

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

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.



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

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. 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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
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  
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

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

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-731-4

DOI 10.22533/at.ed.314211901

1. Metalurgia. 2. Engenharia de Materiais e Metalúrgica. 3. Tecnologias. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 669

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.

## APRESENTAÇÃO

No atual cenário mundial, onde se exige cada vez mais competitividade empresarial, buscar a redução de custos aliadas e a melhoria de qualidade é quase que uma exigência para se manter ativo no mercado. Desta forma a multidisciplinaridade é quase que obrigatória aos profissionais das áreas de engenharia, transitando entre conceito e prática, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Destaca-se a apresentação das áreas da engenharia de materiais com o desenvolvimento e melhoria de produtos já existentes ou de novos produtos. De abordagem objetiva e prática a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDO DA CORROSÃO DE AÇO CARBONO EM DIFERENTES MEIOS E O TRATAMENTO POR ELETRÓLISE**

Matheus Assumpção Ventura  
Lorrana Marchon Silva das Neves  
Marlon Demaur Cozine Silva

**DOI 10.22533/at.ed.3142119011**

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO COM DUREZA E MICROESTRUTURA DO LATÃO $\alpha + \beta$ CU- 42% ZN**

Paulo Kazuto Suyama Junior  
Givanildo Alves dos Santos  
Francisco Yastami Nakamoto  
Márcio Rodrigues da Silva  
Vinicius Torres dos Santos  
Antonio Tadeu Rogerio Franco  
Maurício Silva Nascimento  
Antonio Augusto Couto

**DOI 10.22533/at.ed.3142119012**

### **CAPÍTULO 3..... 19**

#### **ANÁLISE DE LIGAS DE COBRE E A INFLUÊNCIA DA INSERÇÃO DE NIÓBIO: UMA REVISÃO**

Anderson do Bomfim Gonzaga  
Eduardo Palmeira da Silva  
Rogério Teram  
Maurício Silva Nascimento  
Vinicius Torres dos Santos  
Márcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.3142119013**

### **CAPÍTULO 4..... 27**

#### **FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTO SUPER-HIDROFÓBICO EM LIGA DE ALUMÍNIO 5052 E AVALIAÇÃO DA PROPRIEDADE DE AUTOLIMPEZA**

Wagner Daniel Oliveira de Araújo  
Rafael Gleymir Casanova da Silva  
Maria Isabel Collasius Malta  
Magda Rosângela Santos Vieira  
Severino Leopoldino Urtiga Filho

**DOI 10.22533/at.ed.3142119014**

### **CAPÍTULO 5..... 37**

#### **COMPORTAMENTO MECÂNICO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE COMPÓSITOS DE**

## **MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU**

José Maria Braga Pinto  
Douglas Santos Silva  
Roberto Tetsuo Fujiyama

**DOI 10.22533/at.ed.3142119015**

## **CAPÍTULO 6..... 49**

### **ROADMAP PROPOSAL: PCB AND NANOFIBERS AS STRATEGY FOR INCREASING PROCESS INTENSIFICATION**

Ana Neilde Rodrigues da Silva  
Neemias de Macedo Ferreira  
Maria Lúcia Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.3142119016**

## **CAPÍTULO 7..... 62**

### **CERÂMICA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO APÓS FORMAÇÃO DE EFLORESCÊNCIA**

Thayane Pereira da Silva  
Elias Fagury Neto  
Adriano Alves Rabelo

**DOI 10.22533/at.ed.3142119017**

## **CAPÍTULO 8..... 71**

### **SÍNTESE DE CERÂMICAS BIFÁSICAS DE FOSFATOS DE CÁLCIO PELO MÉTODO PECHINI**

Geysivana Késsya Garcia Carvalho  
José Rosa de Souza Farias  
Veruska do Nascimento Simões  
Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI 10.22533/at.ed.3142119018**

## **CAPÍTULO 9..... 82**

### **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO ALUMINATO DE ESTRÔNCIO DOPADO COM TÉRPIO ATRAVÉS DO MÉTODO DE POLIMERIZAÇÃO POR EMULSÃO REVERSA E A INFLUÊNCIA DO PH NO POLIMORFISMO**

Talyta Silva Prado  
Paulo Neilson Marques dos Anjos

**DOI 10.22533/at.ed.3142119019**

## **CAPÍTULO 10..... 97**

### **ESTUDO DA ÁREA SUPERFICIAL DA PALIGORSKITA: REVISÃO**

Gilsiane Costa Spíndola  
Érico Rodrigues Gomes  
Gilvan Moreira da Paz  
Jaciel Cleison Pereira dos Santos  
Herivelton de Araujo Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.31421190110**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>107</b>
<b>USO DE PÓ DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA SOLOS DA AGRICULTURA: REVISÃO</b>	
Vanessa Ribeiro Castro	
Leandro Josuel da Costa Santos	
Érico Rodrigues Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>119</b>
<b>A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO RENDIMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS – REVISÃO</b>	
Gustavo Neves Margarido	
Federico Bernardino Morante Trigoso	
Carlos Frajuca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190112</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>122</b>
<b>BIOMATERIAIS COMO PRECURSORES DE CARBONOS POROSOS ATIVADOS PARA APLICAÇÃO EM SUPERCAPACITORES – REVISÃO</b>	
Alexandre da Silva Sales	
Érico Rodrigues Gomes	
Gilvan Moreira da Paz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190113</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>135</b>
<b>TRANSISTOR DE FILME FINO ORGÂNICO <i>BOTTOM GATE – BOTTOM CONTACT</i> PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Dennis Cabrera García	
Loren Mora Pastrana	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31421190114</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>148</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>149</b>

