

# A Engenharia de Produção na Contemporaneidade

Marcos William Kaspchak Machado  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

Marcos William Kaspchak Machado  
(Organizador)

# A Engenharia de Produção na Contemporaneidade

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M149 e Machado, Marcos William Kaspchak  
A engenharia de produção na contemporaneidade [recurso eletrônico] / Marcos William Kaspchak Machado. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (A Engenharia de Produção na Contemporaneidade; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-99-4

DOI 10.22533/at.ed.994180912

1. Engenharia de produção. I. Título.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “*A Engenharia de Produção na Contemporaneidade*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume I apresenta, em seus 30 capítulos, os novos conhecimentos para a engenharia de produção nas áreas de gestão de processos produtivos, manutenção e simulação.

As áreas temáticas de gestão de processos produtivos, manutenção e simulação, tratam de temas relevantes para otimização dos recursos organizacionais. A constante mutação neste cenário torna necessária a inovação na forma de pensar e fazer gestão, planejar e controlar as organizações, para que estas tornem-se agentes de desenvolvimento técnico-científico, econômico e social.

A crescente aplicação tecnológica e inovação nos sistemas produtivos evidencia a necessidade de processos de gestão. Muitos destes processos dependem de simulações para reduzir custos de implantação e aumento do nível de precisão, auxiliando na gestão da manutenção e consequente aumento de eficiência e produtividade.

Este volume dedicado à gestão de processos produtivos, manutenção e simulação traz artigos que tratam de temas emergentes sobre o planejamento e controle de produção, gestão de processos, mapeamento do fluxo de valor, layout e logística empresarial, gestão da manutenção e simulação aplicada aos sistemas produtivos.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de conhecimentos e inovações, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Marcos William Kaspchak Machado

## SUMÁRIO

### GESTÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS, MANUTENÇÃO E SIMULAÇÃO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DE TEMPOS E MOVIMENTOS APLICADOS NA PRODUÇÃO DE BOLOS EM UMA CONFEITARIA NO MUNICÍPIO DE CASTANHAL/PA	
<i>Elida Roberta Carvalho Xavier</i>	
<i>Fernanda Quitéria Arraes Pimentel</i>	
<i>Larissa dos Santos Souza</i>	
<i>Marcelo Silva de Oliveira Filho</i>	
<i>Ramon Medeiros de Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809121</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE CARRINHOS DE SUPERMERCADO	
<i>Ana Luiza Lima de Souza</i>	
<i>Andreia Macedo Gomes</i>	
<i>Dyego de Queiroz Brum</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809122</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS EM UMA EMPRESA DE SEMI JOIAS DE CURITIBA	
<i>Leonardo Ferreira Barth</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809123</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>47</b>
A APLICABILIDADE DA FERRAMENTA DE MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR: ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE MÓVEIS PLANEJADOS NA CIDADE DE CUIABÁ - MT	
<i>Danilo André Aguiar Barreto</i>	
<i>Fernando Guilbert Pinheiro Borges</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809124</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>60</b>
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR EM UMA CÉLULA DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA DO RAMO PLÁSTICO	
<i>Micael Piazza</i>	
<i>Ivandro Cecconello</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809125</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>75</b>
ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO EM ALUMÍNIO	
<i>Carla Luiza Costa Lima</i>	
<i>Amanda Caecilie Thon De Melo</i>	
<i>Tarek Ferraj</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9941809126</b>	



**CAPÍTULO 7 ..... 85**

ANÁLISE DOS DESPÉRDÍCIOS EXISTENTES E DO RESPECTIVO CONTROLE VIA MRP NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DIRECIONADOS PARA RECÉM-NASCIDOS E LACTENTES EM AMBIENTE RESIDENCIAL

*Eduardo Braga Costa Santos*

*Denise Dantas Muniz*

**DOI 10.22533/at.ed.9941809127**

**CAPÍTULO 8 ..... 96**

PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE PRODUTOS PARA BELEZA

*João Lucas Ferreira dos Santos*

*Jessycka Brandão Santana*

*Afonso José Lemos*

*Rony Peterson da Rocha*

**DOI 10.22533/at.ed.9941809128**

**CAPÍTULO 9 ..... 109**

GESTÃO DE SERVIÇOS POR MEIO DO USO DE TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: APLICAÇÕES NOS SETORES DE SAÚDE, CONSTRUÇÃO CIVIL E ALIMENTÍCIO

*Lucas Guedes De Oliveira*

*Paulo Henrique da Silva Campos*

*André Xavier Martins*

*John Anthony do Amaral Oliveira*

*Anderson Paulo Paiva*

**DOI 10.22533/at.ed.9941809129**

**CAPÍTULO 10 ..... 126**

PARAMETRIZAÇÃO DO MRP E IMPLANTAÇÃO DE TEMPO DE SEGURANÇA NO SETOR DE PROGRAMAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA EMPRESA MULTINACIONAL DO SETOR AERONÁUTICO

*Ferdinand van Run*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091210**

**CAPÍTULO 11 ..... 137**

VALUE STREAM MAPPING (VSM); COMO ENXERGAR AS PERDAS NOS PROCESSOS PRODUTIVOS PARA EFICÁCIA DA MELHORIA CONTINUA

*Alexandro Gilberto da Silva*

*Eduardo Gonçalves Magnani*

*Geraldo Magela Pereira Silva*

*Nelson Ferreira Filho*

*Ricardo Antônio Pereira da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091211**

