



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

**GUSTAVO EMMANUEL CARVALHO BORELLA GUIDETTI**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LIGA DE FERRO FUNDIDO NODULAR  
AUSTEMPERADO OBTIDO A PARTIR DA LIGA SAE J434 - D5504**

**UBERABA/MG**

**2019**



**GUSTAVO EMMANUEL CARVALHO BORELLA GUIDETTI**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LIGA DE FERRO FUNDIDO NODULAR  
AUSTEMPERADO OBTIDO A PARTIR DA LIGA SAE J434 - D5504**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano

Coorientador: Prof. Dr. Mário Sérgio da Luz

**UBERABA/MG**

**2019**

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

G971e      Guidetti, Gustavo Emmanuel Carvalho Borella  
Estudo das propriedades da liga de ferro fundido nodular austemperado  
obtido a partir da liga SAE J434 - D5504 / Gustavo Emmanuel Carvalho  
Borella Guidetti. -- 2019.  
161 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) -- Uni-  
versidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano  
Coorientador: Prof. Dr. Mário Sérgio da Luz

1. Ferro fundido. 2. Metais - Tratamento térmico. 3. Ligas de ferro. I.  
Shimano, Marcos Massao. II. Universidade Federal do Triângulo Minei-  
ro. III. Título.

CDU 669.13

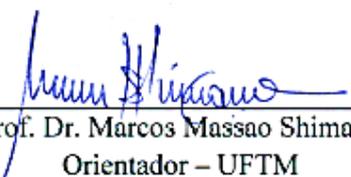
GUSTAVO EMMANUEL CARVALHO BORELLA GUIDETTI

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LIGA DE FERRO FUNDIDO NODULAR  
AUSTEMPERADO OBTIDO A PARTIR DA LIGA SAE J434 - D 5504

Trabalho de conclusão apresentado ao  
Programa de Mestrado Profissional em  
Inovação Tecnológica da Universidade Federal  
do Triângulo Mineiro, como requisito para  
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 27 de fevereiro de 2019

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Marcos Massao Shimano  
Orientador – UFTM

  
Prof. Dr. Evaldo Malaquias da Silva  
Membro Titular – UFTM

  
Prof. Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos  
Membro titular – UFRGS

Dedico à Deus, família, mestres e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Essa dissertação conclui mais uma etapa em minha vida, uma conquista, uma vitória. Faço simples minhas palavras para descrever o quanto sou grato a todos que me ajudaram a tornar a idealização desse trabalho possível.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Massao Shimano que, com seu empenho e disciplina, me forneceu condições e princípios técnicos para a formulação deste trabalho, além de seus conselhos e ajudas nos momentos certos.

Agradeço a todos os professores que me tornaram apto ao longo desse processo, em especial ao Prof. Dr. Mario Sergio da Luz, meu coorientador, por sua disponibilidade.

A minha família que sempre esteve ao meu lado, me dando apoio e incentivos. Em especial ao meu pai, que sempre me serviu de espelho e ideal de profissionalismo, à minha mãe, com todo seu carinho e atenção, e a minha avó por todas suas orações e palavras de sabedoria.

Agradeço à Fundibras, principalmente ao Diretor Eduardo Filho, que sempre me incentivaram, fornecendo condições técnicas e apoio para a busca desse conhecimento.

Agradeço à Fundação Batatais, especialmente ao Gerente Kempess, por toda disponibilização da estrutura da empresa, por acreditar na possibilidade de realização desse estudo, e por todos os conhecimentos compartilhados.

Agradeço à minha noiva, Ana Luisa, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando, e dando forças para a concretização desse trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento,  
mais evidente fica nossa ignorância”.