## ROADMAP PROPOSAL: PCB AND NANOFIBERS AS STRATEGY FOR INCREASING PROCESS INTENSIFICATION

*Data de aceite: 04/01/2021*

*Data de submissão: 22/10/2020*

### **Ana Neilde Rodrigues da Silva**

DSE, Faculdade de Tecnologia de São Paulo,  
Centro Paula Souza  
LSI, PSI, Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/2391615767440759>

### **Neemias de Macedo Ferreira**

Micropress S/A  
<http://lattes.cnpq.br/5226105462828900>

### **Maria Lúcia Pereira da Silva**

DSE, Faculdade de Tecnologia de São Paulo,  
Centro Paula Souza  
LSI, PSI, Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6130284183442792>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo propor um roadmap para produção de dispositivos miniaturizados úteis para intensificação de processos, uma tendência irreversível na área de Engenharia Química e/ou Materiais. A característica que o distingue é o uso de tecnologia madura, e material de baixo custo. A metodologia utilizou-se das técnicas consagradas na área de eletroeletrônicos para o desenvolvimento de processos e produtos eletrônicos além da proposta de roadmap. Foi possível observar que a maioria das etapas de produção necessárias pode ser obtida usando a tecnologia de produção de placas de circuito

impresso. Um novo setup desenvolvido para depositar nanofibras poliméricas no dispositivo foi apresentado. O setup além de ser de relativo baixo custo é facilmente integrado a outras etapas de produção do dispositivo. A etapa limitante do desenvolvimento é a selagem do conjunto, que deverá ser desenvolvida de acordo com a tecnologia de fabricação de PCI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Intensificação de processo, nanofibras, PCI, eletrofiação, roadmap.

### **PROPOSTA DE ROADMAP: PCI E NANOFIBRAS COMO UMA ESTRATÉGIA PARA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS**

**ABSTRACT:** This work aimed to propose a roadmap for the production of miniaturized devices useful for intensifying processes, an irreversible trend in the area of Chemical Engineering & Materials. The distinguishing feature on this work is the use of a mature technology, and low-cost material. The methodology is based on techniques established in the electronics field for the development of processes, products and the proposal of roadmaps. It was observed that most of the necessary production steps can be achieved using printed circuit board technology. A new setup developed to electrospun polymer nanofibers to a device was presented. The setup, in addition to this relatively low cost, is easily integrated with other devices production steps. The limiting step on the development is the sealing of the device, which must be developed according to the technology of printed circuit boards.

**KEYWORDS:** Process intensification, nanofiber, PCB, electrodynamic focusing, roadmap.

## 1 | INTRODUCTION

On the electronic sector, the impressive development that occurred on the last decades depended on, among several factors, the design of really miniaturized and multifunctional devices. Furthermore, this miniaturization trend spread in many other production sectors and for some of them, such as Chemical Engineering and Materials, it also corresponds to true revolution, as can be seen on Table 1 and will be explained throughout this item.

Chemical Engineering field was one of the most benefitted areas from the miniaturization tendencies that occurred on the last few decades, mainly due to the concept of Process Intensification (PI). PI consists in a well-defined strategy for improvement of products and processes. Although there are many distinct definitions for PI, in a broad approach as assigned by (STANKIEWICZ & MOULIJN, 2000), it can be defined as “any chemical engineering development that leads to a substantially smaller, cleaner, and more energy efficient technology”. As shown on Table 1, PI is an important research topic (almost 60K appearances) for chemical Engineering areas (more than 30K appearances); however, the miniaturization as a trend and microreactors as a consequence became a meaningful topic only on XXI century (EHRFELD et al, 2000)(AGAR, 1999).

Printed circuit board (PCB) technology is a well-established production area that allows defining thin conductive tracks and pads etched on a copper foil laminated on an insulating substrate, rigid or flexible, aiming at support mechanically and connect electrically electronic components.

In addition, it is possible manufacturing miniaturized devices for PI development using the PCB processes, even in flexible laminates (TSAI et al, 2006)(MATLOSZ; RODE; COMMENGE, 2001), but it is uncommon, as shown on Table 1. On the approximately 200 references listed the majority PCBs are used as waste, for copper or gold recover. On the remaining uses, the miniaturized devices are mainly produced in silicon and PCBs function is just for electrical connection and control. Moreover, just few of these devices are microreactors.

Polymeric nanofiber produced by electrospinning is other really hot research topic, due to the huge amount of uses a nanofiber can present (CHEN et al, 2018)(SOLTANI et al, 2020)(FANG & LIN, 2019). However, the use of such material to improve PI did not attracted attention up to the last decade.



Descriptors	# of appearance	Period, first appearance etc.
"Process intensification"	59,200	Anytime
	61	first appearance on the 1960's decade
+ "chemical engineering"	32,300	Anytime,
	30	first appearance on the 1960's decade
+ microreactor	3,550	Anytime, only one register up to 1990
"Process intensification" "printed circuit board"	185	Anytime
Silicon	123	Anytime
Waste	27	Anytime
+ microreactor	40	Anytime
Nanofibers	523,000	Anytime
	234,000	Last decade
+ microreactor	5,530	Anytime
	4,690	Last decade
+ "process intensification"	1900	Anytime
	1,800	Last decade
"process intensification" "printed circuit board" nanofiber	10	Anytime and first appearance in 2016
* - all information was obtained using Google Scholar		

Table 1 – Numbers of descriptors (Process Intensification, PCB, nanofiber) as a function of time

Furthermore, also only on the last decade the use of nanofibers in microreactors became a research trend (CHEN et al, 2018)(SILVA et al, 2017) Therefore, with the context previously described it is not a surprise that the use of PCBs and nanofibers on PI development was not intended up to 2016.

