um modelo conceitual de projeto integrador (PI) para engenharias EaD no modelo híbrido de uma IES de SC; uma série de etapas propostas para facilitar a criação e o voo de um enxame de drones, fornecendo assim um guia para o desenvolvimento de diferentes tipos de enxames; e uma proposta de integração de dois manipuladores robóticos devido suas versatilidades em se adequarem a diversas situações em relação a outras máquinas.

Nesse sentido, esta obra é uma coletânea, composta por excelentes trabalhos de extrema relevância, apresentando estudos sobre experimentos e vivências de seus autores, o que pode vir a proporcionar aos leitores uma oportunidade significativa de análises e discussões científicas. Assim, desejamos a cada autor, nossos mais sinceros agradecimentos pela enorme contribuição. E aos leitores, desejamos uma leitura proveitosa e repleta de boas reflexões.

Ernane Rosa Martins

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A BUSCA PELA TERCEIRIZAÇÃO EM P&D, O CASO DO CETENE NO NORDESTE DO BRASIL	
Amilcar Baiardi	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106121">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106121</a>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>36</b>
APLICAÇÃO DE JOGOS LÚDICOS PARA MELHOR COMPREENSÃO DA TABELA PERIÓDICA	
Luís César Rodrigues da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106122">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106122</a>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>47</b>
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS EM PROCESSOS DE FORMAÇÃO NA ÁREA TECNOLÓGICA	
Rafael Aguilár Magalhães	
Angelita Minetto Araújo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106123">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106123</a>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>56</b>
AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM PRÁTICA PEDAGÓGICA SEGUNDO VYGOTSKY	
Dianne Fabhrícia Meireles Ferreira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106124">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106124</a>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>64</b>
BLOOMBTECH - FLORESCENDO INCUBADORAS E INCUBADAS EM MINAS GERAIS	
Ana Carolina Calçado Lopes Martins	
Artur Tavares Vilas Boas Ribeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106125">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106125</a>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
CIBRIDISMO E APRENDIZAGEM UBÍQUA: A UTILIZAÇÃO DO INSTAGRAM COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NO ENSINO ACADÊMICO	
Yubis Pereira Martins	
Célia Regina Rossi	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106126">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106126</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>79</b>
CLUBES DE ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	
Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106127">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106127</a>	

**CAPÍTULO 8..... 86**

**COLETA DE DADOS DE IMÓVEIS DE FORMA AUTOMATIZADA PARA FINS DE POLÍTICAS PÚBLICAS**

Caroline Bernardo Silva  
Eduardo Schmidt Longo  
Everton da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106128>

**CAPÍTULO 9..... 95**

**COMPARATIVO DE PRODUCTOS PARA LA ELABORACIÓN DE CARTAS GEOTÉCNICAS Y MAPAS DE VULNERABILIDAD**

Clayson Marlei Figueiredo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5022106129>

**CAPÍTULO 10..... 103**

**CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE TECNOLOGIA CUIDATIVO-EDUCACIONAL PARA PREVENÇÃO DE GEO-HELMINTÍASES ENTRE RIBEIRINHOS DA AMAZÔNIA PARÁ-BRASIL**

Horácio Pires Medeiros  
Ana Paula da Silva Barbosa  
Francisca Maynara de Aguiar Bastos  
João Paulo Lima da Silva  
Kaliandra Moraes de Araújo  
Lucas Deyver da Paixão Lima  
Thayse Kelly da Silva Martino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061210>

**CAPÍTULO 11..... 117**

**DIGITALIZAÇÃO DO QUITUTES MIRABAL EM PARCERIA COM O PROJETO E.LAS DA ENACTUS UFRGS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19**

Sérgiane Mara Campos Pereira  
Laura Koenig Schmitt  
Hellena Silva Leão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061211>

**CAPÍTULO 12..... 123**

**ESTADO FUNCIONAL DO PACIENTE APÓS ALTA IMEDIATA DA UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA**

Karolina Duarte Junqueira  
Matheus Carvalho Pereira Santiago  
Aline Alves da Silva  
Yago da Costa  
Ana Cláudia Antônio Maranhão Sá

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061212>

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>131</b>
ESTUDO DO PROCESSO DE DEFORMAÇÃO E RECRISTALIZAÇÃO DE UMA LIGA DE AL 4,5% CU	
Bruna Gobbi Garcia	
Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061213">https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061213</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>145</b>
EXPERIMENTO COM JOGOS ELETRÔNICOS NO 7º ANO DO FUNDAMENTAL II DA ESCOLA DUQUE DE CAXIAS	
Leandro dos Santos Almeida	
Annelise Maymone	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061214">https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061214</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>163</b>
INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA MOLHABILIDADE EM SUPERFÍCIES DE TITÂNIO TRATADAS POR OXIDAÇÃO A PLASMA	
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto	
Marco Aurélio Medeiros da Silva	
Bruno de Macedo Almeida	
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra	
Ana Beatriz Villar Medeiros	
Renivânia Pereira da Silva	
Tereza Beatriz Oliveira Assunção	
Clodomiro Alves Junior	
Karina e Silva Pereira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061215">https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061215</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>178</b>
INTRODUÇÃO AO FUNCIONAMENTO DE CARROS ELÉTRICOS: UMA REVISÃO	
Sheilla Caroline de Lima	
Artur Saturnino Rodrigues	
Victor Augusto Nascimento Magalhães	
Izaldir Ângelo Pereira Lopes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061216">https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061216</a>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>196</b>
JOGOS DIGITAIS PARA O ENSINO E A APRENDIZAGEM DE ZOOLOGIA	
Luciana de Lima	
Robson Carlos Loureiro	
Igor Moura Barbosa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061217">https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061217</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL DE PROJETO INTEGRADOR PARA	

## ENGENHARIAS EAD DO MODELO HÍBRIDO

Jean Marcelo Dias

Ana Carolina Braga Kodum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061218>

### **CAPÍTULO 19..... 224**

#### PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE UN ENJAMBRE DE DRONES

Carlos Alberto Guizar Gómez

José Luis Guevara Gómez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061219>

### **CAPÍTULO 20..... 236**

#### QUALIDADE DE VIDA DE CRIANÇAS USUÁRIAS DE IMPLANTE COCLEAR

Patricia Haas

Fernanda Soares Aurélio Patatt

Laura Faustino Gonçalves

Karina Mary de Paiva

Beatriz Vitorio Ymai Rosendo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061220>

### **CAPÍTULO 21..... 256**

#### QUALIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOLDAGEM DOS AÇOS AUSTENÍTICOS PARA OS INTERNOS DE REATORES NUCLEARES

Ademir Antonio Fraga Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061221>

### **CAPÍTULO 22..... 269**

#### REVOLUCIÓN DIGITAL DEL BIG DATA Y MINERÍA DE DATOS: SU IMPACTO SOCIAL

Wendy Daniel Martínez

Luis Alejandro Santana Valadez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061222>

### **CAPÍTULO 23..... 280**

#### UMA REFLEXÃO SOBRE A EVOLUÇÃO DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO NOS ÚLTIMOS VINTE ANOS

Cássia Viviani Silva Santiago

Nayara Gonçalves Lauriano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061223>

