

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MATERIALS ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MATERIALS ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022



**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

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª 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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
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  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Gilberto João Pavani

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

C697 Collection: applied materials engineering / Organizador  
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-861-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.615222801>

1. Materials engineering. I. Pavani, Gilberto João  
(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



## 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 engenharia dos materiais é o ramo da engenharia que trata dos materiais como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos, reunindo estudos científicos e aplicações práticas para a obtenção de novos materiais que são fundamentais para o desenvolvimento da sociedade, pois propiciam maior segurança e a qualidade de vida no uso cotidiano de veículos, máquinas e estruturas como edifícios, pontes e viadutos.

Porém, não basta criar um novo material, há necessidade de compreender suas propriedades como dureza, resistência ao calor e à corrosão que permitem sua aplicação em diversas áreas da indústria, bem como seu processo de produção.

A presente obra “Collection: Applied materials engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia de materiais em polímeros descartáveis, manufatura aditiva com aços de baixo carbono de baixa liga, caracterização de filmes de titânio, determinação de coeficientes de fricção em materiais médicos, desfosforação do ferro-gusa, inibidores de corrosão em materiais metálicos, inibidores poliméricos de hidratos de gás, microgeis de acrilamida e amido enxertado como doadores de óxido nítrico e a usinabilidade de ligas refratárias.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS DO TIPO DE TPE E DO TEOR DE COMPATIBILIZANTE NA PROCESSABILIDADE DE BLENDS DE PLA/TPES EM MISTURADOR DE CÂMARA INTERNA


Giordano Pierozan Bernardes  
Nathália da Rosa Luiz  
Ruth Marlene Campomanes Santana  
Maria Madalena de Camargo Forte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228011>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

EVALUATION OF HIGH STRENGTH LOW ALLOY CARBON STEEL PRODUCED WITH WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY AND ITS POSSIBLE APPLICATION IN THE OIL AND GAS SECTOR


Alexis Van Wesemael  
Luciana Iglésias Lourenço Lima  
Ronaldo de Faria Antunes  
Bertrand Maillon  
Xavier Gostiaux  
Laurent Faivre

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228012>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

CARACTERIZAÇÃO FOTOCRÔMICA E FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO<sub>2</sub> OU DE TiO<sub>2</sub> MISTURADOS A DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO

Luana Góes Soares da Silva  
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228013>

### **CAPÍTULO 4..... 45**

DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN EN MEDIAS MEDICAS DE COMPRESIÓN

Elvira Cruz Osorio  
Mónica Cristina Cortés Martínez  
Martínez Estela Flores Gómez  
José Alberto Cortés Martínez  
Laura Patricia Sandoval Florín  
Claudia Hernández Hernández  
Rocío Garrido Adame  
Teresa Ramírez Rodríguez


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228014>

### **CAPÍTULO 5..... 54**

ESTUDO DA INFLUENCIA DA MASSA DE ESCÓRIA E DO BANHO NA DESFOSFORAÇÃO

## DE FERRO GUSA ATRAVÉS DE TERMODINMICA COMPUTACIONAL


Anna Paula Littig Berger  
Daniela Bahiense de Oliveira  
Cynara Christ Klippel  
Camila Santos Scopel  
Felipe Faridn Grillo  
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228015>

## **CAPÍTULO 6..... 67**

### INIBIDORES DE CORROSÃO DA LINHA VERDE: UMA REVISÃO DA LITERATURA


Daniel Víctor Carlos de Noronha  
Jardel Dantas da Cunha  
Andréa Francisca Fernandes Barbosa  
Antônio Robson Gurgel  
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228016>

## **CAPÍTULO 7..... 85**

### METODOLOGIA DE TRIAGEM RÁPIDA PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS INIBIDORES POLIMÉRICOS DE HIDRATOS DE GÁS


Kelly Cristine da Silveira  
Elizabeth Fernandes Lucas  
Colin D. Wood

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228017>

## **CAPÍTULO 8..... 94**

### MICROGEIS DE ACRILAMIDA E AMIDO ENXERTADO COM DOADORE DE NO

Regiane da Silva Gonzalez  
Lucas Toshitaka Yatsugafu Longo  
Mylena Ardenghi de Lima  
Amanda Ardenghi dos Santos  
Giovanna Conrado Quadros  
Thais Oliveira da Silva  
Thais Tiemi Tomiyama  
Lucas Umberto Desante Lopes  
Ana Paula Peron  
Aldo Eloizo Job

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228018>

## **CAPÍTULO 9..... 105**

### PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS PARA A BAIXA USINABILIDADE DO INCONEL 718 COM FOCO NO PROCESSO DE FRESAMENTO

Luís Fillipe Lopes Torres  
Gabriel de Paiva Silva  
Geovanna Diniz Mendonça  
Déborah de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228019>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>116</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>117</b>

## ESTUDO DA INFLUENCIA DA MASSA DE ESCÓRIA E DO BANHO NA DESFOSFORAÇÃO DE FERRO GUSA ATRAVÉS DE TERMODINÂMICA COMPUTACIONAL