Nonetheless, PCBs is a mature technology that Paul, Sharma and Doolen (2005) (SHARMA, 2005) proved to be useful on manufacturing of parallel microchannels, well sealed and with high aspect ratio. However, on the only 10 appearances, none of them deals with PCB as microreactors or device development for process intensification using PCB technology. In other words, there is a gap on this field that this work envisages to cover; for that matter, the limiting steps of development is evaluated in proofs of concept and, on a subsequent stage, a roadmap is proposed.

## 2 | METHODOLOGY

Roadmap as a tool for the development of products and processes or even research steps is a common strategy in semiconductor area. For this area, since 1998 the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS<sup>1</sup>) helped the global semiconductor

<sup>1</sup> Since 2017 ITRS is no longer reviewed; however, due to IEEE initiative, a new roadmap, named the International Roadmap for Devices and Systems (IRDS) was created in 2016.

producers and researchers to foresee the needs to be attended. As pointed out by IEEE<sup>2</sup>, semiconductor industry is the only one that begun with a roadmap. Furthermore, IEEE states roadmap purpose as a reference “to stimulate innovation in various areas of technology” and also reminds that “compasses an immense scope of the electronics industry ... everything from applications needs down through device and manufacturing requirements”. Nonetheless, this roadmap does not consider PI. There are many definitions for roadmap, a broad one (MÜNCH; TRIEFLINGER; LANG, 2019), also used in this work, is to envisage away the product can reach its objective and the work required for that.

Stankiewicz & Moulijn (2000), in their revision, bring up a possible roadmap, as Figure 1 summarizes, which points out to the needs of channels with small dimensions and well-defined geometry. Furthermore, these channels must allow the production of multifunctional equipment, which can be done by channel thickness variations and/or curved structures. The same considerations can explain the design for reactors and mixers. Finally, mass & energy transfer depend not only on design (dimensions) but also on materials choice.

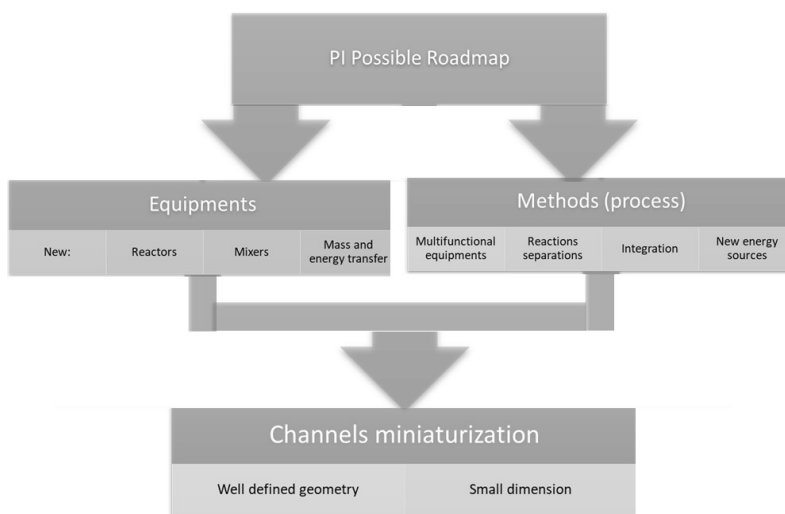


Figure 1 – Possible roadmap for PI and miniaturization

As previously commented, PCB is a mature technology on the electronic sector that offers several advantages such as: rapid prototyping techniques, low cost, mass production, amenable technology with no complex process. The production of small channels is a possibility, i. e., also permits miniaturization. Since almost everything could be done on a PCB, temperature sensors, flow sensors, microvalves, microreactors, micromixers, in the last decades it has been attempts on manufacturing of sensors and microreactors with the help of PCB technology. Some examples are a microfluidic system (MERKEL; GRAEBER;

<sup>2</sup> <https://irds.ieee.org/>

PAGEL, 1999), a disposable microreactor manufactured using photoresist and flexible laminate (TSAI et al, 2006), among others (TEMIZ et al, 2015)(PAPADOPOULOS et al, 2014). However, none of them consider the needs for PI development.

The possibility of well-defined channels geometry using PCB technology solves only part of the roadmap problem. On unit operations it is usual columns (long channels) as reactors; however, in order to increase efficiency and yield, the commonest columns are the packed ones. Furthermore, these columns are also useful on the integration of more than one unit operation (BHANDARE, 2019) and, due to the required small dimensions, micro and nano fibers as package material seem to be the natural path.

Polymeric nanofibers have a wide range of applications as structural material in composites and have been extensively investigated by the academic community. Since most of the nanofiber's atoms are on the surface, they offer several advantages in chemical and physical properties, resulting in a huge challenge in basic and applied research. Thus, the main advantages include the high surface area to volume ratio and high length to diameter ratio of these nanoscopic materials. On the nano-scale, polymeric fibers offers some potential chemical and biological applications, such as filters for gases or liquids, support for high temperature catalysts, enzyme immobilization, control of materials heating in the aerospace industry, sensors, manufacturing of nanostructured surfaces (for sieves and nanofilters), injection systems, reaction nanocameras and fluidic nanomixers, manufacturing of logic fluidic devices, among other examples. Thus, produce sensitive layers based on nanofibers is an interesting process. (LIU et al, 2009)(JO et al, 2011)( GIANNITELLI et al, 2018)

Thus, the sequential step on roadmap definition is the setting of boundary conditions for each production phase (Figure 2).