### **CAPÍTULO 24..... 294**

#### USO DA ROBÓTICA COOPERATIVA PARA A MANUFATURA ADITIVA METÁLICA EM PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO

Fagner Guilherme Ferreira Coelho

Alexandre Queiroz Bracarense

Eduardo José Lima II

Diego Raimundi Corradi  
Ariel Rodrigues Arias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50221061224>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>307</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>308</b>

## INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA MOLHABILIDADE EM SUPERFÍCIES DE TITÂNIO TRATADAS POR OXIDAÇÃO A PLASMA

Data de aceite: 01/12/2021

Data de submissão: 08/11/2021

### **Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Engenharia Biomédica  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/5387010100082241>

### **Marco Aurélio Medeiros da Silva**

Conselho Regional de Odontologia do RN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7414516185073046>

### **Bruno de Macedo Almeida**

Associação Brasileira de Odontologia – Secção  
RN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7278391426911383>

### **Ângelo Roncalli Oliveira Guerra**

Universidade federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7353332474621022>

### **Ana Beatriz Villar Medeiros**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Odontologia  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6345247068351046>

### **Renivânia Pereira da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Engenharia Biomédica  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6717163048054185>

### **Tereza Beatriz Oliveira Assunção**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Engenharia Biomédica  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6103933405868501>

### **Clodomiro Alves Junior**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7441669258580942>

### **Karina e Silva Pereira**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de pós-graduação em Gestão e  
Inovação em Saúde  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/9928230147810303>

**RESUMO:** Com o objetivo de estudar a influência da topografia na molhabilidade de superfícies tratadas a plasma, foram utilizados discos de titânio comercialmente puros grau II, de 10 mm de diâmetro e 1 mm de espessura, em atmosferas de Argônio (Ar), Hidrogênio  $H_2$  e Ar –  $H_2$ . Essas amostras foram submetidas a plasma produzido por descarga catódica oca (HCD) por 20 e 60 min a uma tensão de 500 V e pressão de 220 Pa. Após o pré-tratamento, o estado das superfícies da amostra foi avaliado quanto às fases superficiais com incidência de raspagem Difração de raios X (GIXRD) e Espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS), avaliados por microscopia de força atômica (AFM) e molhabilidade, usando o teste de queda séssil. Verificou-se que todas as condições foram eficazes na redução do óxido,

resultando em diferentes valores de molhabilidade. Foi analisada a correlação entre os parâmetros de rugosidade média (Ra) e a razão entre a altura máxima do pico e a distância média entre o pico mais alto e o vale mais baixo (Rp/Rz) e molhabilidade para as diferentes condições de tratamento. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que Ra e Rp/Rz não são adequados para se correlacionar com molhabilidade e sugere-se que um novo parâmetro topográfico seja adotado para a equação de Cassie-Baxter. A análise XPS mostrou que a eficácia da redução foi maior para a mistura Ar – H<sub>2</sub>, seguida por Ar e H<sub>2</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento a Plasma; Biomateriais; Óxido de Titânio; Molhabilidade; Parâmetros de rugosidade.

## INFLUENCE OF TOPOGRAPHY ON PLASMA TREATED TITANIUM SURFACE WETTABILITY

**ABSTRACT:** With the aim of studying the topographic influence on wettability of plasma-treated surfaces, we used commercially pure titanium disks, grade II, 10 mm in diameter and 1 mm thick, and in atmospheres of Argon (Ar), Hydrogen H<sub>2</sub> and Ar–H<sub>2</sub>. These samples were submitted to plasma produced by hollow cathode discharge (HCD) for 20 and 60 min at a voltage of 500 V and pressure of 220 Pa. After pre-treatment, the state of the sample surfaces was assessed for surface phases with grazing incidence X-ray diffraction (GIXRD), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), evaluated by atomic force microscopy (AFM) and wettability, using the sessile drop test. It was found that all the conditions were effective in reducing oxide, resulting in different wettability values. Correlation between average roughness (Ra) parameters and the ratio between maximum peak height and average distance between the highest peak and lowest valley (Rp/Rz) and wettability for the different treatment conditions were analyzed. Given the results obtained, it was concluded that Ra and Rp/Rz are not appropriate for correlating with wettability and it is suggested that a new topographic parameter be adopted for the Cassie–Baxter equation. XPS analysis showed that reduction efficacy was greater for the Ar–H<sub>2</sub> mixture, followed by Ar and H<sub>2</sub>.

**KEYWORDS:** Plasma treatment; Titanium oxide reduction; Wettability; Roughness; Parameter.

## 1 | INTRODUÇÃO

Hoje o material mais utilizado em aplicações biomédicas é o titânio e suas ligas, devido sua alta biocompatibilidade e resistência à corrosão (BINON; WEIR; MARSHALL, 1992; AMORIN et al., 2019; CAO et al., 2020; WU et al., 2020). Entretanto técnicas de tratamento e revestimento de superfícies são utilizadas para adaptá-los às várias aplicações. Na engenharia tecidual, por exemplo, há um crescente interesse em se desenvolver uma nova geração de materiais que, além de biocompatíveis e resistentes à corrosão, tenham boa molhabilidade para garantir uma maior integridade da interface osso/biomaterial (KASEMO, 2002). Ao contrário disso, em stents e válvulas cardíacas há necessidade que o sangue tenha baixa molhabilidade para evitar adesão plaquetária (KASEMO, 2002). Esses dois exemplos extremos ilustram bem a necessidade da modificação de superfície

após a fabricação do dispositivo biomédico. De uma maneira geral, a fabricação desses dispositivos compreende uma série de etapas como usinagem, estampagem, dobramento e/ou tratamentos térmicos que expõem a superfície do titânio aos mais variados contaminantes orgânicos e inorgânicos. Nesse sentido, após a fabricação há necessidade de procedimentos que incluem protocolos de limpeza e passivação (KASEMO; LAUSMAA, 1988). Esses procedimentos são recomendados por órgãos que estabelecem normas e condutas técnicas para fabricação de materiais para uso biológico, com a finalidade de obter superfícies que possam ter melhor interação com os tecidos onde são implantados (TAKEUCHIA et al., 2003). Dentre os métodos utilizados podem-se citar os mecânicos que são realizados à custa de jateamento no substrato com partículas de diversas granulações; método químico que utiliza banhos sucessivos de ácidos, tratamento alcalino, peróxido de hidrogênio, sol-gel e oxidação anódica (decapagem) e os métodos físicos que utilizam o laser, spray térmico, plasma spray, PVD, implantação iônica, implantação de íons e plasma (LIU; CHU; DING, 2005). O método químico é o mais utilizado, limpa e trata a superfície, porém poderá levar à incorporação de elementos nocivos ao material e tornar necessárias etapas adicionais para descontaminação, aumentando tempo e custo a esse processo, além de causar problemas no descarte de resíduos ao meio ambiente, após o seu uso, ocasionando danos de difícil reparação para o mesmo (CHANG et al., 2004).

O plasma tem sido bem requisitado no processamento de superfície na indústria de microeletrônicos e tem atraído a atenção na área de biomateriais (SÁ et al., 2008). Embora esse método tenha sido usado vastamente em pesquisa de biomateriais, as informações são limitadas sobre os parâmetros do processo.