Data de aceite: 10/01/2022

### **Anna Paula Littig Berger**

Engenheira Metalurgista e Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

### **Daniela Bahiense de Oliveira**

Graduanda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

### **Cynara Christ Klippel**

Engenheira Metalurgista e Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

### **Camila Santos Scopel**

Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo Vitória, ES, Brasil

### **Felipe Faridn Grillo**

Prof. Dr. do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

### **José Roberto de Oliveira**

Prof. Dr. do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

**RESUMO:** A remoção do fósforo através do processo de desfosforação do ferro-gusa tem sido cada vez mais relevante, devido a influência que exerce de forma prejudicial as propriedades do aço e devido a extensão do cenário de escassez

de minérios com menor teores de fósforo. Este trabalho tem como objetivo a avaliação termodinâmica computacional de misturas a base de dolomita e finos de minério utilizadas no processo de desfosforação realizado em panela para o refino do ferro-gusa. Foi utilizado o software Factsage para avaliação termodinâmica, tendo este se mostrado eficaz na determinação da concentração de fósforo de equilíbrio no metal, fases presentes e temperatura de fusão das misturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pré-tratamento de Ferro-Gusa; Desfosforação; Termodinâmica Computacional.

### STUDY OF THE INFLUENCE OF SLAG AND BATH MASS ON HOT METAL DEPHOSPHORATION USING COMPUTATIONAL THERMODYNAMICS

**ABSTRACT:** The removal of phosphorus through hot metal dephosphorization process has been increasingly important, since the injurious influences of phosphorus on the properties of steel and due the cenary extension of scarce ore with lower phosphorus. This work aims to computational thermodynamic evaluation of mixtures based on dolomite and ore fines used in the process of pot hot metal dephosphorization. It was used the FactSage software for thermodynamic evaluation, since it has showed effective in determining the equilibrium phosphorus concentration in the metal, present phases, and melting temperature of the mixtures.

**KEYWORDS:** Hot metal; Pre-treatment; Dephosphorization; Computational Thermodynamics.

## 1 | INTRODUÇÃO

Inúmeras modificações e avanços tecnológicos foram e tem sido feitos a fim de aprimorar o processo de fabricação de aço para obtê-lo com maior limpidez, com velocidade de produção e o menor custo possível.<sup>1</sup>

A presença de fósforo no metal afeta adversamente algumas propriedades do aço como a tenacidade e a resistência. Além disso, a presença de fósforo causa a segregação intergranular durante o lingotamento contínuo e deteriora a ductilidade e resistência de produtos como tubos, aços criogênicos e placas de vasos de pressão<sup>2</sup>.

A etapa de desfosforação de ferro-gusa pode ser realizada no carro torpedo, na panela de transferência de gusa ou até mesmo em um convertedor específico para este fim. Quando a DeP é realizada no convertedor, esta ocorre sem que haja uma redução do teor de carbono, e com duas etapas de vazamento de escória. Este procedimento é o que confere melhores resultado na DeP.<sup>1</sup>

Empresas ao redor do mundo implantaram e tem desenvolvido tecnologias de pré-tratamento de ferro-gusa. Entretanto, cada empresa adota um sistema de pré-tratamento adequado aos seus equipamentos existentes, layout e condições operacionais, onde as etapas de dessiliciação, dessulfuração e desfosforação são realizadas em equipamentos específicos para estes processos.

Algumas usinas japonesas já incorporaram etapas para redução do silício e do fósforo como operações de refino prévio do ferro-gusa, assim como a Siderúrgica Ibirapu.

Com as exigências de teores de fósforo nos aços cada vez menores, e os teores de fósforo nos minérios de ferro cada vez maiores, os processos de desfosforação (DeP) de ferro-gusa ganham cada vez mais força.

Existem diferentes parâmetros da literatura para se avaliar termodinamicamente o processo de desfosforação de ferro-gusa, tais como o coeficiente de partição do fósforo ( $L_p$ ), a capacidade de fosfato ( $C_p$ ) e a basicidade ótica ( $\Lambda$ ).

Por definição o coeficiente de partição do fósforo ( $L_p$ ) é a razão no equilíbrio da porcentagem de fósforo presente na escória ( $\%P_{eq}$ ) e a porcentagem de fósforo presente no metal [ $\%P_{eq}$ ], conforme a equação 1.

$$L_p = \frac{(\%P_{eq})}{[\%P_{eq}]} \quad (1)$$

Entretanto a reação de desfosforação ocorre na interface metal e escória e não ocorre no equilíbrio, dificultando a real medição desses valores. Por isso vários autores estudaram e definiram empiricamente equações que pudessem medir os valores do coeficiente de partição do fósforo, que podem ser visualizados na Tabela 1.