**CAPÍTULO 12 ..... 152**

ANÁLISE DA CAPACIDADE PRODUTIVA DOS EQUIPAMENTOS ATRAVÉS DO INDICADOR OEE EM UM SETOR DE SALGADINHO DE UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

*Carina Lemos Piton*

*Aline Ramos Duarte*

*José Alfredo Zoccoli Filho*

*Marcos Cesar da Silva Almeida*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091212**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>161</b>
AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NO SETOR DE TRATAMENTO TÉRMICO ATRAVÉS DA METODOLOGIA KAIZEN	
<i>John Anthony do Amaral Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091213</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>173</b>
REDUÇÃO DO CICLO DE MONTAGEM DE SUBSISTEMAS EM UMA INDÚSTRIA AERONÁUTICA ATRAVÉS DA METODOLOGIA KAIZEN	
<i>John Anthony do Amaral Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>185</b>
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP EM UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA	
<i>Juan Pablo Silva Moreira</i>	
<i>Jaqueline Luisa Silva</i>	
<i>Janaína Aparecida Pereira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>200</b>
ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> EM EMPRESA DE PEQUENO PORTE	
<i>Tatiana Raposo de Paiva Cury</i>	
<i>Francine Pamponet Pereira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091216</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>215</b>
ABORDAGEM PRÁTICA DO <i>LEAN</i> E METODOLOGIA SEIS SIGMAS PARA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE FALHAS FALSAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE MONTAGEM TVS/LCD	
<i>Raimundo Nonato Alves da Silva</i>	
<i>Ghislaine Raposo Bacelar</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091217</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>236</b>
IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA “ <i>LEAN</i> ” NOS SETORES DE SERVIÇOS GERAIS DE UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO	
<i>José Luiz da Silva Perna</i>	
<i>Fernando Toledo Ferraz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091218</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>249</b>
APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	
<i>John Anthony do Amaral Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091219</b>	

**CAPÍTULO 20 ..... 263**

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA A MELHORIA CONTÍNUA DE UM PROCESSO PRODUTIVO: UM ESTUDO APLICADO A UMA EMPRESA DE EXTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA MINERAL

*Cryslaine Cinthia Carvalho Nascimento*

*João Victor Nunes Lopes*

*Paulo Ricardo Fernandes de Lima*

*Sonagno de Paiva Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091220**

**CAPÍTULO 21 ..... 278**

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA LINHA DE MANUFATURA DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUTOS BÉLICOS

*Matheus Prado*

*Fabrcio Alves de Almeida*

*Bruno Monti Nardini*

*José Henrique de Freitas Gomes*

*Thiago Prado*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091221**

**CAPÍTULO 22 ..... 292**

APLICAÇÃO DOS CINCO PASSOS DA MELHORIA CONTÍNUA DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC): O CASO DE UMA INDÚSTRIA DE CAL

*Fábio Pregararo*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091222**

**CAPÍTULO 23 ..... 306**

PROPOSTA DE UM NOVO MODELO DE ARRANJO FÍSICO PARA UMA COZINHA EXPERIMENTAL A PARTIR DO PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DO LAYOUT – SLP (SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING)

*Aylla Roberta Victor Ferreira da Silva*

*Ana Carolina do Nascimento Gomes*

*Elga Batista da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091223**

**CAPÍTULO 24 ..... 318**

AMAZÔNIA LEGAL E OS DESAFIOS LOGÍSTICOS: ESTUDO LONGITUDINAL DE CASO EM UMA AGROINDÚSTRIA

*Rodrigo Ribeiro de Oliveira*

*Fernando Nascimento Zatta*

*Lirio Pedro Both*

*Jair Pereira Rosa*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091224**

**CAPÍTULO 25 ..... 330**

ATIVIDADES LOGÍSTICAS: ESTUDO DE CASO EM UMA TRANSPORTADORA LOCALIZADA NA REGIÃO CENTROOESTE DO PARANÁ

*Nayara Caroline da Silva Block*

*Pedro Henrique Barros Negrão*

*Andressa Maria Corrêa*

*Camila Maria Uller*

*Tainara Rigotti de Castro*

**DOI 10.22533/at.ed.99418091225**



<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>342</b>
PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO	
<i>Renan Barbosa de Assis</i>	
<i>Josevaldo dos Santos Feitoza</i>	
<i>Bento Francisco dos Santos Júnior</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091226</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>359</b>
IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA TPM EM MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE PAPEL	
<i>Wagner Costa Botelho</i>	
<i>Luis Fernando Quintino</i>	
<i>Cesar Augusto Della Piazza</i>	
<i>Diego Rodrigues Xavier</i>	
<i>Rafael Dantas de Carvalho</i>	
<i>Raphael da Mota Povo</i>	
<i>Wesley Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Alexandre Acácio de Andrade</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091227</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>369</b>
SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA PIZZARIA	
<i>Isabela Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Julia Camila Melo Magalhães</i>	
<i>Marcelo dos Santos Magalhães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091228</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>381</b>
SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA MINIMIZAR DEFEITOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DOS METAIS	
<i>Valcir Marques de Menezes</i>	
<i>Sirnei Cesar Kach</i>	
<i>Joici Cristiani de Souza</i>	
<i>Rafael Luciano Dalcin</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091229</b>	
<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>392</b>
O USO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ARENA PARA ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS.	
<i>Edson Tetsuo Kogachi</i>	
<i>Allan José Gonçalves Dias</i>	
<i>Henrique Leão Barbosa</i>	
<i>Luana Regina Gonçalves dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.99418091230</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>402</b>