Uma das vantagens desse método está na versatilidade da energia do plasma. Num mesmo equipamento é possível limpar, modificar uma superfície e esterilizá-la. Na indústria biomédica esse processo consiste em modificar a superfície em uma atmosfera altamente ionizada. Quando se deseja uma atmosfera mais hostil utiliza-se a configuração cátodo oco. A alta ionização é conseguida porque os elétrons do plasma são obrigados a refletirem sucessivamente entre duas superfícies catódicas, onde os elétrons são repelidos pelo cátodo central que pode ser a peça que se deseja oxidar em direção aos cátodos externos. Ao se aproximarem destes, são também repelidos, realizando assim, um movimento de zig-zag que aumentará a taxa de ionização da região em questão. Uma alta densidade de íons significará maior bombardeamento na superfície, ocasionando maior incidência energética (SÁ et al., 2008; SILVA et al., 2005; GUERRA NETO; SILVA; ALVES, 2009c; CAO et al., 2020; WU et al., 2020). Esta configuração de eletrodos é utilizada quando se deseja aumentar o dano superficial, ou seja, para uma mesma temperatura de processo, produzem-se mais defeitos na superfície que na oxidação com a descarga planar (GUERRA NETO; SILVA; ALVES, 2009b).

Alguns autores têm investigado o tratamento em descarga planar para pré-tratamento de superfícies e/ou modificações de biomateriais metálicos de titânio (LIU;

CHU; DING, 2005). Foi reportado também que uma mistura gasosa de plasma  $H_2/Ar$ , pode ser eficiente na remoção de óxidos metálicos em um pré-tratamento, onde radicais de hidrogênio pode ajudar a reduzir óxidos, enquanto o argônio atua aumentando a eficiência da taxa de ionização (HSIEH; LI, 2006).

Segundo Zhu et al (2004), é importante melhorar aspecto nanotopográficos, químicos e físicos visando o aumento da molhabilidade e sítios de adesão celular (SILVA et al., 2005; ZHU et al., 2004; GUERRA NETO; SILVA; ALVES, 2009a). Baseado nesta afirmação e em resultados conflitantes da literatura acerca da correlação entre os aspectos físico-químicos da superfície com a molhabilidade, adotamos uma sistemática de limpeza de superfícies de titânio para analisar sua influência sobre a molhabilidade (SÁ et al., 2008; GUERRA NETO; SILVA; ALVES, 2009b; ALVES JUNIOR et al., 2005). O presente trabalho tem por objetivo estudar a influência da topografia na molhabilidade de superfícies tratadas por plasma em atmosferas de Ar e  $H_2$  e diferentes tempos de tratamento.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de limpeza por plasma foi realizado numa câmara cilíndrica de aço inoxidável, com 400 mm de diâmetro e 400 mm de comprimento, hermeticamente fechada por dois flanges (Figura 1). No flange inferior se encontram as entradas para gás, bomba de vácuo, sensor de pressão e eletrodo catodicamente polarizado. No centro do eletrodo está inserido axialmente um termopar, com o qual se mede a temperatura da amostra durante o experimento. Foi utilizado termopar do tipo K (cromel-alumel). A pressão interna da câmara foi medida através de sensor de membrana capacitiva, tipo baratron, Edwards.

Internamente a câmara possui um porta amostra em forma de disco, sobre o qual é colocada a amostra. Na configuração de cátodo oco a amostra está contida no interior de um recipiente conforme ilustrado na Figura 1. Fixou-se a distância entre cátodos (distância entre a superfície da amostra e a tampa superior), em 9 mm.

Uma fonte de corrente contínua, com tensão de saída continuamente ajustável até 1200 V e corrente máxima de 1,5 A, foi utilizada para alimentar a descarga. Além da câmara e da fonte de tensão, há também o sistema de vácuo e distribuição de gases que completam assim o equipamento.

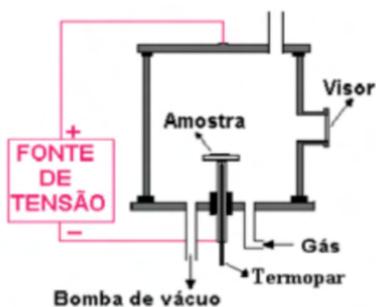


Figura 1 - Diagrama esquemático do reator a plasma

Fonte: Elaborada pelo autor

As condições de pré-tratamentos estão ilustradas Tabela 1. Para a limpeza por plasma, inicialmente a câmara foi evacuada até uma pressão na faixa de 10 Pa e então introduzido o gás de trabalho até a pressão de 220 Pa. Neste instante a fonte era ligada e ajustada até uma tensão de 500 V, quando então o gás começava a brilhar. Ajustada a pressão, esperava-se que a amostra atingisse a temperatura desejada (473K) para a limpeza. Após os tratamentos, os 18 discos (3 discos para cada condição) foram submetidos às análises por difração de raios-X com ângulo rasante (GIDRX), XPS (X-ray photoelectron spectroscopy), microscopia de força atômica (AFM) e ensaio de molhabilidade (gota sésil).

Amostra	Atmosfera	Tempo (Min)
Ar 20	Ar Puro	20
Ar 60	Ar Puro	60
H <sub>2</sub> 20	Hidrogênio Puro	20
H <sub>2</sub> 60	Hidrogênio Puro	60
Ar+H <sub>2</sub> 20	50% Ar + 50%H <sub>2</sub>	20
Ar+H <sub>2</sub> 60	50% Ar + 50%H <sub>2</sub>	60

Tabela 1 - Condição de pré-tratamento, gás utilizado, tempo

Fonte: Elaborada pelo autor

A fase e cristalinidade da superfície foi analisada usando difração de raios-X em ângulo rasante (GIDRX), com incidência igual a 0,5°. O equipamento utilizado foi um difratômetro modelo Shimadzu XRD-6000. Os espectros foram obtidos usando radiação Cu K $\alpha$  (comprimento de onda: 0,154 nm), operado em 40 KV, no intervalo entre 20° e 90°. As identificações dos picos dos difratogramas foram realizadas com auxílio das tabelas de cristalografia padrão JCPDS.

Um dos estudos que compõe a análise de molhabilidade é a determinação do ângulo de contato através da técnica da gota sésil. As amostras, antes e após o tratamento,

são colocadas num goniômetro construído no Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma (LABPLASMA) (Figura 2) e em seguida, utilizando uma micropipeta regulada para  $20\mu\text{l}$ , uma gota de água destilada é liberada sobre a amostra e sua imagem captada pela câmera de vídeo do goniômetro. Com o uso do programa suftens (programa também desenvolvido no LABPLASMA) são determinados os valores dos ângulos de contato. O processo é repetido com o glicerol, que possui componente polar e apolar contrária à água. Foram realizadas três medidas em cada amostra, significando que para cada condição estudada eram utilizados 09 valores para cada líquido. O objetivo é observar o comportamento da gota sobre a superfície da amostra durante 60s.