Autor	Modelo
Young	$\log Cp = -18,184 + 35,84 \cdot A - 22,35 \cdot A^2 + \frac{22,930 \cdot A}{T} - 0,06257 \cdot \%FeO - 0,04256 \cdot \%MnO + 0,359 \cdot \%P_2O_5^{0,3}$
Healy	$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = \frac{22,350}{T} + 0,08 \cdot (\%CaO) + 2,5 \cdot \log(\%Fe_{total}) - 16$
Suito e Inoue	$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = 0,072[(\%CaO) + 0,3 \cdot (\%MgO)] + 2,5 \cdot \log(\%Fe_{total}) + \frac{11,570}{T} - 10,52$
Turkdogan	$\log(\gamma_{P_2O_5}) = -1,12 \cdot (22 \cdot N_{CaO} + 15 \cdot N_{MgO} + 13 \cdot N_{MnO} + 12 \cdot N_{FeO} - 2 \cdot N_{SiO_2}) - \frac{42000}{T} + 23,58$

Tabela 1. Modelos termodinâmicos da literatura utilizados.

A remoção do fósforo do metal e a conseqüente fixação do óxido formado na escória dependem da atividade do  $P_2O_5$  na escória, sendo esta em função da composição química e temperatura. Quanto maior a concentração de  $P_2O_5$  na escória, maior será a concentração de fósforo no metal, conforme equação 2. Sendo  $N_{P_2O_5}$  a fração molar do composto.

A concentração de  $P_2O_5$  na escória está diretamente relacionada a sua atividade na mesma, conforme é mostrado a seguir.

Turkdogan (1996) descreve a variação do coeficiente de atividade do  $P_2O_5$  com a temperatura e composição da escória em uma relação empírica, mostrada na Tabela 1.

$$a_{P_2O_5} = N_{P_2O_5} \cdot \gamma_{P_2O_5} \quad (2)$$

A basicidade de cada óxido é calculada em função da eletronegatividade de Pauling e a basicidade teórica da escória é dada pela média ponderada das contribuições individuais, através da fração molar, conforme Equação 3 e Equação 4:

$$\Delta_i = \frac{0,74}{(X-0,26)} \quad (3)$$

$$\Lambda_{esc} = \sum \Delta_i N \quad (4)$$

Onde X é a eletronegatividade de Pauling, N fração molar do óxido ou fluoreto na escória,  $\Delta_i$  basicidade de cada óxido e  $\Lambda_{esc}$  basicidade da escória.

O Fator de Desfosforação ( $F_{DeP}$ ) correlaciona as informações obtidas através das simulações computacionais e a eficiência encontrada na prática, levando em consideração a fração de fase líquida formada na escória na temperatura de 1400°C, a atividade do CaO e a atividade do FeO. Este fator é definido conforme a equação 5, onde a %Líquido/100 e a %Sólido/100 podem ser representadas também como  $N_{Líquido}$  e  $N_{Sólido}$  (fração mássica de líquido e fração mássica de sólido), respectivamente.

$$Fator_{DeP} = a_{CaO} + a_{FeO} + (N_{Líquido} - N_{Sólido}) \quad (5)$$

Cada vez mais se torna necessário, tendo em vista as características das reações de desfosforação do ferro-gusa, as simulações de melhores adições e das condições termodinâmicas favoráveis a essas reações. Essas simulações contribuem de forma a diminuir número de testes experimentais e do tempo gasto para a análise de misturas aplicadas ao pré-tratamento de ferro-gusa, tendo como conseqüência uma redução de

custos.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

- Caracterização dos materiais usados nas corridas preliminares da Siderúrgica de Ibiráçu;
- Composição da mistura;
- Realização dos cálculos termodinâmicos;
- Avaliação das misturas através dos softwares de termodinâmica computacional.

### 2.1 Caracterização dos Materiais

Como base para o início dos estudos e aplicação dos conceitos técnicos foram feitas corridas com o procedimento padrão da Siderúrgica de Ibiráçu.

Ao término da redução do minério de ferro no alto forno, o ferro-gusa é vazado do para panela, onde será realizado o processo de desfosforação. Nesta etapa realiza-se uma primeira separação da escória do ferro-gusa.

Após o canal de corrida o ferro-gusa é vazado na panela de tratamento. No início do vazamento começa a injeção de nitrogênio pela parte inferior da panela. Quando o ferro-gusa cobre todo o fundo da panela, é iniciada a adição de mistura desfosforante. Essa mistura desfosforante é composta de uma relação mássica de 1:1 de dolomita e finos de minério de ferro.

Corrida	Massa desfosforante (kg)	Massa de gusa (kg)
M1	1250	19280
M2	1250	19820
M3	1000	16950
M4	1000	23440
M5	750	19650
M6	750	23470
M7	1000	20490
M8	500	24320
M9	750	22110
M10	750	22040
M11	500	21860
M12	750	19730

Tabela 2. Massa de desfosforante e massa de gusa utilizadas.

Após o término do carregamento do ferro-gusa na panela, inicia-se o sopro de oxigênio. Posteriormente ao término do sopro de oxigênio, a lança é retirada, e em seguida uma amostra do ferro-gusa é coletada para análise química.

Após iniciado o basculamento da panela para o vazamento do ferro-gusa tratado na máquina de moldar, uma amostra do ferro-gusa é coletada para análise química, e durante o vazamento é retirado à escória. A temperatura do processo se manteve em torno de 1370° C.

Após a verificação dos procedimentos executados para o pré-tratamento da Siderúrgica de Ibirajú, foram coletadas amostras de 12 corridas, com as análises dos teores de Si, Mn, P, S e C antes do pré tratamento na panela e após. Estes resultados estão apresentados na Tabela 3.