John F. Kennedy

## RESUMO

No Brasil, apesar das excelentes condições para a fabricação do Ferro Fundido Nodular Austemperado - ADI, ainda há uma produção insuficiente e com baixo interesse acadêmico, podendo justificar-se pelo conhecimento escasso dos engenheiros a respeito das vantagens técnicas e econômicas do material. Soma-se a isso, grande carência de informações sobre o seu comportamento mecânico, restringindo a aplicação do material mesmo diante do interesse das indústrias automobilísticas e de máquinas. Diante disto, vislumbra-se a importância de estudos que busquem identificar o comportamento desse material através de análises de suas propriedades mecânicas e microestruturais. Neste contexto, este estudo submeteu uma liga de ferro fundido nodular ao processo de austêmpera, e buscou identificar o comportamento desse material através de análises das propriedades mecânicas e microestruturais antes e após o tratamento térmico. Foram utilizados corpos de provas obtidos por 24 blocos Y de 25mm de espessura, vazados igualmente por três fusões diferentes, para composição de um material de ferro fundido nodular de classe SAE J434 - D 5504. O processo de tratamento térmico se dividiu em fase de austenitização, mantido a 900°C por duas horas, seguida por fase de austêmpera, mantido a uma temperatura de 290°C também por duas horas. Realizou-se ensaios de tração, dureza e impacto. As microestruturas foram obtidas com auxílio de microscopia ótica e análise de imagens, sendo identificada matriz ausferrítica sem presença de carbonetos, de forma homogênea ao longo de todas as amostras analisadas. As propriedades mecânicas do ferro fundido nodular austemperado, como esperado, chegaram a patamares significativamente melhores em relação ao nodular bruto de fusão, atingindo classificação de Grau 3 na norma ASTM A 897/A897M-16 para as propriedades de limite de tração, aumento de 195%, de escoamento, aumento de 242% e dureza, aumento de 174%. Porém, para o alongamento e impacto, os valores foram insuficientes atingindo patamar pouco inferior ao limite mínimo, o que pode estar associado à presença de grafitas tipo III encontradas.

Palavras-chave: Ausferrita, Austêmpera, Ferro Fundido Nodular Austemperado

## ABSTRACT

In Brazil, despite the excellent conditions for the manufacture of austempered Nodular cast iron-ADI, there is insufficient production and low academic interest, and may be justified by the scarce knowledge of the engineers about the advantages Technical and economic characteristics of the material. In addition, a great lack of information about its mechanical behavior, restricting the application of the material even in the interest of the automobile and machinery industries. In view of this, it is observed the importance of studies that seek to identify the behavior of this material through analyses of its mechanical and microstructural properties. In this context, this study submitted a nodular cast iron alloy to the Austenitization process, and sought to identify the behavior of this material by analyzing the mechanical and microstructural properties before and after the heat treatment. Test specimens obtained by 24 Y-blocks of 25mm thickness were used, also leaked by three different fusions, for the composition of a nodular cast iron material of class SAE J434-D 5504. The process of heat treatment was divided into austenitization phase, maintained at 900 ° C for 2 hours, followed by the Austempera phase, maintained at a temperature of 290 °C also for 2 hours. Tensile, hardness and impact tests were performed. The microstructures were obtained with the aid of optical microscopy and image analysis, and the ausferritic matrix was identified without the presence of carbides, homogeneously throughout all the samples analyzed. The mechanical properties of the austeniated nodular cast iron, as expected, reached significantly better levels in relation to the gross Nodular Fusion, reaching Grade 3 classification in ASTM A 897/A897M-16 for the boundary properties of traction, increase of 195%, flow, increase of 242% and hardness, increase of 174%. However, for stretching and impact, the values were insufficient to reach a little lower than the minimum limit, which may be associated with the presence of type III graphites found.

Keywords: Ausferrite, Austempera, Austempered Ductile Iron

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de Alimentação para uma Fundição em Molde de Areia de uma Peça.....	19
Figura 2 - Diagrama de Equilíbrio Fe-C.....	20
Figura 3 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Branco .....	22
Figura 4 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Maleável.....	23
Figura 5 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Cinzento .....	23
Figura 6 - Micrografia Ótica de Ferro Fundido Nodular.....	24
Figura 7 - Diagrama de Fases do Fe-C para Ferros Fundidos Comerciais Mostrando as Microestruturas Resultantes de Vários Tipos de Tratamentos Térmicos.....	25
Figura 8 - Micrografia da Classe D5504 Segundo Norma SAE J434 .....	27
Figura 9 - Diagrama de Fases Ferro-Carbono, em Equilíbrio Estável (linha tracejada) e Metaestável (linha contínua). .....	28
Figura 10 - Variação do Número de Nódulos de Grafita com o Carbono Equivalente para Técnicas Simples de Inoculação com 0,25; 0,50 e 0,75% de Fe-Si .....	31
Figura 11 - Diagrama de Henderson.....	33
Figura 12 - Produção Global de Ferro Fundido Nodular Austemperado .....	35
Figura 13 - Microestrutura Típica de um ADI Apresentando Nódulos de Grafita, Ferrita Acicular e Austenita Estável com Alto Teor de Carbono. ....	36
Figura 14 - Propriedades de Resistência do ADI e do Ferro Nodular .....	37
Figura 15 - Microestrutura do Ferro Fundido Nodular (presença de carbonetos).....	40
Figura 16 - Ciclo Característico de Tratamento Térmico de Austêmpera.....	42
Figura 17 - Gráfico TTT de um Processo de Austêmpera.....	43
Figura 18 - Representação do Desenvolvimento da Microestrutura durante Austêmpera. ....	44
Figura 19 - Janela de Processamento Para Temperaturas de Austenitização de 870, 900 e 950°C .....	45
Figura 20 - Janela do Processamento para Cinética de Austêmpera de Ferros Fundidos Nodulares Contendo Adições de 0,37 e 0,67% de Mn.....	45
Figura 21 - Influência da Temperatura de Austenitização nas Propriedades Mecânicas de Fundidos em Ferros Fundidos Nodulares Austemperados .....	46
Figura 22 - Reações e Frações das Fases Resultantes da Transformação na Austêmpera de um ADI a Altas temperaturas (> 350°C) e a Baixas temperaturas (< 350°C).....	48