Figure 2: Production phases

The design phase should determine the best shape for developing the proof of concept, i.e., testing limits of an operational device. In this case, microchannels on “S” shape are the best option since they are well know, of commonest use, useful for different classes of reactions, and also allow easy connection to micromixers, among others (integrated unit operations).

On the simulation phase, should be considered that the “S” shape microreactor is well known, but its behavior in small and packed dimensions can lead to unexpected fluid behavior.

PCB phase should consider the simplest technology available and fiber deposition should unravel ways of producing different materials with different surface characteristics, such as adsorption, catalysis, acid or basic resistance etc. Furthermore, it is also expected a minimum of experimental steps, preferentially a single step.

On the proofs of concept developed, and described on this work, microreactors were simulated using Fem Lab 3.2® software. The project used CAD software, and microchannels have been defined in copper-clad PCB laminates by photolithographic process. Deposition of nanofibers inside the microreactor channel was carried out on a homemade electrodynamic focusing setup and using electrospinning polymeric solutions (SILVA et al, 2017). Optical microscopy was used for devices visualization.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSIONS

This item shows the decisions to be taken, in order to assure the feasibility of the roadmap; the proofs of concept – already done or required ones on further steps and the roadmap itself.

### 3.1 Decisions to be taken

Design: for PI purposes, as stated on the Methodology item, the important development is the channels, both dimensions and geometry. Long channels, up to 30 mm, and small dimensions, such as 200  $\mu\text{m}$  or less, are needed. Furthermore, steep track with high aspect ratio should be done. Finally, in order to produce multifunctional devices, such as reactors and mixers, it is required the possibility of vorticity quick variations on the fluid but without meaningful changes on channels designs.

Simulation: this stage does not pose limiting step; nonetheless, it is quite important to assure a correct roadmap since simulations results will provide CAD information for artwork production.

PCB: Usually the masks and the microstructures are defined by conventional microelectronics processes which involve several costly and time-consuming steps that also require facilities such as cleanrooms. Thus, in this work is proposed that the masks and the microstructures are produced using materials, techniques and equipment normally applied for produce printed circuit board (PCB).

Fiber production: First paramount decision is the best way of fiber deposition on these channels. A simple way to produce such micro and nanofibers is the electrospinning process (Figure 3a). This process occurs when the electrical forces at the surface of the polymeric solution overcome the surface tension and cause an electrically charged jet to be ejected. The solvent evaporates as the jet travels in air, leaving behind charged polymer fibers which lay themselves randomly on a collecting metallic electrode. Whether required collecting the nanofibers in specific areas it is necessary to modify the experimental setup

in order to focus the jet to the desired region. (Figure 3b).

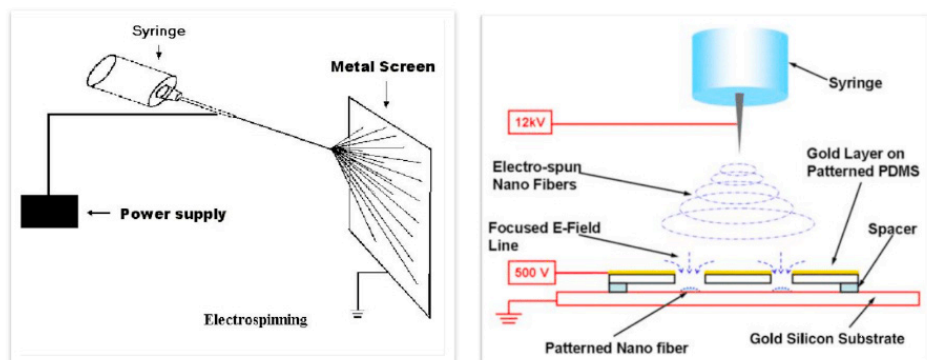


Figure 3 – Electrospinning process: (a) conventional and (b) electrodynamic focusing, adapted from Salim et al (2008).

### 3.2 Proofs of concept

Design and simulation: the boundary conditions considered on simulation are:

- Electrical characteristics – due to setup and electrospinning, electrical field streamlines and intensity were simulated. It is worthy note that fiber formation is guided by electrical field lines.
- Fluid aspects – since it was simulated long channels that could be used as microreactor and mixers, and considering that variations in its dimensions can lead to unexpected behavior, the boundary conditions were set in order to evaluate packing. Therefore, Reynolds number, velocity and vorticity profiles were determined in each simulation.

The simulated parameters and preliminary results are shown in Table 2.

Channels Properties	Vorticity	Velocity
Lenght (L): 10, 20, 30 mm	High on 10 mm	Variation
Width (W): 0.2, 0.5, 1.0 mm	High on 0.2 mm Low on 30 mm	Variation Regular
Height (H): 0.035, 0.1 mm	No important	No important
Distance among channels: 0.2, 0,5 mm		
Fluid velocity: 5 sccm	Fixed – consider common devices flow	

Table 2: Simulated parameters and preliminary results

Figure 4 shows typical CAD design and respective simulated fluid behavior. For

small devices (Figure 4a), although the Reynolds number is low (Figure 4b), vorticity is high on the curved parts, but not in the inlet and outlet (Figure 4c). For 20 mm microchannels, Reynolds number is still low but more uniform, the same occurring with velocity (Figure 4d) and vorticity (Figure 4e) profiles. These fluid conditions indicate that longer channels are useful for reaction and shorter ones as mixers, i.e., PI is possible.