Corrida	%Si		%Mn		%P		%S		%C	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final
M1	0,22	0,05	0,066	0,018	0,076	0,023	0,019	0,008	4,37	4,31
M2	0,2	0,07	0,06	0,026	0,074	0,027	0,014	0,008	4,35	4,39
M3	0,18	0,06	0,064	0,013	0,077	0,027	0,017	0,01	4,38	4,45
M4	0,14	0,07	0,053	0,013	0,073	0,024	0,019	0,008	4,32	4,38
M5	0,16	0,05	0,06	0,013	0,07	0,027	0,022	0,01	4,39	4,35
M6	0,1	0,06	0,065	0,009	0,076	0,03	0,017	0,008	4,36	4,49
M7	0,08	0,08	0,048	0,009	0,078	0,024	0,014	0,006	4,3	4,37
M8	0,15	0,08	0,055	0,026	0,075	0,03	0,017	0,006	4,38	4,2
M9	0,16	0,05	0,05	0,026	0,072	0,034	0,014	0,01	4,34	4,25
M10	0,23	0,06	0,066	0,018	0,071	0,032	0,01	0,008	4,38	4,39
M11	0,2	0,08	0,062	0,031	0,078	0,046	0,017	0,01	4,35	4,42
M12	0,22	0,08	0,066	0,031	0,074	0,038	0,01	0,006	4,34	4,4

Tabela 3. Análise das corridas preliminares antes e após do tratamento

## 2.2 Caracterização das Misturas

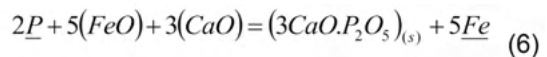
No presente trabalho como a mistura usada foi na proporção de 1:1 entre a dolomita e os finos de minério, foi criada a Tabela 4 que mostra a composição da mistura, quando usado dolomita já no banho, ou seja, considerando as calcinações.



COMPONENTE	% Componente no banho
FeO	65,98%
CaO	19,99%
MgO	8,27%
SiO <sub>2</sub>	1,89%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48%
P	0,007%
Mn	0,015%
TiO <sub>2</sub>	0,04%
PPC	0,045%
H <sub>2</sub> O	1,22%
Outros	2,04%

Tabela 4. Composição da mistura no banho

Os resultados apresentados na Tabela 4, se mostram propícios ao processo de desfosforação apresentado pela Equação 6, devido aos teores de FeO e CaO aferidos.



Foi utilizado o software Factsage para determinar a quantidade de líquido e fases sólidas formadas nas misturas propostas no presente trabalho.

Foram utilizados os bancos de dados FactPS e FtOxid disponíveis nesse software. O primeiro atua na determinação dos compostos sólidos formados e o segundo atua na avaliação dos compostos formados na fase líquida da mistura/escória. Foram usados Pure Solids e Slag? do sub-banco de dados existente.

### 2.3 Determinação das condições de equilíbrio termodinâmico da reação de desfosforação

Foi utilizado o software Factsage para avaliar as condições de equilíbrio termodinâmico da reação de desfosforação. O banco de dados do software em questão utilizado para determinar as condições de equilíbrio do ferro-gusa foi o FSstel. Os bancos de dados FactPS e FtOxid atuaram na determinação das fases formadas na escória gerada no equilíbrio termodinâmico.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Avaliação da eficiência da desfosforação através das misturas iniciais

Para uma verificação dos resultados apresentados na Tabela 3 foi criada a Figura 1, a qual mostra para cada um dos parâmetros analisados (P, Si, S e Mn), seu comportamento

em relação ao tratamento em panela.

As Figuras 1 e 2 apresentam os valores da fração mássica inicial e final dos elementos analisados. Para se obter estes valores foi feito uma média aritmética das frações dos componentes para cada grupo de massa de desfosforante utilizada (500, 750, 1000 e 1250 kg), e foi desconsiderado a massa de gusa.

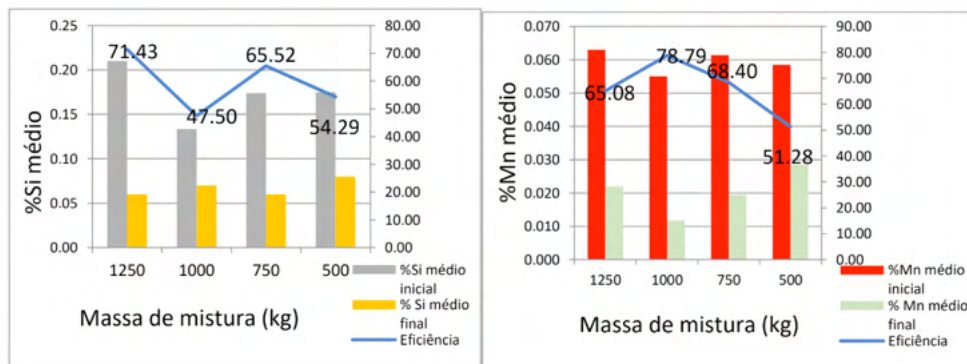


Figura 1. Redução média dos teores de (a) Si e (b) Mn em relação a massa de desfosforante aplicada.