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA MINIMIZAR DEFEITOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DOS METAIS

### **Valcir Marques de Menezes**

FAHOR (Faculdade Horizontina), Engenharia Mecânica, Horizontina – Rio Grande do Sul

### **Sirnei Cesár Kach**

FAHOR (Faculdade Horizontina), Engenharia de Produção, Horizontina – Rio Grande do Sul

### **Joici Cristiani de Souza**

FAHOR (Faculdade Horizontina), Ciências Econômicas, Horizontina – Rio Grande do Sul

### **Rafael Luciano Dalcin**

UFRGS Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Porto Alegre, RS

**RESUMO:** nos últimos anos, as indústrias de fundição têm sofrido grandes mudanças quanto ao aumento de produtividade, diminuição de índices de refugo e especificações das propriedades físicas e mecânicas das peças. Com a exceção dos produtos produzidos por técnicas de metalurgia do pó, todas as peças e componentes metálicos durante a sua manufatura passam pelo menos uma vez pelo processo de fundição. O processo de fundição de metais é de grande complexidade, onde muitas variáveis influenciam diretamente nas características finais do produto. Este artigo tem como objetivo solucionar a falha, denominada porosidade, ocorrida em peças

fundidas, através da utilização de um software de simulação numérica voltado para o processo de fundição de metais. As simulações realizadas neste trabalho juntamente com as alterações feitas no ferramental de fundição possibilitaram a eliminação do problema de porosidade, garantindo a produção de novos lotes de peças sem o surgimento de novas falhas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processo de fundição, Simulação numérica, Porosidade.

**ABSTRACT:** In recent years, foundry industries have undergone major changes in terms of increased productivity, decreased in scrap rates and specifications of the physical and mechanical properties of the parts. With exception of product produced by powder metallurgy processes, all parts and metallic content during their manufacturing go through a foundry process at least once. The process of foundry metals is of great complexity, where many variables directly influence the final characteristics of the product. This paper aims to solve the failure, called porosity that occur in foundry parts, trough use a numerical simulation software for foundry processes. The simulations carried out in this research together with the changes made in casting tooling allowed to eliminate the porosity problem, ensuring the production of new part batches without the emergence of new failures.

**KEY WORDS:** Foundry process, Numerical

simulation, Porosity.

## 1 | INTRODUÇÃO

A manufatura de peças através do processo de fundição representa o menor caminho entre a matéria prima e o produto final, sua importância na economia da indústria nacional se confirma perante dados da ABIFA (2018) que informam que a indústria brasileira de fundição empregou cerca de 53.128 trabalhadores, sendo só na região sul 19.859 empregados, com uma produção de 160.746 toneladas de ferro fundido. Destas 36.644 toneladas foram destinadas à exportação no qual se obteve um faturamento de cerca de US\$ 83.555.400 no mês de março de 2018.

A engenharia assistida por computador abrange uma grande variedade de programas de computador que auxiliam na tomada de decisões desde as análises físicas mais básicas de um produto até a sua produção em larga escala. Dentre as principais aplicações destes softwares pode-se citar a redução do tempo de desenvolvimento de produtos e a melhora no desempenho de componentes ou de seu processo de fabricação, onde para se obter resultados satisfatórios se faz indispensável a capacidade de transformar componentes em um modelo computacional adequado (IDAGAWA, 2013).

No presente estudo, configura-se como objeto de estudo o problema em um item que possui alto índice de reprovação, devido ao surgimento de falhas no material fundido, classificadas como porosidade. Dentre os fatores que podem causar o seu surgimento chama-se atenção para o mau dimensionamento do sistema de alimentação. Desta forma, o objetivo do trabalho é identificar o motivo do surgimento destas falhas e realizar as alterações necessárias para eliminar este defeito.

## 2 | DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 Referencial teórico

#### *2.1.1 Fundição generalidades*

A fundição parte do aquecimento do material a fim de transformá-lo em estado líquido, após este é transferido para uma cavidade a qual permanecerá até a sua solidificação onde irá assumir a forma da mesma. Esta cavidade é denominada molde que pode ser expansível ou molde de areia, também o permanente ou molde metálico (BOLJANOVIC, 2009).

#### *2.1.2 Porosidade*

Porosidade são pequenas cavidades de aspecto rugoso que surgem durante a

solidificação na forma de macroporosidades ou microporosidades, ambas ocorrem devido às contrações que o metal sofre no estado líquido e de solidificação. Normalmente estas falhas estão localizadas nas últimas regiões da peça a se solidificar (GARCIA, 2001).

A Figura 1 representa a característica de uma macroporosidade causada pelo mau dimensionamento do sistema de alimentação, onde ao final do processo de solidificação ocorre a formação de um poro devido a contração volumétrica do metal durante o processo.



Figura 1: Característica da falha (Porosidade).

Fonte: Os autores, 2018.

### *2.1.3 Simulação numérica do processo de fundição de metais.*

A simulação é um processo com base computacional para definição de um modelo de resultado em um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação aplicada na resolução de alguma demanda (MENDEZ, 2009 *apud* PEGDEN, 1990).