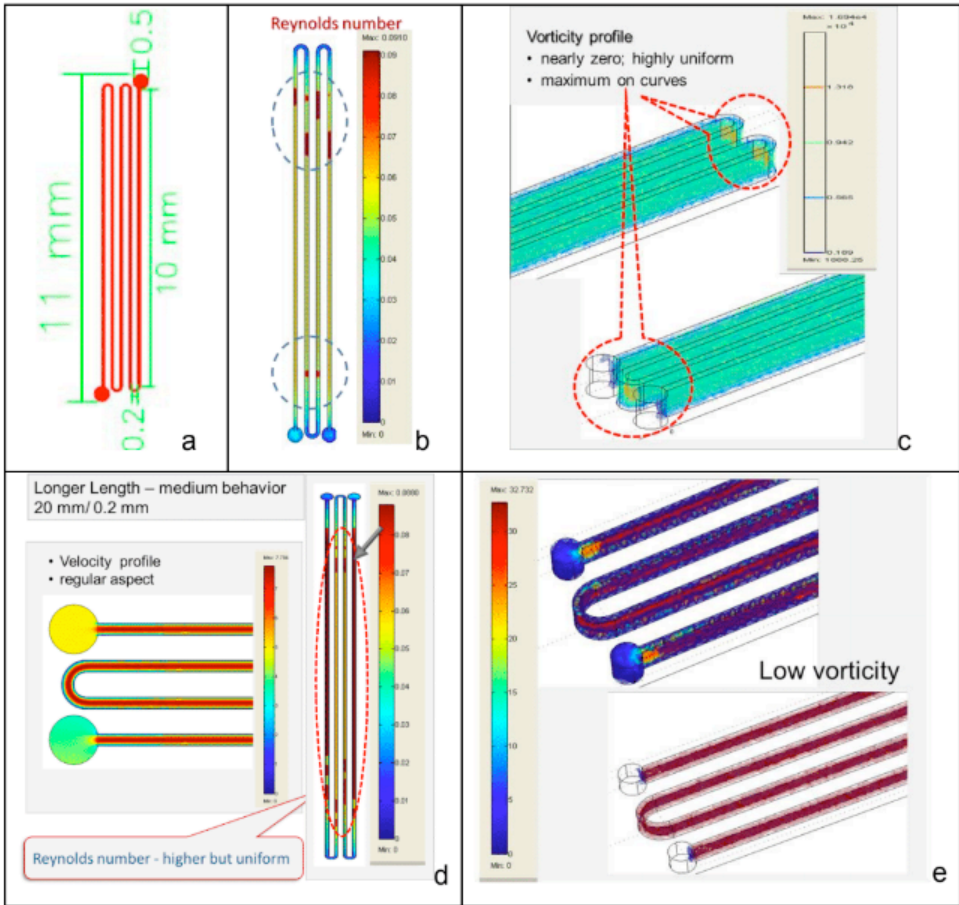


Figure 4: a) CAD design, b), c), d) e) typical simulated fluid behavior

**PCB Manufacturing:** Manufacturing considered simulations results and used processes that are regularly used in the PCB industry. Usually, the masks and the microstructures are defined by conventional microelectronics processes which involve several costly and time-consuming steps that also require facilities such as cleanrooms. Thus, in this research the masks and the microstructures were produced using materials, techniques and equipment normally applied for produce printed circuit board (PCB). The

masks and the microstructures have been fabricated on FR-4 type copper clad PCB laminates. The channels were defined applying dry film photoresist over the base laminate. The image of the designed microreactor was transferred by photolithography with the aid of an artwork. In order to make all the structure conductive a thin copper layer was deposited by electroless process. Figure 5 shows details of the microstructure defined on PCB laminate.

Setup for fiber deposition on single step: Deposition of fibers in small dimension was firstly done by Salim et al (2008), but as usual the masks and the microstructures are defined by conventional microelectronics processes leading to several costly and time-consuming steps and also require facilities such as cleanrooms. Furthermore, it used expensive material and process that was not compatible with PCB technology. Therefore, in a previous work was developed a low cost setup (SILVA et al, 2017) but the substrate used on that proof of concept was silicon not PCB as proposed in this work.