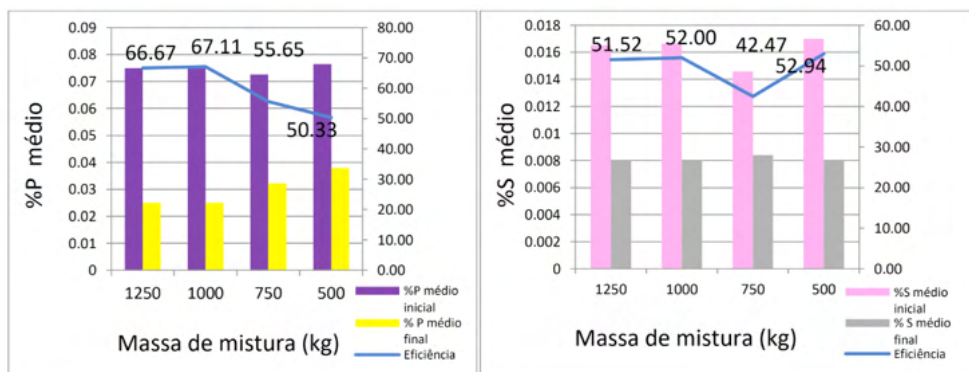


Figura 2. Redução média dos teores de (a) P e (b) S em relação a massa de desfosforante aplicada.

Pode-se observar pelas Figuras 1 e 2 que as massas de mistura de 1000 kg e 1250 kg apresentaram bons resultados de redução média dos teores de Si, Mn, P e S.

Em análise preliminar destes dados, pode-se concluir inicialmente que a massa ideal de desfosforante estaria entre 1000 e 1250 kg, e para melhor análise foi criada a Tabela 5.

Corrida	Desfosforante (kg)	Gusa (kg)	Massa de DeP/ Massa de gusa (kg/ton)	$\eta\%$
8	500	24.320	20,56	60
11	500	21.860	22,87	41,03
12	750	19.730	25,34	51,35
6	750	23.470	31,96	60,53
9	750	22.110	33,92	52,78
10	750	22.040	34,03	54,93
5	750	19.650	38,17	61,43
4	1000	23.440	42,66	67,12
7	1000	20.490	48,8	69,23
3	1000	16.950	59,00	64,94
2	1250	19.820	63,07	63,51
1	1250	19.280	64,83	69,74

Tabela 5. Dados das corridas

A Figura 3 apresenta o comportamento dos teores de P, Si, S e MN no metal em relação a massa de desfosforante por tonelada de gusa aplicado na corrida.

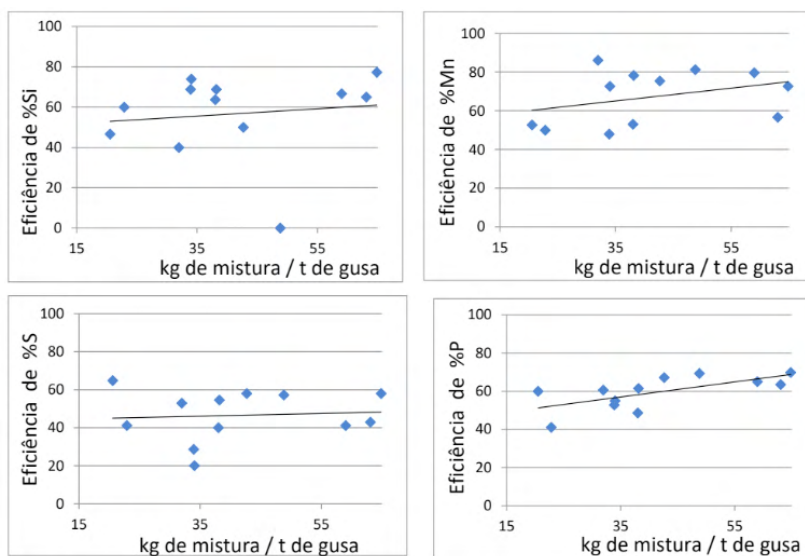


Figura 3. P, Si, S e MN no metal em relação à massa de desfosforante por tonelada de gusa para as corridas.

Observa-se que na Figura 3 o comportamento do teor de P, Si e Mn final no metal em

relação à massa de desfosforante por tonelada de gusa aplicado na corrida, na qual verifica-se uma tendência de maior eficiência quando aumentamos a massa de desfosforante em relação à massa de gusa.

Para o S não se verifica esta tendência tão acentuada de maior ou menor eficiência quando aumentamos a massa de desfosforante em relação à massa de gusa, o que pode ser resultado da falta de controle da temperatura em cada corrida.

### 3.2 Avaliação termodinâmica com modelos literários

A análise termodinâmica da desfosforação do ferro-gusa foi feita através dos modelos apresentados na Introdução, sendo a basicidade ótica, a capacidade de fosfato e o coeficiente de partição do fósforo. A capacidade de fosfato foi calculada a partir do modelo de Young (1991), o coeficiente de partição do fósforo foi calculado a partir dos modelos de Healy (1970) e Suito e Inoue (2006), e o coeficiente de atividade do  $P_2O_5$  pelo modelo de Turkdogan (2000).