Figura 2 - Aparelho desenvolvido no laboratório para medir o espalhamento da gota sobre as amostras

Fonte: Elaborada pelo autor

Para análise da nano topografia da superfície foi utilizado um microscópio de força atômica da SHIMADZU modelo SPM 9600. Através da imagem obtida foi possível determinar os diferentes parâmetros de rugosidade. Obteve-se imagens num quadrado com área de  $5 \times 5$  micron (KASEMO, 2002).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 são apresentados os espectros de difração de raios-X em ângulo rasante das amostras tratadas e também da amostra sem tratamento. Todas as condições de tratamento resultaram numa redução do  $\text{TiO}_2$  para o  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ , indicando que as seis condições utilizadas foram eficazes na redução dos teores de oxigênio. A amostra controle apresenta além do  $\text{TiO}_2$  enquanto que a fase de  $\text{TiO}_3$  não é visualizada em nenhuma das amostras reduzidas por plasma. No presente trabalho observa-se que não apenas o  $\text{H}_2$  é efetivo na remoção dos óxidos, mas também o Ar ou misturas desses são eficazes. Na verdade, a atmosfera com  $\text{H}_2$  puro mostrou ser o mais eficaz para tempo de tratamento de 60 minutos, conforme pode ser visto na Figura 3. Nesta condição verifica-se que a razão de intensidade do pico referente à fase  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  é muito pequena comparativamente à intensidade do pico  $\text{TiO}_2$  (101). Observando-se os dois primeiros picos  $\text{TiO}_2$  (101) e  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  (110) verifica-se uma maior

redução deste último para as amostras tratadas com Ar/H<sub>2</sub> seguidas das amostras tratadas com argônio e finalmente pelas amostras tratadas com H<sub>2</sub>. Para as demais condições pode-se afirmar que não houve diferenças significativas nas razões desses picos.

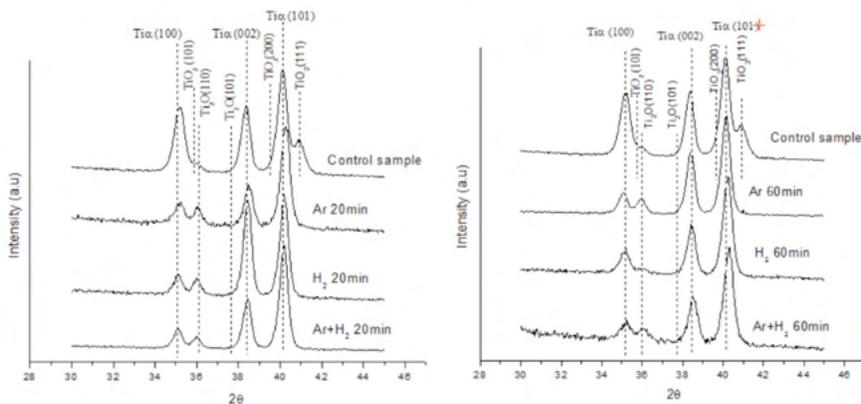


Figura 3 - Difração de Raio-X de amostras tratadas em plasma comparativamente com amostra não tratada com incidência rasante de 0,5 grau

Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se na Figura 4 abaixo a tendência de uma maior eficácia de Ar/H<sub>2</sub> na remoção de óxidos quando comparado com as demais condições. De acordo com o XPS ocorre uma redução crescente de O<sub>2</sub> na ordem, H<sub>2</sub> 20, Ar 20, Ar+H<sub>2</sub> 20, H<sub>2</sub> 60, Ar 60, Ar+H<sub>2</sub> 60 mostrado também a influência do tempo de tratamento na eliminação de óxido.



Figura 4 - XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) das amostras tratadas por plasma

Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se então afirmar que as diferenças entre as superfícies, se houver, devem ser de origem topográfica. Sabendo que a molhabilidade da superfície é resultante de fatores físicos e químicos (KASEMO, 2002), espera-se que os resultados da topografia da superfície possam responder pelos diferentes valores de molhabilidade que serão verificados nesse trabalho, uma vez que quimicamente foi verificado não haver diferenças entre as superfícies, excetuando apenas a amostra H<sub>2</sub> 60 que apresentou a menor intensidade do pico de Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A análise XPS mostrou que a eficácia da redução foi maior para a mistura Ar – H<sub>2</sub>, seguida por Ar e H<sub>2</sub>.

A nanotopografia tem sido definida como uma superfície que apresenta topografia característica, com uma magnitude de 100 nm ou menos. Essas modificações alteram as interações da superfície com íons, biomoléculas e células que influenciam na adesão, proliferação e diferenciação celular, que vão interferir no processo de osseointegração, potencializando seus efeitos (WHITEHEAD et al., 1995).

Em todas as amostras tratadas foi verificada modificação topográfica. Na Figura 4 são apresentadas ilustrativamente uma superfície do titânio polido e outra após tratamento por plasma (tratada). Verifica-se que a amostra tratada com Ar/H<sub>2</sub> 20 minutos apresenta uma superfície modificada, comparativamente à amostra controle, devido ao bombardeamento iônico causado pelo argônio e/ou hidrogênio. Ainda na mesma amostra, pode-se explorar alguns parâmetros de rugosidade que serão importantes na avaliação da molhabilidade das amostras. Na Figura 5 são apresentados os valores dos picos de maior altura para as duas superfícies. Além disso, são fornecidos pelo programa computacional outros parâmetros como Ra, Rp, Rv e Rz, que são extraídos das curvas de perfis apresentados ao lado de cada figura.

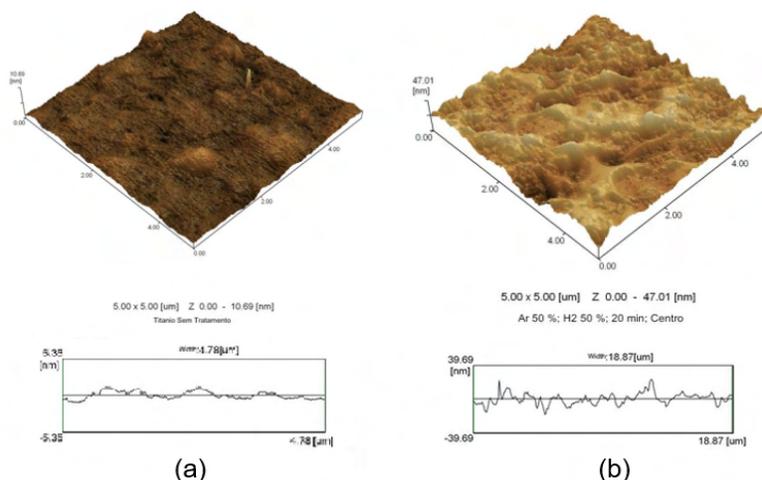


Figura 5 - Nanotopografias das superfícies (a) amostra polida, (b) amostra tratada em mistura de Ar e H<sub>2</sub> durante 20 minutos (Ar + H<sub>2</sub> 20)

Fonte: Elaborada pelo autor

O parâmetro Ra é definido como a altura média de picos e vales existente numa superfície (ELIAS et al., 2008). Uma alteração nesse parâmetro não expressa todas as variações de rugosidade, ou seja, alterações na distribuição e alturas dos picos podem compartilhar valores de (Ra) em comum, não definindo com clareza o comportamento do relevo superficial (WHITEHEAD et al., 1995). Vários autores correlacionam os valores de Ra com a molhabilidade da superfície (WHITEHEAD et al., 1995; ELIAS et al., 2008; LIM; OSHIDA, 2001). Todos afirmam que existe uma relação direta entre a rugosidade (Ra) e a molhabilidade.