A simulação permite a análise de diferentes cenários e configurações de um modelo. O suporte recebido pelos diferentes métodos de simulação, auxiliam com maior precisão na tomada de decisões em projetos. Com base nisso tem-se um aumento de maneira significativa a competitividade das empresas que fazem o uso desta tecnologia, pois a efetividade sobre os resultados é maior por consequência (VIEIRA, 2006).

O uso de simulação numérica no processo de fundição de acordo com Oliveira e Galhardi (2016) teve suas primeiras tentativas no ano de 1970, nesta época, o método não foi bem recebido pelos profissionais, que alegavam já estar produzindo seus produtos com a maior qualidade possível e não precisarem de computadores para identificar os maiores desafios de um projeto. Contudo, atualmente a simulação numérica passou a ser reconhecida como uma ferramenta de suma importância no processo de fundição, sendo utilizada no desenvolvimento de produtos e na otimização de processos.

Oliveira e Galhardi (2016) ainda destacam que as principais vantagens relacionadas com a utilização de simulações em processos de fundição são: melhoria

da qualidade final dos produtos, redução do índice de refugo, aumento do rendimento metálico, redução do número de testes para a aprovação de um item fundido e o fornecimento de uma base científica e documentada para a garantia da qualidade e a certificação.

#### 2.1.4 MAGMA<sup>5</sup>

O MAGMA<sup>5</sup> é uma ferramenta de simulação numérica desenvolvida pela empresa alemã MAGMA<sup>5</sup> *Gießereitechnologie<sup>1</sup>GmbH* que tem como objetivo melhorar a qualidade do processo de fundição, além de reduzir custos de produção. A integração do software em ambientes CAE (engenharia assistida por computador) proporciona o conhecimento sistemático de todas as variações e dependências do processo de fabricação, além de possibilitar a avaliação de riscos por meio da validação virtual de acordo com os requisitos do produto antes da aprovação do projeto (MAGMA, 2017).

Para a realização dos cálculos, o MAGMA<sup>5</sup> faz o uso do método de volumes finitos, as equações aproximadas são obtidas a partir da integração de equações diferenciais em um volume de controle de geometria conhecida, utilizando um conjunto de malhas estruturadas (VAZ, 2015).

O software pode realizar simulações de diferentes materiais, entre eles: Alumínio, cobalto, cobre, ferro, aço, magnésio, níquel, zinco entre outras ligas. Quanto aos processos, este atua nas áreas de fundição em areia, moldes permanentes e por injeção. O mesmo ainda possui um módulo exclusivo para simulações de confecção de machos. O MAGMA<sup>5</sup> ainda conta com um sistema de simulação baseado em DoE (*Design of Experiments*) que seria a realização de simulações de maneira automática a partir de restrições e objetivos designados pelo usuário, estes podem ser referentes ao processo, como por exemplo: variações na composição química, temperatura, tempo de desmoldagem, entre outros; ou geométricos como a área destinada ao fluxo do metal dentro da cavidade do molde. Os resultados gerados podem ser analisados de forma sistêmica com o auxílio de diversas ferramentas de avaliação, nos quais incluem tabelas, gráficos e diagramas. A interface do software em seu ambiente de resultados pode ser visualizada na Figura 2.

---

1. *Gießereitechnologie*: Tecnologia de fundição

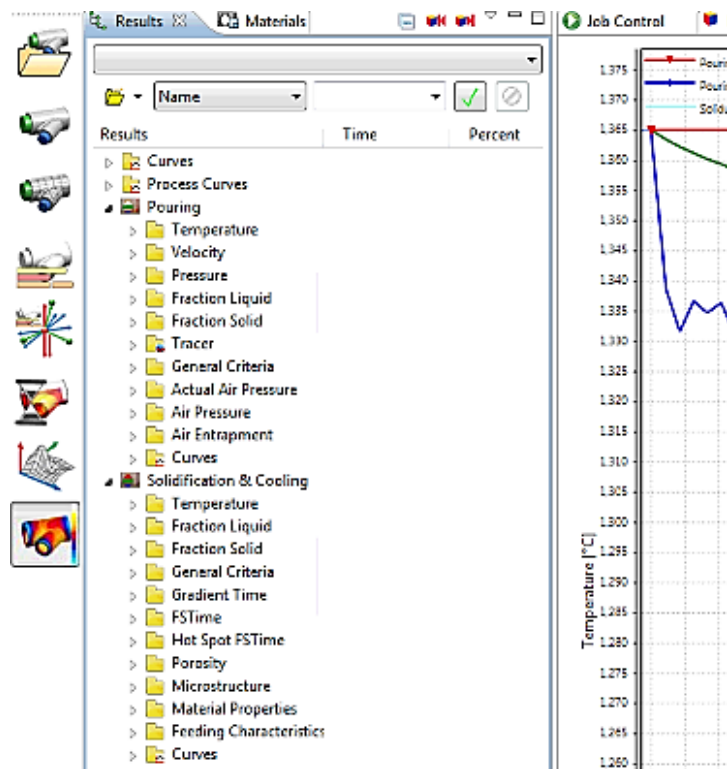


Figura 2: Interface do Software MAGMA<sup>5</sup> – Ambiente de resultados.

Fonte: Os autores, 2018.