Figura 23 - Influência da Temperatura de Austêmpera no Limite de Resistência à Tração, no Alongamento e na Dureza em Dois Nodulares Austemperados, Contendo 2% Si (liga A) e 2,9% Si (liga B), para um Tempo de Austêmpera de 1 hora.....	49
Figura 24 - Influência da Temperatura de Austêmpera na Resistência ao Impacto, em Corpo-de-Prova Sem Entalhe, em Nodular Austemperado com 1,5% Ni e 0,3% Mo .....	49
Figura 25 - Influência do Tempo de Austêmpera nas Propriedades Mecânicas de Dois Ferros Fundido Nodulares Ligados (liga A: 3,57% C; 2,67% Si; 0,27% Mn; 0,51% Cu; 0,31% Mo) e não Ligado (liga B: 3,65% C; 2,64% Si; 0,24% Mn) Austemperados a 370°C.....	50
Figura 26 - Dimensão Bloco Y .....	52
Figura 27 - Processo de Vazamento nos Moldes Tipo 1 .....	55
Figura 28 - Espectrômetro SPECTROLAB® .....	56
Figura 29 - Corte do Corpo de Prova Y.....	58
Figura 30 – Desenho do Corpo de Prova para Ensaio de Tração.....	58
Figura 31 - Corpo de Prova Usinado para Ensaio de Tração Usinado .....	59
Figura 32 - Corpo de Prova Usinado para Ensaio de Impacto .....	59
Figura 33 - Corpo de Prova para Ensaio de Impacto.....	60
Figura 34 - Corpos de Prova para Análises metalográficas Após Lixamento e Polimento.....	60
Figura 35 - Máquina Universal de Ensaio - Emic® Modelo 23-200.....	61
Figura 36 - Máquina de Ensaio da Marca Equilam® - Modelo EQIM-300.....	61
Figura 37 - Durômetro do Tipo Brinell (HB) da Marca Hoytom®.....	62
Figura 38 - Leitor Óptico para Leitura de Dureza no Software Brinell Electron RT® .....	62
Figura 39 - Policorte e Politriz Usadas na Preparação das Amostras Metalográficas.....	63
Figura 40 - Microscópio Ótico Olympus® GX41 Equipado com Uma Câmera Olympus® SC30 .....	64
Figura 41 - Microestrutura Bruta de Fusão: Fusão 1 - CP1. (100x).....	67
Figura 42 - Microestruturas Após Austêmpera. Fusão 1 - CP5 – a) (100x); b) (500).....	69
Figura 43 - Ensaio de Tração: L.R. e L.E.....	73
Figura 44 - Ensaio de Tração: Alongamento.....	74
Figura 45 - Ensaio de Dureza Brinell .....	75
Figura 46 - Ensaio de Impacto Charpy .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de Composição de Ferros Fundidos Típicos Comuns. ....	21
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Ferro Fundido Nodular Segundo a Norma SAE J434-D5504 .....	27
Tabela 3 - Propriedades Mecânicas do ADI Segundo a Norma ASTM 897/A 897M –16 .....	37
Tabela 4 - Efeitos da Composição Química na Austêmpera do ADI.....	38
Tabela 5 - Faixas de Carbono Equivalente Segundo Norma ASTM A897/897M-16.....	38
Tabela 6 - Redução de Custos Devido à Conversão de Peças por ADI. ....	41
Tabela 7 - Dimensões do Bloco Y.....	52
Tabela 8 - Composição Química Sugerida pela Norma SAE J434 – D5504 .....	53
Tabela 9 - Composição Química Sugerida pela Norma ASTM A 897/A897M-16 .....	53
Tabela 10 – Composição Para Formulação da Carga do Forno .....	54
Tabela 11 - Composição Química (Inoculante e Nodulizante) .....	54
Tabela 12 - Temperatura de Vazamento.....	55
Tabela 13 - Dados do Ciclo de Tratamento Térmico Realizado .....	57
Tabela 14 - Composição Química dos Elementos Constituintes das Corridas.....	65
Tabela 15 – Características Microestruturais do Material Bruto de Fusão .....	67
Tabela 16 - Propriedades Microestruturais Médias do Material Bruto de Fusão .....	68
Tabela 17 - Características Microestruturais do Material Austemperado .....	70
Tabela 18 - Características Microestruturais Médias do Material Austemperado .....	70
Tabela 19 - Propriedades Mecânicas – Bruto de Fusão.....	71
Tabela 20 - Propriedades Mecânicas – Após Austêmpera .....	72
Tabela 21 - Propriedades Mecânicas – Média entre Corpos de Prova .....	72
Tabela 22 - Propriedades Mecânicas – Média entre Fusões.....	73
Tabela 23 – Características Microestruturais Refeitas do Material Bruto de Fusão .....	77
Tabela 24 - Características Microestruturais Refeitas Médias do Material Bruto de Fusão ....	77
Tabela 25 - Características Microestruturais Refeitas do Material Austemperado .....	78
Tabela 26 - Características Microestruturais Refeitas Médias do Material Austemperado ....	78