Outra opção de expressar o perfil topográfico seria com a utilização dos parâmetros Rp e Rz. O parâmetro Rp é obtido pela média de altura do pico em relação à linha central em 5 leituras consecutivas e o Rz é calculado pela soma da altura máxima dos picos (Rp) com a profundidade máxima dos vales (Rv), no comprimento da amostragem (ZHU et al., 2004). A razão Rp/Rz é de especial importância na avaliação do formato da superfície, pois uma razão maior que 0,5 indica picos pontiagudos enquanto valores menores que 0,5 indica uma superfície com picos arredondados (ZHU et al., 2004). Segundo esses autores, picos arredondados favorecem o espalhamento de líquidos na superfície. Usando essa hipótese, através da avaliação da razão Rp/Rz pode-se estimar sua influência sobre a molhabilidade (ZHU et al., 2004). A análise da molhabilidade é um fator importante para definir a biocompatibilidade e essa por sua vez tem importância primordial na osseointegração dos biomateriais (ALBREKTSSON; WENNERBERG, 2004; GUERRA NETO; SILVA; ALVES, 2009a). Ângulos de contatos baixos significam maior molhabilidade, isto é, superfície mais hidrofílica (KASEMO, 2002).

No presente trabalho foram obtidos os valores de Ra, Rp e Rz a partir da média obtida em 2 perfis de níveis traçados para cada superfície observada. Também foram medidos os ângulos de contato de gotas séssil de água destilada e glicerol, quando depositadas sobre essas superfícies. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Amostras	Ra (nm)	Rz (nm)	Rp (nm)	Rp/Rz	Ângulo de contato (H <sub>2</sub> O) (θ)	Ângulo de contato (Glicerol) (θ)
Controle	0,51	10,67	0,68	0,063730084	52,67	52,90
Ar (20)	6,57	59,6	37,4	0,627516779	48,71	53,00
Ar (60)	8,53	93,08	60,23	0,647077783	56,8	64,00
H <sub>2</sub> (20)	4,9	85,34	62,35	0,730606984	89,87	86,30
H <sub>2</sub> (60)	6,3	53,89	24,7	0,458341065	44,69	80,50
Ar/ H <sub>2</sub> (20)	4,5	46,94	21,3	0,453770771	38,64	59,60
Ar/ H <sub>2</sub> (60)	5,64	41,43	19,99	0,482500603	63,16	72,40

Tabela 2 - Valores de rugosidade e ângulo de contato

Fonte: Elaborada pelo autor

No presente trabalho, a correlação direta de Ra com a molhabilidade não foi observada nem mesmo entre pares de amostras tratadas em tempos diferentes. Como pode ser observado na Tabela 2, houve aumento da rugosidade Ra para todas as condições quando foi aumentado o tempo de bombardeamento iônico. Por exemplo, a amostra bombardeada com argônio durante 20 min. (Ar 20) aumentou o Ra de 59,6 nm para 93,1 nm, quando bombardeada durante 60 minutos (Ar 60). Entretanto, quando se observa os ângulos de contato não houve aumento da molhabilidade, como previsto na literatura (CHRISTENSON et al., 2007). Como pode ser observado o ângulo de contato aumentou o que significa decréscimo de molhabilidade. O mesmo acontece com o Ar/H<sub>2</sub> 20 min e 60 min, a rugosidade aumenta enquanto a molhabilidade diminui. Apenas para as amostras tratadas com H<sub>2</sub> é que foi observada uma correlação direta entre o parâmetro Ra e a molhabilidade.

Observando agora na Tabela 2 a correlação entre a razão Rp/Rz para pares de amostras tratadas na mesma atmosfera, mas em tempos diferentes, verifica-se que ela existe apesar de não ter uma proporcionalidade direta. Para amostras tratadas na atmosfera de H<sub>2</sub> puro, pode ser observado que os picos passaram de pontiagudos (razão Rp/Rz maior que 0,5) quando tratadas durante 20 minutos, para picos arredondados (razão Rp/Rz menor que 0,5) quando tratadas durante 60 minutos. De fato, a molhabilidade é maior nos picos arredondados, conforme previsto na literatura. Para os demais pares, as diferenças na razão Rp/Rz não são tão grandes como nas amostras tratadas com H<sub>2</sub>. Observa-se que as amostras tratadas durante 60 minutos em argônio possuem os picos mais pontiagudos, enquanto nas amostras tratadas com a mistura Ar+H<sub>2</sub> possuem picos mais arredondados. Para as amostras tratadas com a mistura Ar+H<sub>2</sub>, embora os resultados da razão Rp/Rz sejam muito próximos, observa-se que os valores das molhabilidades são muito diferentes, indicando pouca ou nenhuma correlação.

Na Figura 6 são apresentados os valores dos ângulos de contato de uma gota séssil de água destilada (6a) e glicerol (6b) para todas as amostras estudadas. De uma maneira geral, houve pouca variação entre os valores dos ângulos de contatos quando se mudou da água para o glicerol.

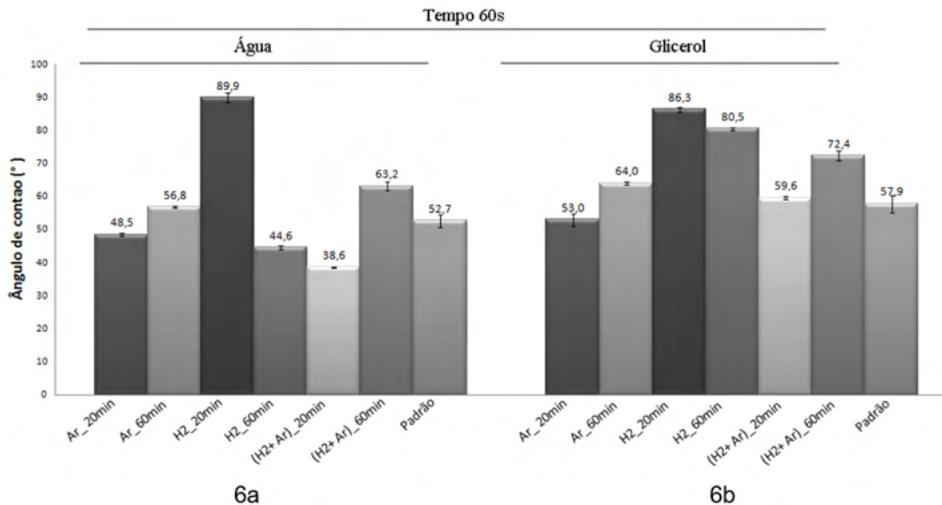


Figura 6 - Valores do ângulo de contato de uma gota de água (6a) e glicerol (6b) em superfícies de titânio tratadas por plasma

Fonte: Elaborada pelo autor

Nesta Figura 6 pode-se observar que as duas maiores variações ocorridas foram para as condições H<sub>2</sub> 60 e Ar/H<sub>2</sub> 20. Nestas condições observa-se um aumento no valor do ângulo de contato de 44,60° para 86,30° (amostra H<sub>2</sub> 60) e de 38,60° para 59,60° (amostra Ar/H<sub>2</sub> 20) quando muda da água para o glicerol, respectivamente. Uma das hipóteses para explicar a grande diferença nesses valores pode ser feita com base no ângulo de contato aparente dado pela equação Cassie – Baxter modificada (eq. 1), introduzida por Marmur (2003).

$$\cos \theta^* = r \phi_s \cos \theta + \phi_s - 1 \quad (1)$$

Onde  $\theta^*$  é o ângulo de contato aparente quando a superfície é rugosa,  $r$  é a razão entre a superfície real e a superfície geométrica,  $\theta$  é o ângulo de contato de uma superfície lisa e  $\phi_s$  é a fração da superfície molhada pelo líquido. Quando uma gota é depositada sobre uma superfície rugosa haverá uma acomodação do líquido que dependerá da tensão superficial líquido-ar e ângulo de inclinação da superfície do vale. A Figura 7 ilustra essa situação.