### 2.1.5 Malha computacional

A malha computacional é uma representação do plano físico utilizado na simulação numérica. Ela é composta por linhas e pontos, estes pontos, onde as linhas se interceptam servem como orientação para os cálculos de propriedades físicas baseados em modelos matemáticos (MALISKA, 1995).

Conforme Amaral (2016) para gerar uma malha computacional de boa qualidade deve-se inicialmente importar a geometria CAD, examiná-la, e se necessário repará-la. Gerar uma malha preliminar para inspecionar a discretização. Realizar os ajustes necessários para melhorar a malha ou gerar refinamentos localizados no domínio e por fim, gerar a malha final.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Hardware utilizado

O hardware utilizado para a realização das simulações possui processador: Intel® Xeon® CPU E5-1620 0 @ 3.60GHz 3.60 GHz; memória RAM: 32GB; e placa de vídeo: NVIDIA® Quadro® M2000 – 4GB GDDR5.

### 2.2.2 Geometria e malha computacional

No presente estudo as geometrias foram modeladas no software Solidworks e



importadas para o MAGMA<sup>5</sup>. Uma vez representada a geometria do sistema realiza-se a identificação de cada componente do mesmo. Durante a geração da malha buscou-se descrever a geometria do item, componentes do sistema, para adquirir resultados mais precisos com as simulações, conforme identificação na Figura 3.

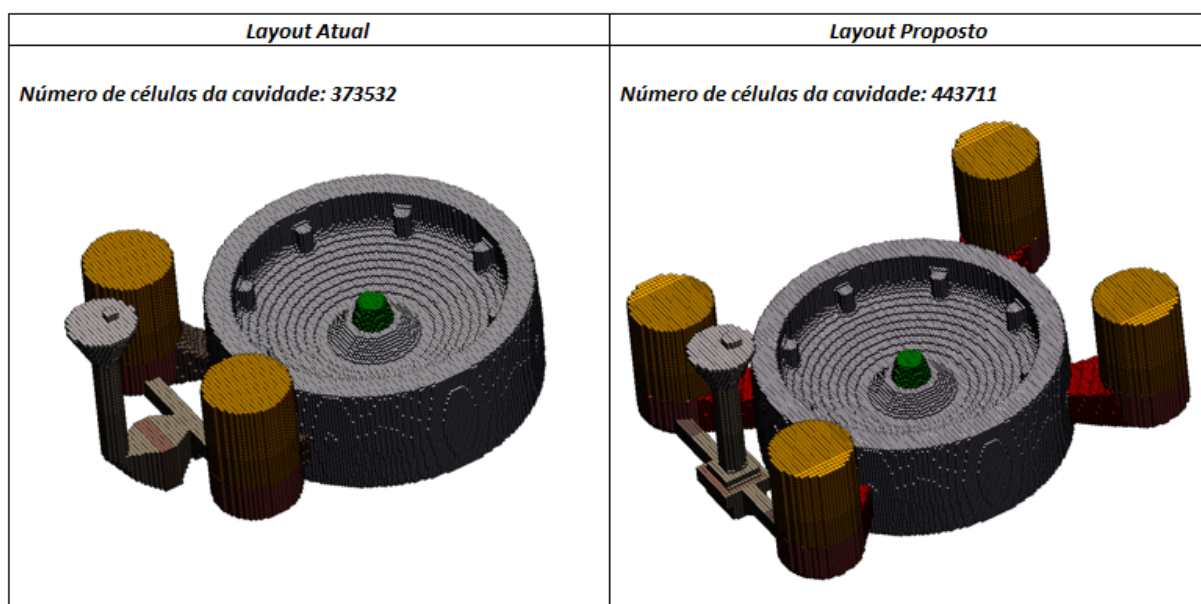


Figura 3: Malhas geradas para a realização das simulações.

Fonte: Os autores, 2018.

Com uma boa representação dos sistemas, os resultados obtidos com as simulações se tornam mais assertivos quanto ao que acontece na prática. Os números de elementos por cavidade estão diretamente ligados com o tempo de cálculo durante as simulações.

### 2.2.3 Definições

Após a conclusão da malha são inseridas informações sobre os materiais, coeficientes de transferência de calor entre componentes, tempos de cada etapa do ciclo, dentre outras condições de contorno. O item em análise é manufaturado em ferro fundido GJS-400, este material possui uma matriz predominante ferrítica e grafita nodular. Com o objetivo de manter uma boa correlação entre a simulação e a prática, foi utilizado a composição da Tabela 1, esta composição foi definida através de um ensaio de espectrometria. A temperatura inicial de vazamento foi 1380°C.

Composição química (%)						
C (Carbono)	Ce (Cério)	Cr (Cromo)	Cu (Cobre)	Mg (Magnésio)	Mn (Manganês)	Mo (Molibdênio)
3,42	0,0087	0,029	0,025	0,031	0,338	0,0009
N (Nitrogênio)	Ni (Níquel)	P (Fósforo)	S (Enxofre)	Sb (Antimônio)	Si (Silício)	Sn (Estanho)
0	0,01	0,02	0,0043	0	2,17	0,0045

Tabela 1: Composição química utilizada para o processo de simulação numérica.

Fonte: Os autores, 2018.

Todas as versões simuladas do item fazem uso de massalotes com luvas exotérmicas, estas possuem a função de manter os massalotes quentes por um maior intervalo de tempo durante a solidificação, suas propriedades podem ser visualizadas na Tabela 2.