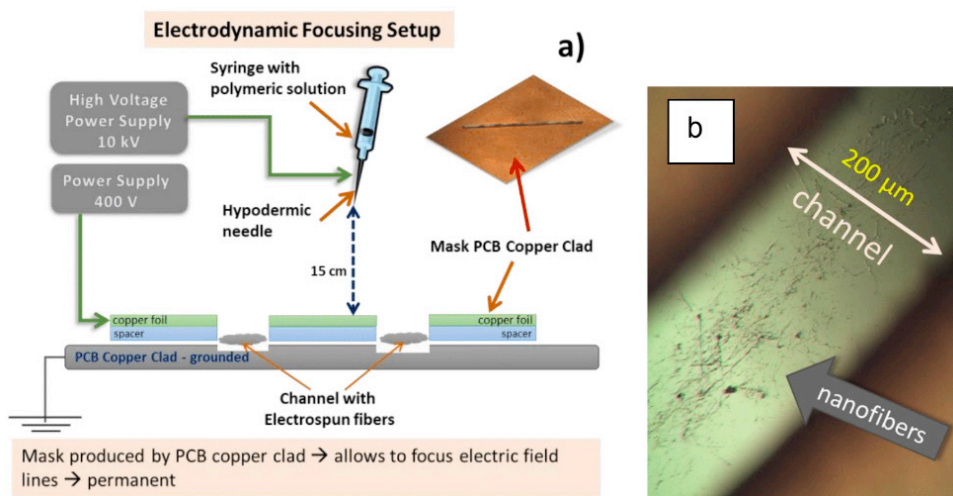


Figure 5 - Images with the details of the a) Electrodynamic focusing and the mask, b) microstructure defined in copper clad laminate.

Thus, the deposition of micro and nanofibers inside the channels was carried out on a homemade electrodynamic focusing setup and using electrospinning of polymeric solutions (SILVA et al, 2017). The setup consists of two high voltage power supply, one with 0-30kV and the other with 0-1.4 kV that is used to focus the electric field through the apertures of the metallic mask. This mask has the same shape and dimension of the microreactor channels.

To deposit the fibers the positive electrode of the 0-30kV high voltage power supply is connected to the hypodermic needle of one syringe that contains the polymeric solution and the ground is connected to a metallic collector. The 0-1.4 kV high voltage power supply has its positive electrode connected to the metallic mask and the ground connected to

the metallic connector. The interaction between the electric field produced by each power supply results in the focusing the polymeric jet through the mask aperture as depicted in Figure 5a). The nanofibers inside the channel is show in Figure 5b).

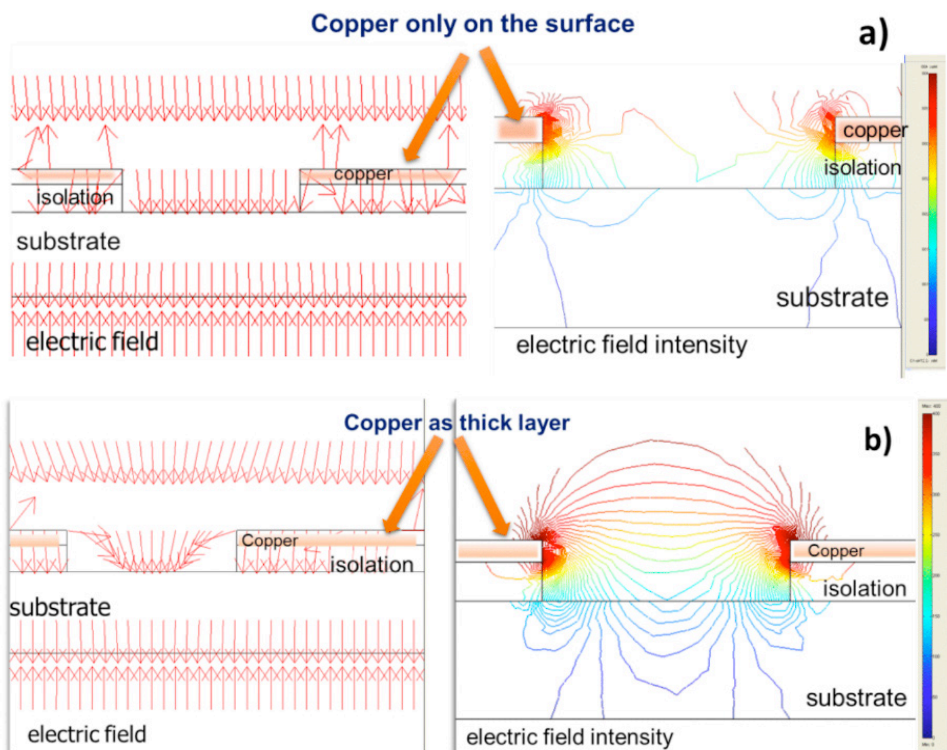


Figure 6: Simulations: electrical fields and intensities using (a) PCB (b) copper mask

The choice of a copper mask was supported by simulation. The use copper channels favor deposition inside the channels because the density of the electric field on the bottom is increased (Figure 6a) since the metal walls act as focus lens of the electric field lines and the fibers are collected in the center of the channel, as show in Figure 6b). Therefore, this setup avoids that mats of nanofibers deposit as a net on the surface of the both sides of the channel. A schematic of a possible device with the details of the microreactors channels can be seen in Figure 7a and 7b, respectively.



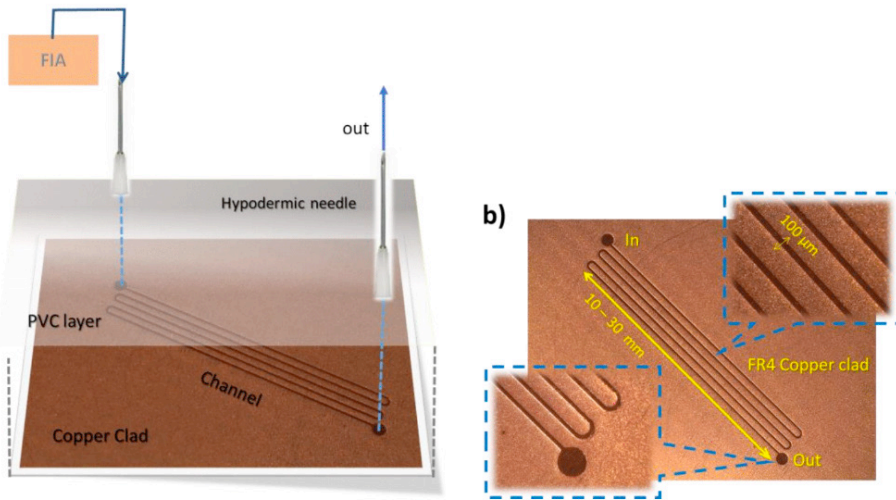


Figure 7 – A possible device, b) details of the microreactor channel

In conclusion this work shows: A roadmap for PI, using PCB and Nanofibers that can be seen in Figure 8, where adhesion is the limiting step in need of being developed.