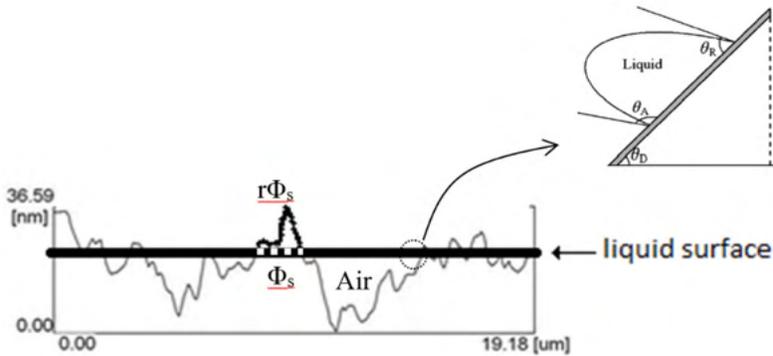


Figura 7 - Esquema ilustrativo da influência da tensão superficial e inclinação da superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

Como a tensão superficial glicerol-ar é menor que da água-ar, significa que haverá uma maior tendência de expulsão para a gota do glicerol devido ao ar presente nos vales. As superfícies possuindo maior número de vales na região ocupada pela gota terão maiores diferenças do ângulo de contato aparente entre a água e o glicerol. Na Figura 8 são mostrados os perfis topográficos extraídos das análises por AFM das amostras estudadas.

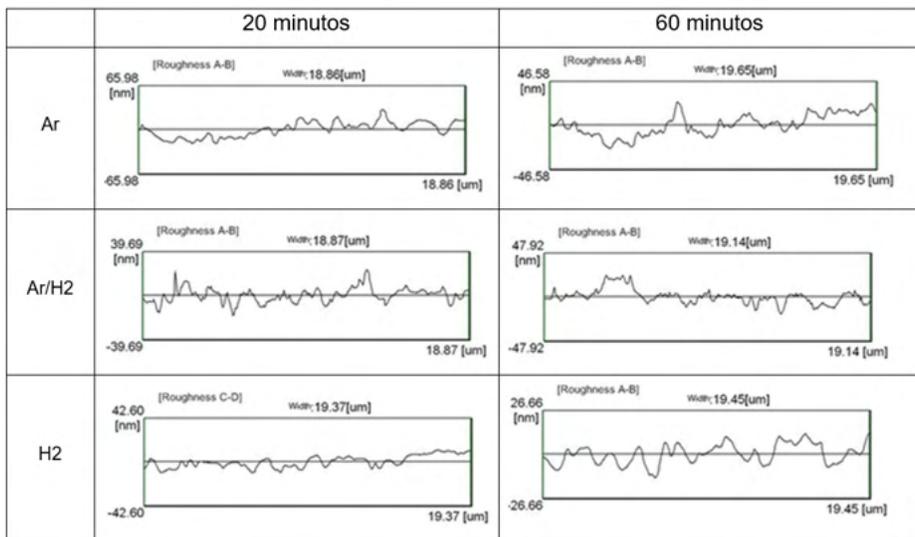


Figura 8 - Perfis topográficos das amostras com diferentes parâmetros de tratamento

Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se observar que essas superfícies possuem diferenças de perfis, apesar dos valores de Ra e/ou Rp/Rz em alguns casos serem próximos. Por exemplo, as amostras Ar/H<sub>2</sub> 60 e H<sub>2</sub> 60 apesar de possuírem valores de Ra e Rp/Rz muito próximos, os perfis

topográficos são bastante diferentes.

Da mesma forma pode ser observada na amostra Ar 20, apesar de ter uma razão  $R_p/R_z$  maior que 0,5 ela apresentou menor ângulo de contato (maior molhabilidade), enquanto o contrário aconteceu na amostra Ar/ $H_2$  60. Em uma observação mais atenta dos perfis nanotopográficos, verifica-se que essa última apresenta conjunto de picos com menor distância entre si, aumentando o ângulo de contato aparente, justificando assim a menor molhabilidade da amostra Ar/ $H_2$  60 min (NAKAE et al., 1998; YAN; GAO; BARTHLOTT, 2011).

Desse modo, esses parâmetros de rugosidade discutidos no presente trabalho ainda não são suficientes para se realizar correlações diretas entre a topografia da superfície e a molhabilidade. É preciso um parâmetro que leve em consideração valores de  $r$  e  $\phi$ s apresentados na equação de Cassie-Baxter (eq. 1) (YAN; GAO; BARTHLOTT, 2011).

Um dado interessante de correlação entre molhabilidade e topografia da superfície acontece quando se compara os valores médios da razão  $R_p/R_z$  com o ângulo de contato, independente da condição de tratamento. A Figura 9 mostra um gráfico da  $R_p/R_z$  em função do ângulo de contato para água. Como pode ser observado, há uma correspondência direta entre os mesmos, quando se observa as superfícies com picos pontiagudos separadamente das superfícies com picos arredondados.

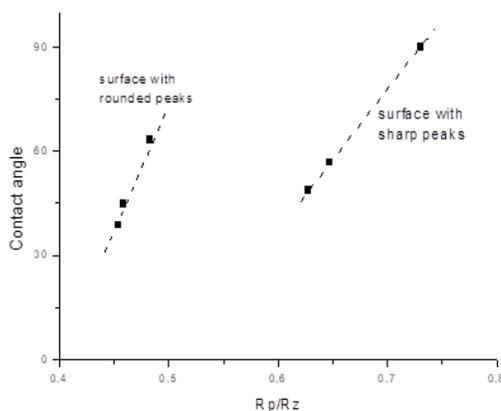


Figura 9 - Gráfico do ângulo de contato com a razão entre  $R_p/R_z$

Fonte: Elaborada pelo autor

## 4 | CONCLUSÃO

O presente trabalho discute a correlação entre topografia de superfície e molhabilidade, mostrando que os parâmetros convencionais de rugosidade até o momento apresentados para correlacionar não são suficientes. Nesse sentido é sugerido um novo parâmetro que leve em consideração termos contidos na equação de Cassie – Baxter,

como a distância entre picos e r̕s. Também é mostrado que processos preliminares como a limpeza de superfície, pode resultar em diferentes valores de molhabilidade. Dos resultados obtidos pode-se concluir que:

1. Todas as condições exibiram padrão de XRD semelhante, contendo principalmente Tia e uma pequena quantidade de óxido de  $Ti_2O_3$ , obtido após uma redução no  $TiO_2$ .
2. A análise XPS mostrou que a eficácia da redução foi maior para a Mistura Ar –  $H_2$ , seguida por Ar e  $H_2$ .
3. Nenhuma correlação foi encontrada entre Ra e molhabilidade, ou entre pares com a mesma atmosfera e tempos de tratamento diferentes.
4. Foi observada uma correlação entre Rp/Rz e molhabilidade, quando em comparação com pares tratados com a mesma atmosfera, mas a proporcionalidade não era direta.