Propriedades das luvas exotérmicas		
Temperatura de ignição	600	°C
Tempo de queima	1000	S
Calor gerado	1000000	J/kg
Permeabilidade	50	Cm <sup>3</sup> /min

Tabela 2: Propriedades das luvas exotérmicas utilizadas no processo de simulação.

Fonte: Os autores, 2018.

Referente ao molde de areia verde utilizado, suas propriedades são definidas da seguinte maneira: temperatura inicial de 32°C, permeabilidade do molde de 120 cm<sup>3</sup>/min e uma umidade percentual de 4%.

#### 2.2.4 Perspectiva de simulação e resultados

A perspectiva de simulação consiste na simulação numérica propriamente dita, que é a parte onde o processador do programa irá realizar os cálculos com base nos dados informados anteriormente. A última fase de uma simulação consiste em avaliar os dados calculados na área de perspectiva de resultados. A interface do software mostra os resultados via imagens do sistema simulado e a sua avaliação pode ser realizada com a assistência de gráficos, tabelas e escalas. O software é capaz de exibir mais de trinta resultados diferentes, onde é possível prever potenciais defeitos, bem como identificar sua origem, os mesmos também podem ser utilizados para realizar comparativos entre diferentes versões, evidenciando suas diferenças. No entanto, para a avaliação da tendência de porosidade não é necessário a utilização de todos os resultados gerados.

Os seguintes resultados das simulações foram utilizados nas análises:

- Fração de líquido (*fraction Liquid*): Permite a visualização de metal líquido no intervalo de solidificação assim como o seu comportamento e os caminhos de alimentação;
- Porosidade (*Porosity*): Demonstra as porosidades geradas pela contração do metal durante a solidificação, assim como o seu tamanho e intensidade, permitindo identificá-las como primárias ou secundárias.

### 2.3 Resultados e discussão

A primeira simulação realizada foi referente ao sistema de alimentação utilizado

atualmente, com o intuito de analisar o comportamento do sistema durante o processo de solidificação e identificar a causa da ocorrência do defeito porosidade. Através da análise do resultado fração de líquido pode-se evidenciar o isolamento de massa líquida nas regiões “A” e “B” da peça durante a solidificação. No resultado de porosidade pode-se identificar que os isolamentos de massa líquida durante a solidificação estão diretamente relacionados com a tendência de formação de falhas no item, conforme indicado na Figura 4. O resultado de porosidade condiz com o que ocorre no item, sendo as falhas na área externa da peça as que se manifestam durante o processo de usinagem.

Através dos resultados da simulação realizada com base no ferramental de fundição atual, foi modelado um novo sistema. Pelo fato de ocorrer isolamentos de massa líquida durante a solidificação, adicionou-se dois massalotes com luvas exotérmicas ao sistema, a fim de suprir a necessidade de material da peça e evitar a formação de defeitos. Com a inclusão dos massalotes (A) ao sistema houve a necessidade de alteração no sistema de alimentação (B) devido a fatores geométricos do ferramental. O sistema atual e o proposto podem ser visualizados na Figura 5. Por vezes a inclusão de massalotes gera uma diminuição no rendimento metalúrgico da árvore, mas torna-se necessário para garantir a qualidade do produto fundido.