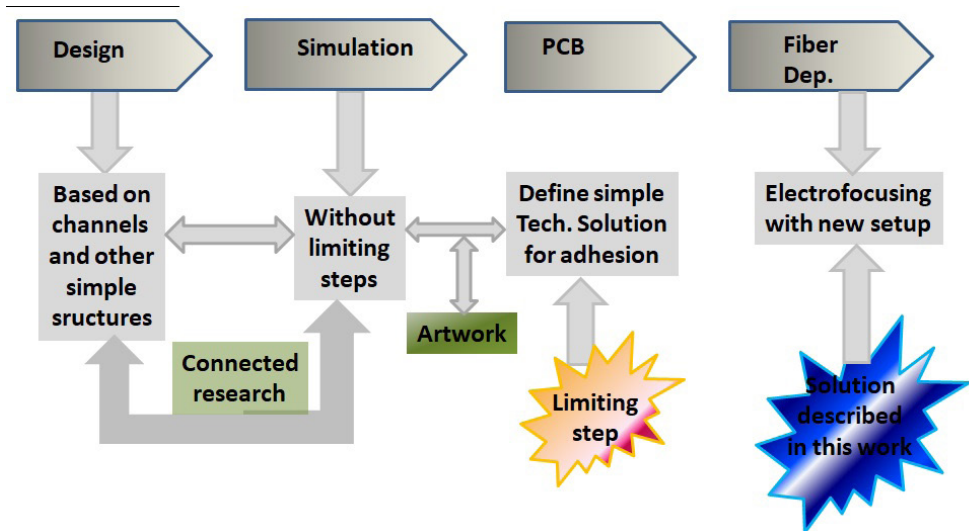


Figure 8 -Proposed roadmap

## 4 | CONCLUSION

This work shows a whole production (from setup to microchannel) based on PCB

processes that can be relevant for PI. PCB technology is economical feasible and also mass production, from Prototyping to final Product, with the exception of fiber deposition. Along with the minimum number of steps, the production was at room temperature. Therefore, a roadmap was proposed, which allows obtaining new devices, due to:

- Nano and microfibers deposited inside the microchannels, which means high capacity microreactors;
- New approach for microreactors, with structures and masks developed using CAD software, which decreases developing time and use of materials and resources;
- New setup for electrodynamic focusing, low cost and easy to reproduce.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Micropress S/A for PCB manufacturing, LSI – EPUSP and DSE Fatec-SP for the use of infrastructure.

## REFERENCES

- AGAR, D. W. **Multifunctional reactors: Old preconceptions and new dimensions**, Chemical Engineering Science, v. 54, n. 10, p.1299-1305, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00040-8)
- BHANDARE, R. B. **Reactive Chromatography: A Review of Process Technology**. American Journal of Chemical Engineering. v. 7, n. 1, pp. 1-6, 2019. doi: 10.11648/j.ajche.20190701.11
- CHEN, S.; LI, R.; LI, X.; XIE, J.; **Electrospinning: An enabling nanotechnology platform for drug delivery and regenerative medicine**. Advanced Drug Delivery Reviews, v. 132, p. 188-213, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.05.001>.
- EHRFELD W.; HARTMANN HJ.; HESSEL V.; KIESEWALTER S.; LÖWE H. **Microreaction Technology for Process Intensification and High Throughput Screening**. In: van den Berg, A.; Olthuis W.; Bergveld P. (eds) Micro Total Analysis Systems, 2000. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2264-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2264-3_7)
- FANG, J.; LIN, T. **Energy Harvesting Properties of Electrospun Nanofibers**. In: Niu, H.; Zhou, H.; Wang, H. (eds). Electrospinning: an advanced nanofiber production technology, e-book, 2019. doi:10.1088/978-0-7503-2005-4ch1
- GIANNITELLI, S. M. et al. 8.1 **Electrospinning: an overview**. In Electrofluidodynamic Technologies (EFDTs) for Biomaterials and Medical Devices: Principles and Advances, p. 139-154, 2018.
- JO, E. et al. **Microfluidic channels fabricated on mesoporous electrospun fiber mats: A facile route to microfluidic chips**. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, v. 49, n. 2, p. 89-95, 2011. <https://doi.org/10.1002/polb.22147>

LIU, Y.; YANG, D.; YU, T.; JIANG, X.; **Incorporation of electrospun nanofibrous PVDF membranes into a microfluidic chip assembled by PDMS and scotch tape for immunoassays.** *Electrophoresis*, v. 30, n. 18, p. 3269-3275, 2009. <https://doi.org/10.1002/elps.200900128>

MATLOSZ M.; RODE S.; COMMENGE, J. M. **Microstructures for SMART reactors : Precision performance in industrial production.** In: Matlosz M., Ehrfeld W., Baselt J.P. (eds) *Microreaction Technology*, 2001. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-56763-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56763-6_2)

MERKEL, T.; GRAEBER, M.; PAGEL, L. **A new technology for fluidic microsystems based on PCB technology.** *Sensors and Actuators A*, v.77, p. 98–10, 1999.