## REFERÊNCIAS

A. Marmur, **Langmuir** 19 (2003) 8343–8348.

ALBREKTSSON, T., WENNERBERG, A. **Oral implant surfaces: Pat 1 - review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them.** International Journal of Prosthodontics v. 17, p. 536-43, 2004.

Alves Jr, C. et al., **Nitriding of titanium disks and industrial dental implants using hollow cathode discharge.** Surface and Coatings Technology, 2005; 194, Issues 2-3:196-202.

AMORIN, A. et al. **Implantodontia: Histórico, Evolução e Atualidades.** Rev. mult. psic. v. 13, n. 45, p. 36-48, 2019. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id>. Acesso em: 27 jul. 2020.

Binon, P.P.; Weir, D.J. Marshall, S.J. **Surface analysis of an original Branemark implant and three related clones.** Int. J. oral Maxillofac. Implants, Summer 1992. 7n. 2, p. 168-175.

Cao, K., et al., **Surface functionalization on nanoparticles via atomic layer deposition.** Science Bulletin, 2020. 65(8): p. 678-688.

Chang H.Y. et al., **surface Oxide that cleans for a Surface of plasma of atmospheric pressure and Layers** Materials Science and Engineering, 2004; 177 -178, 711-715.

Christenson EM, Anseth KS, van den Beucken JJ, Chan CK, Ercan B, Jasen JA et al. **Nanobiomaterial applications in orthopedics.** J Orthop Res 2007;25:11-22.

ELIAS, C. N., OSHIDA, Y., LIMA, J. H. C et al. **Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque.** Journal on Mechanical Behavior of Bio medical Materials, v. 1, p. 234-42, 2008.

GUERRA NETO, C. L. B. ; SILVA, M. A. M. ; ALVES JR, C. . **Osseointegration evaluation of plasma nitrided titanium implants.** Surface Engineering, v. 25, p. 434-439, 2009a

- Guerra Neto, C.L.B., Silva, M.A.M., Alves JR., C. **Experimental study of plasma nitriding dental implant surfaces**. Surface Engineering. 2009b; 25,1-4.
- GUERRA NETO, C.L.B; SILVA, M.A.M.; ALVES, JR C., **In vitro study of cell behaviour on plasma surface modified titanium**. Surface Engineering, p.146-150, 2009c.
- H. Nakae, R. Inui, Y. Hirata, H. Saito, “**Effect of surface roughness on wettability**”, Acta Mater. 46, 7 (1998) 2313-2318.
- Hsieh J.H., C. LI. **Effects of hollow cathode and Ar/H<sub>2</sub> ratio on plasma cleaning of Cu lead frame** Surface and technology, 2006; 101-103.
- Kasemo, B. **Surface Science**. 2002; 500, 656
- Kasemo, E., Lausmaa, J.: **Biomaterial and implant surfaces: On the role of cleanliness, contamination and preparation procedures**. J. Biomed. Mater. Res. 1988; 22:1.45-1.58.
- LIM, Y. J., OSHIDA, Y. **Initial contact angle measurements on variously treated dental/medical titanium materials**. Biomedical materials and engineering, p.1-17, 2001
- Liu X., Chu P. K., Ding C., **Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications**, Materials Science and Engineering, 2005;01 – 69.
- M. Takeuchia et al., **Acid pretreatment of titanium implants**. Biomaterials, 2003; 24,1821–1827.
- SÁ, J. C., et al. **Influence of argon ion bombardment of titanium surfaces on the cell behavior**. Surface & Coatings Technology. 2008; 203: 1765-70.
- SILVA, M. A. M.; MARTINELLI, A. E.; ALVES JR, C.; NASCIMENTO, R. M.; TÁVORA, M. P.; VILAR, C. D. **Surface modification of Ti implants by plasma oxidation in hollow cathode discharge** Surface & Coatings Technology 20, 612 – 620,2005.
- Whitehead SA, Shearer AC, Watts DC, Wilson NH. **Comparison of methods for measuring surface roughness of ceramic**. J Oral Rehabilitation 1995; 22(6): 421-7.
- Wu, X., et al., **Improved packing performance and structure-stability of casein edible films by dielectric barrier discharges (DBD) cold plasma**. Food Packaging and Shelf Life, 2020. 24: p.
- Y.Y. Yan.; N. Gao.; W. Barthlott. **Mimicking natural superhydrophobic surfaces Bormashenko, E., General equation describing wetting of rough surfaces**, Journal of Colloid and Interface Science 360 (2011) 317–319
- Zhu et al., “**Effects of topography and composition of titanium surface oxides on osteoblast responses**”, Biomaterials, 2004; 25, 4087- 4103.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumínio-Cobre 131

Aplicação 8, 14, 19, 30, 34, 36, 38, 39, 46, 59, 81, 84, 121, 145, 146, 150, 156, 157, 158, 159, 180, 204, 209, 210, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 250, 267, 295, 304, 305

Aplicativos 145, 146, 147

Aprendizagem 36, 37, 38, 39, 40, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 84, 114, 145, 146, 147, 148, 149, 161, 179, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 244, 248, 249, 250

Arduino 79, 81, 83, 85, 296, 297

Atividades lúdicas 36, 39, 44, 46, 199

Atividades remotas 117

Audição 236, 237, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Aulas práticas 36, 38, 45

Automação 49, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 193, 296, 300, 305

Autônomo 8, 21, 47, 52, 53, 58, 224

Avaliação 5, 6, 18, 30, 35, 53, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 81, 90, 103, 109, 111, 113, 115, 126, 127, 129, 131, 145, 150, 157, 158, 159, 170, 171, 195, 220, 221, 223, 236, 237, 239, 243, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 292

### B

Banco de dados 87, 88, 241, 299, 303, 307

Base tecnológica 6, 22, 64, 65

Big data 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279

Biomateriais 164, 165, 171

### C

Capacidade funcional 123, 124, 125, 126, 127, 129, 237

Capacitação 2, 47, 49, 50, 51, 66, 67, 146, 149, 156, 160, 213, 283

Carro elétrico 178, 190, 191

Cibercultura 69, 76, 78

Coleta de dados 41, 86, 90, 91, 92, 93, 145, 150, 179, 196, 201

Conhecimento 1, 2, 3, 5, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 27, 29, 35, 38, 39, 42, 46, 48, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 80, 81, 84, 86, 92, 107, 113, 121, 147, 148, 149, 157, 159, 161, 179, 196, 197, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 217,