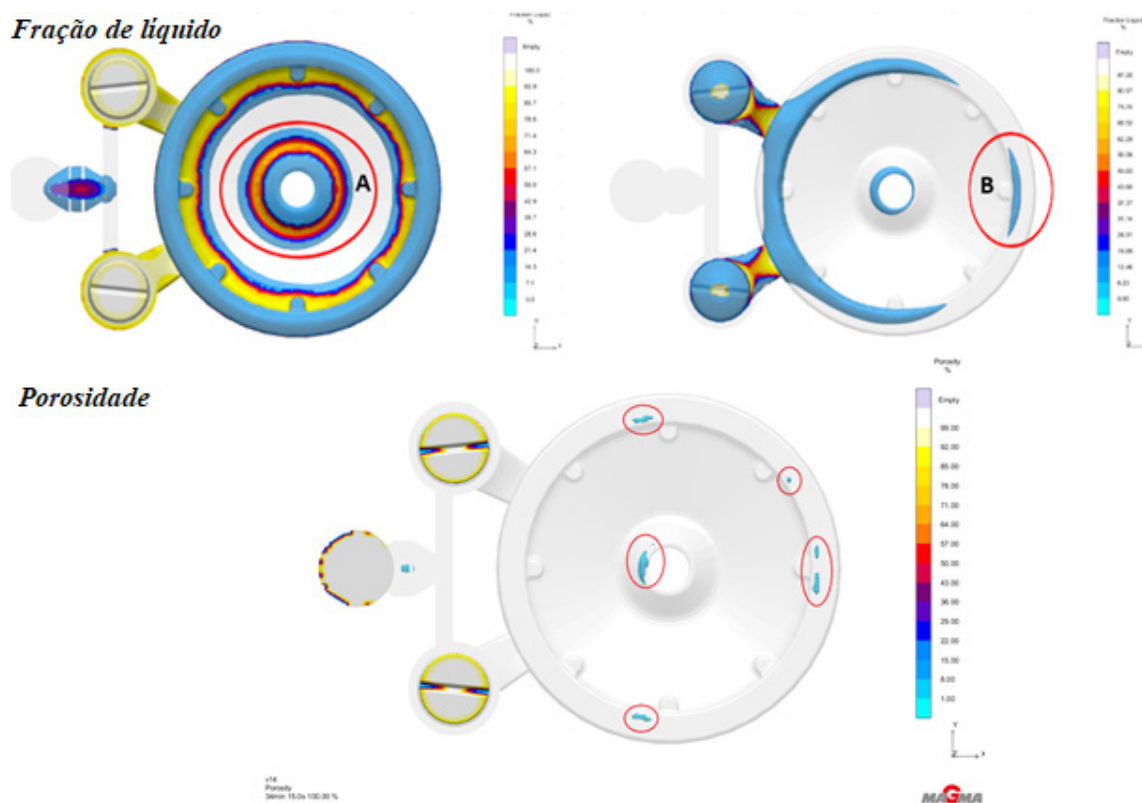


Figura 4: Resultados de solidificação do ferramental atual.

Fonte: Os autores, 2018.

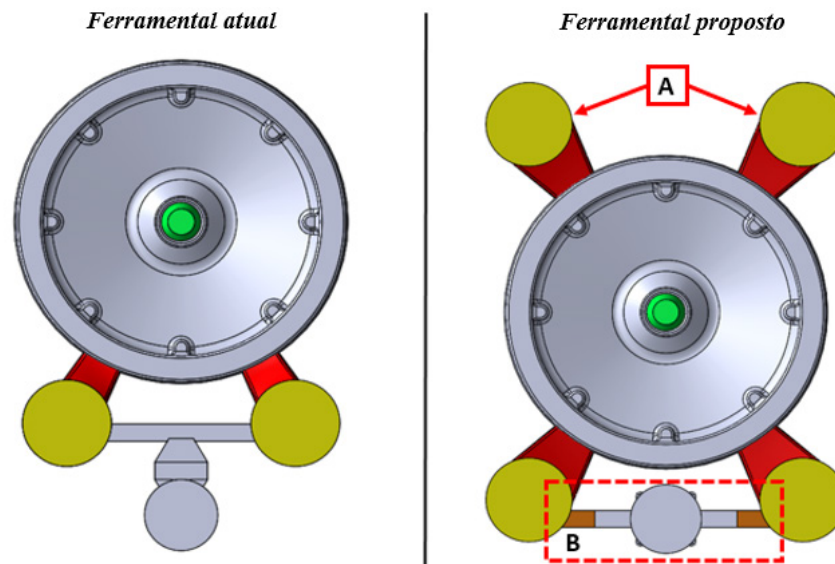
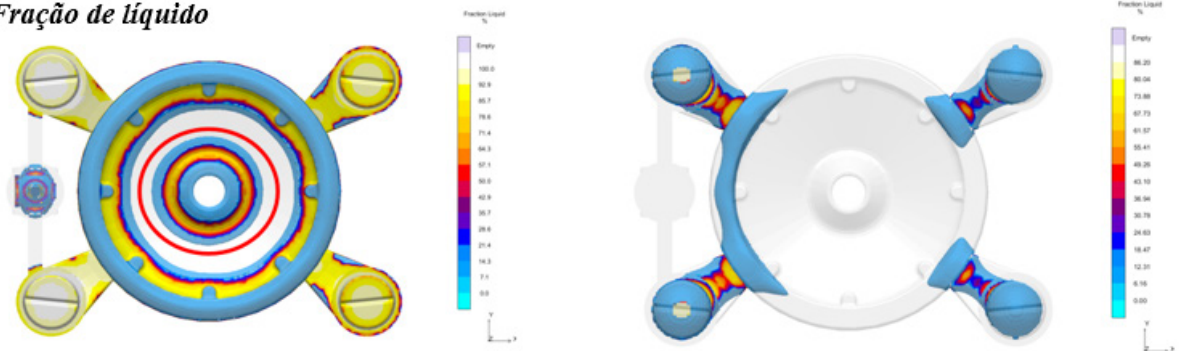


Figura 5: Ferramental de fundição atual e proposto.

Fonte: Os autores, 2018.

Com as alterações realizadas executou-se uma segunda simulação referente ao ferramental de fundição proposto. Na Figura 6, ainda pode ser visualizado um isolamento de massa líquida na região central do item, que ocorre devido a geometria da peça. Porém, a solidificação da região externa do item se demonstrou direcionada para os massalotes, o que impediu a ocorrência de isolamentos de massa líquida na região. No caso de ocorrer isolamento de fração líquida, a possibilidade de falha aumenta pois em função da contração natural do metal, este ponto ao não ter suporte de um massalote, pode vir a formar uma porosidade.

### *Fração de líquido*



### *Porosidade*

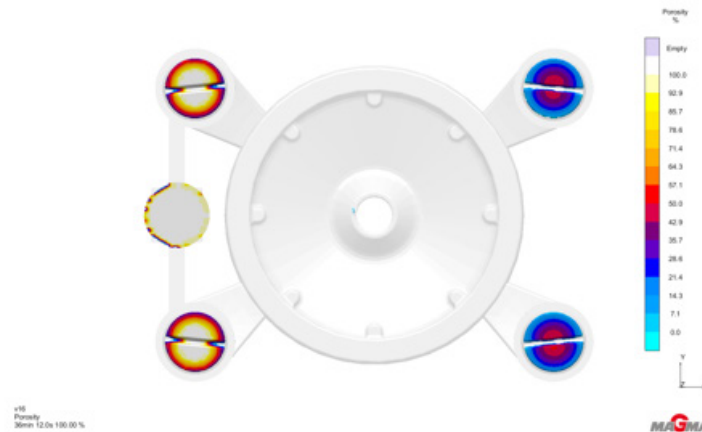


Figura 6: Resultado de solidificação do ferramental proposto.