$\Lambda$	log (CP) Young	Log (LP) Healy	Log (LP) Suito	$\gamma P_2O_5$
0,663	0,873	3,477	2,415	7,18E-19

Tabela 6. Condições termodinâmicas do processo de desfosforação

Devido ao fato de que as misturas possuem a mesma composição, os valores dos parâmetros acima calculados são iguais para M1 a M12 independente da massa da mistura desfosforante, uma vez que esses parâmetros levam em consideração fração molar ou porcentagem dos componentes da mistura.

Contudo através da literatura observa-se que esses parâmetros não são precisos para prever a eficiência do processo de desfosforação uma vez que se tratam do equilíbrio termodinâmico. E a partir dos dados apresentados na Tabela 6, não é possível relacionar diretamente a eficiência do processo de desfosforação com o aumento da basicidade ótica, a diminuição do coeficiente de atividade do  $P_2O_5$ , o aumento da capacidade de fosfato ou ainda do coeficiente de partição de fósforo da escória final.

De acordo com a literatura, quanto maior o coeficiente de partição, maior a eficiência do processo. Os valores encontrados não se mostram bons para melhor eficiência do processo de desfosforação quando comparados com a literatura. [1]

A equação 2 mostra que quanto menor o coeficiente de atividade de  $P_2O_5$ , menor será sua atividade e, assim, menor será a concentração de fósforo no metal. Da literatura, pode-se observar então que o valor obtido de coeficiente de  $P_2O_5$  para as misturas é um bom valor. [1]

### 3.3 Avaliação através da Termodinâmica computacional

Por meio do software FactSage, foi determinado as condições de equilíbrio do metal e das escórias assim como as possíveis fases presentes para cada uma das misturas, sendo os resultados apresentados na Tabela 4 e Tabela 5. Foi calculado o Fator de Desfosforação pela equação 5.

Corrida	Mass de desfosforante (kg)	Massa de gusa (kg)	Desf./gusa (kg/t)	Pinicial	Pfinal	%Peq	$\eta\%$
M2	1250	19280	64,83	0,076	0,023	8,88E-05	69,74
M3	1000	20490	61,01	0,078	0,024	5,20E-05	69,23
M7	1000	23440	42,66	0,073	0,024	7,54E-05	67,12
M4	1000	16950	59,00	0,077	0,027	1,00E-04	64,94
M1	1250	19820	37,84	0,074	0,027	7,94E-05	63,51
M12	750	19650	38,17	0,07	0,027	1,46E-04	61,43
M6	750	23470	42,61	0,076	0,03	8,30E-05	60,53
M8	500	24320	20,56	0,075	0,03	7,31E-04	60
M10	750	22040	34,03	0,071	0,032	3,67E-04	54,93
M9	750	22110	33,92	0,072	0,034	1,53E-04	52,78
M5	750	19730	25,34	0,074	0,038	3,39E-04	48,65
M11	500	21860	34,31	0,078	0,046	1,12E-02	41,03

Tabela 7. Dados fornecidos pelo Software Factsage.

%Líquido	%Sólido	aCaO	aFeO	F DeP
94,11	5,89	0,316	0,645	2,31

Tabela 8. Dados das fases presentes no equilíbrio

Pode-se observar através da Tabela 7 que as misturas desfosforantes que apresentaram melhor eficiência de desfosforação foram as misturas M2 e M3, com valores de 69,74% e 69,23% respectivamente. Essas misturas desfosforantes tem massa de 1250kg e 1000kg, as maiores massas de misturas usadas no presente trabalho, o que é um indicativo de que maiores massa de desfosforante favorecem melhor eficiência do processo.

A simulação mostrou uma porcentagem de líquido de 94,11% e atividade de wustita de 0,645, valores aceitáveis para melhores eficiências de desfosforação quando atividade de CaO seja igual a 1 e se mantenha por todo o processo. Entretanto não houve a formação de CaO sólido, influenciando de forma prejudicial o valor do Fator de Desfosforação, uma vez que sua formação é importante para que mantenha a escória líquida saturada em CaO

até o fim do processo. Somente formou-se a seguinte fase sólida: MgO periclase conforme a porcentagem de sólido indicada na Tabela 8.

De acordo com os valores de Fator de Desfosforação encontrados na literatura, o valor obtido para as misturas usadas no presente trabalho é menor. Isso é um indicativo de que a composição das misturas de desfosforantes utilizadas neste trabalho podem ser reavaliadas visando melhor valor para o Fator de Desfosforação, logo, maior eficiência do processo de desfosforação.

Algumas relações podem ser avaliadas a partir da Tabela 7, conforme visualizado nas Figuras 4 (a), (b), (c).