220, 250, 290, 291

Contratação 21, 47, 48, 54, 285

Coronavírus 69, 70, 72, 74, 75

COVID-19 117, 118, 120, 212

## D

Desenvolvimento 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 46, 48, 49, 51, 52, 53, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 82, 83, 87, 88, 89, 94, 105, 117, 120, 145, 148, 151, 178, 179, 193, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 203, 204, 206, 207, 212, 220, 224, 236, 237, 244, 249, 251, 256, 257, 267, 280, 281, 282, 283, 284, 289, 290, 291, 296, 297, 300, 302, 305, 306, 307

Dispositivo 10, 81, 82, 84, 165, 237

Docente 37, 39, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 74, 78, 103, 108, 160, 197, 199, 209, 218, 219

Drone 224

## E

Educação 15, 26, 36, 37, 45, 47, 49, 50, 51, 54, 55, 56, 59, 62, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 85, 103, 105, 107, 113, 114, 115, 122, 125, 129, 147, 149, 161, 198, 199, 200, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 223, 246, 250, 284, 291, 307

Eletromobilidade 178, 190

Empreendedorismo social 117

Empresas 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 48, 50, 64, 65, 66, 67, 68, 95, 96, 99, 100, 101, 120, 197, 256, 270, 275, 277, 278, 280, 281, 282, 284, 285, 288, 289, 290, 291, 292

Ensino 15, 23, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 85, 103, 114, 115, 116, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 160, 161, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 221, 222, 223, 244

Ensino-aprendizagem 36, 37, 38, 39, 45, 50, 52, 54, 146, 148, 197, 198, 199

Enxame 224

Estado funcional 123, 124, 125, 126, 128, 129

Exclusão digital 117, 121, 122

## F

Formação 2, 7, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 59, 60, 62, 63, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 87, 94, 108, 109, 113, 132, 143, 149, 191, 208, 210, 212, 213, 215, 216, 217, 282, 283, 286, 292

Funcionalidade 123, 124, 125, 127, 128, 129, 237

## H

Híbrido 187, 194, 209, 211, 214, 215, 217, 218, 221, 222

## I

Implante 236, 237, 238, 242, 243, 248, 249, 252, 253

Incubadoras 23, 64, 65, 66, 67, 68

Independência funcional 123, 124, 125, 126, 127, 128

Indústria 6, 12, 20, 26, 30, 35, 74, 131, 132, 165, 178, 179, 282, 283, 289, 290, 291, 297

Inovação 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 64, 65, 68, 71, 163, 208, 214, 216, 280, 281, 282, 283, 284, 289, 290, 291, 292, 293, 295, 307

Instagram 69, 70, 71, 74, 76, 77, 119, 122

Integrador 209, 211, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 223

## J

Jogos eletrônicos 145, 146, 147, 148, 150, 159, 160, 161, 207

Jogos lúdicos 36, 38, 39, 45, 46

## L

Laminação 131, 133, 134, 135, 136, 140, 143, 144

## M

Matemática 37, 45, 47, 49, 51, 55, 79, 80, 82, 83, 85, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 157, 159, 160, 161, 208, 274

Microdureza 131, 133, 135, 140, 143, 144

Molhabilidade 163, 164, 166, 167, 170, 171, 172, 175, 176

Motores 20, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 190, 191, 193, 194, 195, 299

## O

Organização 2, 6, 7, 27, 29, 60, 63, 73, 78, 81, 112, 196, 201, 210, 212, 237, 252, 292

Óxido de Titânio 164

## P

Pandemia 48, 50, 51, 69, 70, 72, 74, 75, 78, 117, 118, 120, 121, 122, 208, 212

Pesquisa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 40, 41, 45, 55, 65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 103, 106, 107, 108, 109, 111, 113, 114, 115, 116, 123, 124, 127, 129, 149, 150, 160, 165, 179, 190, 196, 198, 199, 200, 201, 206, 207, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 224, 236, 237, 238, 239,

240, 251, 256, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 292, 296

Plasma 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 173, 176, 177, 261, 295

Poder público 86, 87, 90, 91, 93, 101

Políticas 5, 10, 15, 25, 26, 27, 35, 54, 61, 64, 65, 69, 78, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 94, 105, 114, 147, 193, 214, 220, 280, 283, 284, 291, 292

Problemas 2, 6, 9, 10, 21, 22, 24, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 65, 80, 81, 83, 85, 96, 101, 102, 147, 148, 159, 160, 161, 165, 187, 199, 216, 217, 243, 247, 272, 273, 277

Programa 6, 9, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 99, 163, 168, 170, 231, 232, 233, 239, 283, 290, 292, 300

Projeto 4, 18, 67, 75, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 103, 106, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 149, 157, 159, 192, 194, 204, 209, 211, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 256, 290, 297

## Q

Qualidade 12, 21, 26, 37, 53, 59, 60, 74, 77, 123, 127, 128, 129, 136, 149, 161, 197, 213, 216, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 243, 244, 248, 252, 253, 263, 281, 283, 296, 297, 300, 301, 305

## R

Reatores nucleares 256

Recristalização 131, 135, 140, 143, 144

Resolução 9, 10, 21, 47, 49, 51, 54, 55, 80, 85, 107, 147, 148, 157, 158, 159, 160

Revisão 32, 40, 119, 123, 124, 125, 126, 129, 130, 150, 152, 157, 178, 179, 190, 191, 207, 209, 221, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 248, 249, 250, 251, 280, 282

Robótica 79, 80, 82, 83, 84, 85, 225, 227, 294, 296, 297, 298, 306

Rugosidade 164, 168, 170, 171, 172, 175

## S

Semi-autônomo 224

Sistema 4, 5, 6, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 27, 29, 32, 34, 61, 83, 84, 97, 120, 150, 166, 178, 179, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 191, 193, 194, 225, 226, 235, 275, 280, 281, 282, 283, 284, 290, 291, 294, 296, 297, 298, 299, 302, 305, 306

Softwares 47, 48, 53, 88, 89, 145, 148, 149

Solda 256, 257, 259, 261, 262, 263, 265, 267

Solidificação direcional 131

Stakeholder 118, 119, 120

Sustentabilidade 85, 178, 291, 295

## **T**

Tabela periódica 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Tecnologia 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 47, 49, 51, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 74, 77, 78, 80, 85, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 113, 114, 116, 118, 119, 120, 146, 147, 160, 161, 178, 183, 184, 190, 192, 193, 197, 198, 202, 210, 212, 214, 222, 223, 257, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 289, 291, 292, 293, 295, 296, 307

Tecnologias digitais 54, 79, 80, 197

Tecnologização 69

Topografia 163, 166, 168, 170, 175

Transferência de tecnologia 6, 24, 64, 65

Tratamento térmico 131, 132, 133, 143, 262

Treinamento 26, 48, 49, 50, 51, 52, 53

## **V**

Vulnerabilidade social 117, 121

Vygotsky 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 78, 208

## **W**

Web crawler 86, 88, 89, 91, 92, 93, 94

Websites 88

A circular inset image showing a close-up of several glass vials in a laboratory setting, viewed through a microscope. One vial in the foreground is clearly labeled "SARS-CoV-2 Vaccin".

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
@atenaeditora   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# Ciência, tecnologia e inovação:

3

Fatores de progresso e de desenvolvimento



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# Ciência, tecnologia e inovação:

3

Fatores de progresso e de desenvolvimento