MÜNCH, J.; TRIEFLINGER, S.; LANG, D. **Product Roadmap – From Vision to Reality: A Systematic Literature Review**, IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Valbonne Sophia-Antipolis, France, pp. 1-8, 2019. doi: 10.1109/ICE.2019.8792654.

PAPADOPOULOS, V. E. et al. **A passive micromixer for enzymatic digestion of DNA.** *Microelectronic Engineering*, v. 124, p. 42-46, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2014.04.011>

PAUL, B.K.; SHARMA, N.; DOOLEN, T. **Application of Surface Mount Processes for Economical Production of High-Aspect-Ratio Microchannel Arrays**, *Journal of Manufacturing Processes*, v. 7, n. 2, p. 174-181, 2005.

SALIM, W. W. A. W.; SON, C.; ZIAIE, B. **Selective nanofiber deposition via electrodynamic focusing**, *Nanotechnology*, v.19 n. 37, p. 3753032008 (8 p.), 2008. DOI: 10.1088/0957-4484/19/37/375303

SHARMA, N. **Microlamination based on surface mount technology for the economical production of microchannel arrays**, thesis, 2005, [https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate\\_thesis\\_or\\_dissertations/hx11xh62c](https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/hx11xh62c)

SILVA, A. N. R.; GOMES, D. S.; FURLAN, R.; SILVA, M. L. P. **Microreactors with embedded nanofibres manufactured by electrodynamic focusing.** *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, v. 29, n. 1, p. e140-e145, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2016.06.010>

SOLTANI, S.; KHANIAN, N.; SHEAN, T.; CHOONGA, Y.; RASHID, U. **Recent progress in the design and synthesis of nanofibers with diverse synthetic methodologies: characterization and potential applications.** *New Journal of Chemistry*, v. 44, n. 23, p. 9581-9606, 2020.

STANKIEWICZ, A. I.; MOULIJN, J. A. **Process Intensification: Transforming Chemical Engineering.** *Chemical Engineering Progress*, v. 96, n.1, p. 22-34, 2000

TEMIZ, Y.; LOVCHIK, R. D.; KAIGALA, G.; DELAMARCHE, E. **Lab-on-a-chip devices: How to close and plug the lab?** *Microelectronic Engineering*, v. 132, p. 156-175, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2014.10.013>

TSAI, Y. C.; YANG, S-J; LEE , H-T; JEN, H-P; HSIEH, Y-Z. **Fabrication of a flexible and disposable microreactor using a dry film photoresist.** *Journal of the Chinese Chemical Society*, v. 53, n. 3, p. 683-688, 2006. <https://doi.org/10.1002/jccs.200600090>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço carbono 1, 2, 3, 5, 6  
Aluminatos 82, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95  
Ângulo de contato 27, 28, 32, 33  
Ângulo de deslizamento 27, 28, 33  
Autolimpeza 27, 28, 29, 33, 34

### B

Biocerâmicas 71, 74  
Biomateriais 71, 72, 73, 122, 125, 130, 131

### C

Carbono poroso 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129  
Cobre 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 119, 121, 125  
Compósitos poliméricos 37, 38, 39, 40, 44, 47  
Corrosão 1, 2, 6, 7, 9, 11, 20, 21, 22, 26, 28, 125, 138, 148  
Cultivo 116

### D

Descorantes 104  
Dureza 10, 11, 13, 15, 16, 17, 26, 66

### E

Eletrodo 122, 123, 124, 127, 137  
Eletrofiiação 49  
Estrôncio 82, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 94, 95

### F

Fertilizantes 107, 108, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117  
Fibras de timbó-açu 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

### I

Intensificação de processos 49

### L

Latão 10, 11, 12, 13, 18  
Liga de alumínio 27, 28, 29, 31, 32, 34

Luminescência 82, 83, 95

## **M**

Microestrutura 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 67, 68

Morfologia 28, 29, 30, 31, 32, 34, 47, 74, 92, 98, 136

## **N**

Nióbio 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

## **O**

OTFT 136, 137, 138

## **P**

Paligorskita 97, 98, 101, 102, 103

PBTTT-C14 136, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

PCI 49

Pechini 71, 72, 74, 79, 80, 84

Pó de despoejamento 62, 63, 64, 69, 70

Porosidade 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 100, 123

Processo de fabricação 3, 19

Propriedades 11, 13, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 37, 38, 39, 43, 62, 63, 64, 66, 68, 69, 71, 73, 79, 84, 89, 95, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 107, 109, 112, 113, 117, 124, 130, 146

## **R**

Remineralizantes 107

Roadmap 49, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61

Rochas 73, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116

## **S**

Sensores 135, 136, 137, 139, 140, 145

Silicatos 96, 98

Síntese 25, 71, 74, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 87, 89, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 105, 122, 125, 126, 127, 128, 129, 131

Solidificação 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 109

Sorção 97, 98

Supercapacitores 122, 123, 124, 131

Super-hidrofobicidade 27, 28, 29, 32, 33, 34


## **T**


Terraços 136, 140, 141, 145


Terras-raras 82, 83

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

[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) 

# Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

[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) 