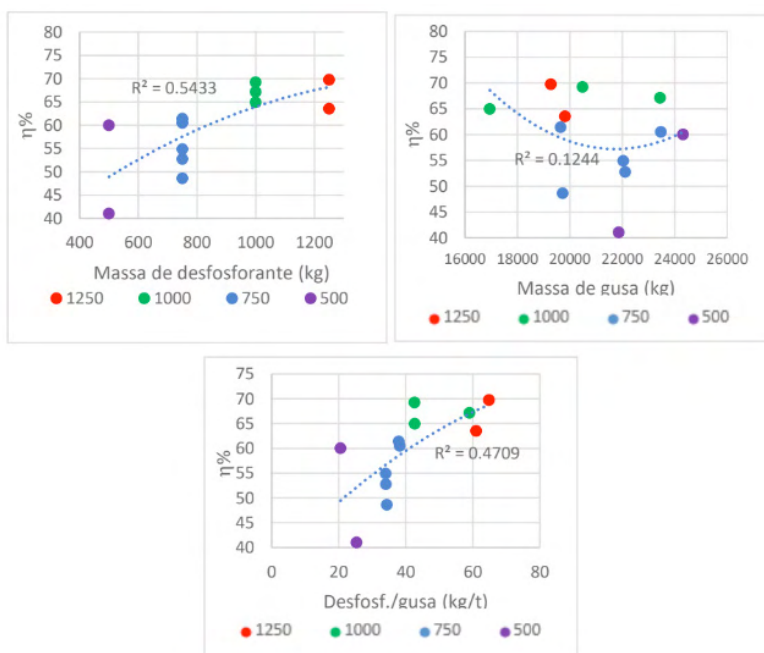


Figura 4. Relação entre a eficiência e (a) massa de desfosforante, (b) massa de desfosforante, (c) razão massa de desfosforante e massa de gusa.

De acordo com a Figura 4 (a) observa-se que as misturas desfosforantes com maior massa (1000 kg e 1250 kg), M2 e M3 respectivamente, apresentaram melhor eficiência de desfosforação. A partir da Figura 4 (b) pode-se analisar que a massa de gusa não atua como um bom indicativo de eficiência do processo de desfosforação quando como um parâmetro isolado, uma vez que para melhores valores de eficiência de desfosforação há grande variação das massas de gusa. Todavia a Figura 4 (c) apresenta uma boa relação entre a eficiência do processo e a razão entre a massa de desfosforante e massa de gusa para as misturas de desfosforante de 1000 kg e 1250 kg (M1, M2, M3, M4, M7). Verifica-se uma tendência de maior eficiência de desfosforação quando há um aumento da razão de

massa de desfosforante e massa de gusa, de forma que ambos os parâmetros devem ser analisados juntos visando um ponto ótimo para eficiência do processo desfosforante.

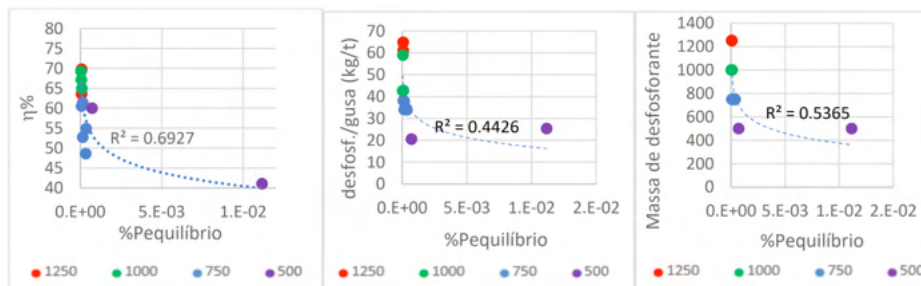


Figura 5. Relação entre a porcentagem de fósforo de equilíbrio e (a) a eficiência, (b) razão massa de desfosforante e massa de gusa e (c) massa de desfosforante.

As misturas desfosforantes M3 e M2 com maiores massas, 1000kg e 1250kg respectivamente, e que obtiveram as melhores eficiências de desfosforação foram as que apresentaram os menores valores encontrados de fósforo de equilíbrio conforme pode ser visualizado na Figura 5 (a), (b) e (c).

Da Figura 5 (a), pode-se analisar que para a mistura de desfosforante M11 cuja eficiência de desfosforação foi de 41,026%, o menor valor dentre as misturas usadas no presente trabalho, o fósforo de equilíbrio foi aproximadamente 200 vezes maior que o da mistura de desfosforante M3 cujo valor de fósforo de equilíbrio foi o menor obtido, e aproximadamente 125 vezes maior que o da mistura desfosforante M2, a qual apresentou melhor eficiência de desfosforação.

Apartir da Figura 5 (b) observa-se que a mistura M8 cuja razão massa de desfosforante e massa de gusa foi a menor, o fósforo de equilíbrio obtido foi aproximadamente 8 vezes maior que o da mistura de desfosforante M2, tendo a mistura M2 valores de razão de massa de desfosforante e massa de gusa 3 vezes maior que M8, e a eficiência de desfosforação para M2 foi o melhor obtido. Por essa figura, observa-se que as misturas com menor fósforo de equilíbrio obtidos, foram as misturas que apresentaram a razão de massa de desfosforante e massa de gusa entre 60 a 40 kg.

Através da figura 5 (c) avalia-se que as misturas com maiores valores de massa de desfosforante utilizados permitiram obter menores valores de fósforo de equilíbrio.