Fonte: Os autores, 2018.

O resultado de porosidade da simulação realizada com o ferramental proposto, Figura 6, demonstram a região externa da peça isenta de falhas e uma pequena tendência a defeito na região central do item. Muitas vezes esta tendência ocorre em função da distância entre os canais de ataque dos massalotes. A fluidez do metal por vezes é comprometida pela distância, temperatura e a própria composição química que depende do percentual de silício, onde quanto mais elevado for, menos denso fica o metal. Após as simulações concluídas, realizou-se as alterações necessárias no ferramental e foi manufaturado um lote teste do item onde nenhuma peça apresentou o defeito porosidade, o qual vinha ocorrendo com a utilização do antigo ferramental.

## CONCLUSÃO

Por meio dos resultados das simulações numéricas apresentados neste trabalho conclui-se que o processo de fundição de metais é de grande complexidade, onde muitas variáveis influenciam diretamente nas características finais do produto. Estas variáveis podem ser de diferentes fontes, pois sofrem interferências desde o cálculo de canais, temperatura e composição. Além disso a própria umidade da areia, compactação e tempo de vazamento geram fatores prejudiciais. A aplicação de simulações numéricas na melhoria do desempenho de um processo de fabricação, possibilitou a eliminação do defeito decorrente do produto. Um lote piloto foi manufaturado e não se constatou o defeito de porosidade em nenhum item do mesmo.

Com a aplicação da tecnologia de simulações numéricas em sistemas industriais, as empresas podem reduzir seu índice de não conformidade, otimizar seu processo de fabricação e reduzir o tempo aplicado no desenvolvimento de projetos. A utilização adequada de softwares de simulação proporciona significativa vantagem estratégica e abre novas possibilidades para fundições com potencial sucesso econômico.

Na simulação é de extrema importância a fidelidade de informações relacionadas ao projeto do ferramental, escolha da malha e identificação correta da aplicação dos canais de ataque. Entende-se desta forma que a precisão e o detalhe na definição de todos os requisitos de preparação para simulação são o diferencial para um ótimo resultado. Planejar e organizar de forma efetiva e mais precisa possível é relevante a se obter um excelente resultado na simulação numérica do processo de fundição.

## REFERÊNCIAS

ABIFA, Índices setoriais: **Desempenho do setor de fundição março/2018**. São Paulo, 2018. Disponível em: <[www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2018/04/03-MARCO2018.pdf](http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2018/04/03-MARCO2018.pdf)>. Acesso em 01 maio. 2018.

AMARAL, L. **Preparação de modelos para geração de malhas**. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/05/preparacao-de-modelos-para-geracao-de-malhas/>>. Acesso em: 16 ago 2017.

BOLJANOVIC, V. **Metal shaping processes**: Casting and molding; Particulate processing; Deformation processes; and metal removal. New York: Industrial Press, 2009.

GARCIA, A. **Solidificação**: Fundamentos e aplicações. São Paulo: UNICAMP, 2001.

IDAGAWA, H. S. **A importância do engenheiro no desenvolvimento de simulações computacionais**. Publicado em 01/2013. Disponível em: <<http://www.revistaintellectus.com.br/DownloadArtigo.ashx?codigo=269>>. Acesso em 13 ago. 2017.

MAGMA. **Reliable Castings and Robust Quality for Designers and Supply Chain Experts**. Disponível em: <<https://www.magmaflow.com/en/engineering/castingbuyer/>>. Acesso em 17 ago 2017.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**: Fundamentos e coordenadas generalizadas. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

MENDEZ, T. **Simulação numérica**: O que é e para que serve. Disponível em: <[http://www.ifsc.usp.br/~lattice/oldlattice/minicurso\\_fiscomp.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~lattice/oldlattice/minicurso_fiscomp.pdf)>. Acesso em 05 ago. 2017.

OLIVEIRA, R. J.; GALHARDI, A. C. **Simulação numérica e a fundição de metais do Brasil**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2016.

VAZ JÚNIOR, M. **Introdução ao método de volumes finitos**. 5. ed. Joinville: LAMEC, 2015.

VIEIRA, G. E. **Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais**. In: XIII SIMPEP. Bauru, São Paulo, 2006.



## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**MARCOS WILLIAM KASPCHAK MACHADO** Professor na Unopar de Ponta Grossa (Paraná). Graduado em Administração- Habilitação Comércio Exterior pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especializado em Gestão industrial na linha de pesquisa em Produção e Manutenção. Doutorando e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com linha de pesquisa em Redes de Empresas e Engenharia Organizacional. Possui experiência na área de Administração de Projetos e análise de custos em empresas da região de Ponta Grossa (Paraná). Fundador e consultor da MWM Soluções 3D, especializado na elaboração de estudos de viabilidade de projetos e inovação.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-99-4



9 788585 107994