## 4 | CONCLUSÃO

Considerando os objetivos propostos neste trabalho em paralelo aos resultados obtidos, pôde-se chegar as seguintes conclusões:

- Verificou-se uma tendência de maior eficiência de desfosforação quando há um

aumento da razão de massa de desfosforante e massa de gusa;

- Os parâmetros termodinâmicos calculados, coeficiente de partição do fósforo ( $L_p$ ), capacidade de fosfato ( $C_p$ ) e basicidade ótica ( $\Lambda$ ) não são precisos para prever a eficiência do processo de desfosforação uma vez que se tratam do equilíbrio termodinâmico;
- De acordo com os valores de Fator de Desfosforação encontrados na literatura, o valor obtido para as misturas usadas no presente trabalho é menor. O que pode ser explicado pelo fato de que não houve a formação de CaO sólido, influenciando de forma prejudicial o valor do Fator de Desfosforação;
- As misturas desfosforantes com maiores massas (1000 e 1250kg) e que obtiveram as melhores eficiências de desfosforação foram as que apresentaram os menores valores encontrados de fósforo de equilíbrio;
- A massa ideal de desfosforante para o processo analisado estaria entre 1000kg e 1250 kg uma vez que foi observado melhores valores de redução do teor de P.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pela bolsa de iniciação científica do Edital PRPPG 05/2015.

## REFERÊNCIAS

- 1 BROSEGHINI, F.C. Utilização da termodinâmica computacional no estudo da desfosforação de ferro-gusa por escórias do Sistema CaO-FeO. Dissertação de mestrado. Instituto Federal Espírito Santo – IFES, 2015.
- 2 MUKHERJEE, T.; CHATTERJEE, A. Production of low phosphorus steels from high phosphorus Indian hot metal: Experience at Tata Steel. Bulletin of Material Science, n. 6, v. 19, p. 893-903, 1996.
- 3 CAMPOS, V. F. Curso sobre Pré-refino de Ferro-Gusa. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1984. 31p.
- 4 TURKDOGAN, E.T. Fundamentals of Steelmaking. 1. ed. London: The Institute of Materials, 1996. 331p.
- 5 HEALY, G. A New Look at Phosphorus Distribution. Journal of the Iron and Steel Institute, n. 6, v. 208, p. 664-668, 1970.
- 6 WEI, P.; SANO, M.; HIRASAWA, M.; MORI, K. Kinetics of Phosphorus Transfer between Iron Oxide Containing Slag and Molten Iron of High Carbon Concentration under Ar-O<sub>2</sub> Atmosphere. ISIJ International, n. 4, v. 33, p. 479-487, 1993.
- 7 HINO, Y.; KIKUCHI, N.; NABESHINA, S.; TAKEUCHI, S. Effect of iron oxide feeding rate and hot metal temperature on dephosphorization rate in torpedo car. ISIJ International, 827-834, 2005.
- 8 SAMPAIO, R. A. Utilização dos softwares de termodinâmica computacional no estudo das etapas de pré-tratamento do ferro-gusa. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Espírito Santo – IFES, 2014.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço carbono de baixa liga 14  
Aço carbono de baixa liga e alta resistência 14  
Agente compatibilizante 3, 10

### B

Blenda polimérica 3

### C

Citotoxicidade 95, 96, 103  
Corrosão 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 106

### D

Desfosforação 54, 55, 56, 57, 59, 62, 63, 64, 65, 66  
Doadores de óxido nítrico 94, 96, 101

### E

Elastômero termoplástico 4  
Extratos vegetais 67, 69, 70, 75, 79, 80

### F

Ferramentas de cerâmica 105, 110, 111, 113  
Ferro-gusa 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 66  
Filme de óxido de Titânio - TiO<sub>2</sub> 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 59  
Fotocatálise 27, 32, 39, 41  
Fotocromismo 27  
Fresamento 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114

### H

Hidratos de gás 85, 86, 91

### I

Inconel 718 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115  
Inibidores da linha verde 67, 69  
Inibidores de corrosão 67, 69, 70, 74, 75, 76, 79, 81, 82  
Inibidores de hidratos de gás 85

Inibidores poliméricos 85, 87

Inibidores sintéticos 67

## **M**

Manufatura aditiva 14, 15

Manufatura aditiva por arco elétrico - WAAM 14

## **O**

Óxido nítrico 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104

## **P**

Poli (ácido láctico) - PLA 1, 2, 4

Poliuretano termoplástico 1, 3, 4

Pré-tratamento de ferro-gusa 55, 56

Propriedades mecânicas 11, 15, 68, 73, 105, 106, 112

Protocolo de alto rendimento 85

## **R**

Resfriamento criogênico 105, 111

## **S**

Spin-coating 27, 28, 30, 31





## **T**

Termodinâmica computacional 54, 57, 63, 66

Testes não destrutivos 15

Tratamento térmico 15, 29, 33, 34, 35, 41, 42, 73, 105, 112, 113

Trióxido de Tungstênio - WO<sub>3</sub> 27

 [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)

*Collection:*

# APPLIED MATERIALS ENGINEERING

  
Ano 2022

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

*Collection:*

# APPLIED MATERIALS ENGINEERING

  
Ano 2022