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ADI - *Austempered Ductile Iron* (Ferro Fundido Nodular Austemperado);
- AFS - *American Foundry Society* (Sociedade Americana de Fundição);
- ASTM – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana para Testes e Materiais);
- BCIRA - *British Cast Iron Research Association*;
- CE – Carbono Equivalente;
- CNC - *Computer Numeric Control* (Controle Numérico Computadorizado);
- DIN - *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão de Normalização);
- HB - *Hardness Brinell* (Dureza Brinell);
- ICTE - Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas;
- INCA - *International Nickel Company* (Empresa Internacional do Níquel);
- L.E. - Limite de escoamento convencional (0,2% de deformação);
- L.R. - Limite de resistência à tração;
- SAE - *Society of Automotive Engineers* – Sociedade de Engenheiros Automotivos;
- SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial;
- TEE – Temperatura do Eutético Estável;
- TEM – Temperatura do Eutético Metaestável;
- TTT – Curva de tempo, temperatura e transformação para tratamentos térmicos isotérmicos;
- UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  – Ferrita;  
 $\gamma$  – Austenita;  
 $\gamma_C$  – Fração de austenita retida;  
 $\gamma_H$  – Austenita com alto teor de Carbono;  
Al – Alumínio;  
Ba – Bário;  
C – Carbono;  
Ca – Cálcio;  
Ce – Cério;  
Cr - Cromo;  
Cu - Cobre;  
Fe – Ferro;  
 $Fe_3C$  – Carboneto de Ferro / Cementita;  
G – Grafita;  
Mg – Magnésio;  
MgO – óxido de Magnésio;  
Mn – Manganês;  
Mo - Molibdênio;  
MPa – Mega Pascal;  
Ms – Temperatura Inicial de Martensita;  
Ni - Níquel;  
 $N_L$  - Interceptos em Agulhas de Ferrita;  
P - Fósforo;  
S – Enxofre;  
Si – Silício;  
Ti – Titânio;  
 $T_\gamma$  – Temperatura de austenitização;  
V – Vanádio.

## SUMÁRIO<sup>1</sup>

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Fundição</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Ferro Fundido</b> .....	<b>19</b>
3.2.1	<i>Ferro Fundido Branco e Ferro Fundido Maleável</i> .....	21
3.2.2	<i>Ferro Fundido Cinzento</i> .....	23
3.2.3	<i>Ferro Fundido Nodular</i> .....	24
<b>3.3</b>	<b>Ferro fundido nodular</b> .....	<b>26</b>
3.3.1	<i>Solidificação dos Ferros Fundidos Nodulares</i> .....	27
3.3.2	<i>Tratamento de Inoculação</i> .....	30
3.3.3	<i>Tratamento de Nodularização</i> .....	31
3.3.4	<i>Composição química e efeito dos elementos de liga</i> .....	32
<b>3.4</b>	<b>Ferro Fundido Nodular Austemperado</b> .....	<b>34</b>
3.4.1	<i>Especificações e Características</i> .....	36
3.4.2	<i>Microestruturas do Ferro Fundido Nodular Austemperado</i> .....	39
3.4.3	<i>Aplicações do ferro fundido austemperado</i> .....	41
3.4.4	<i>Tratamento Térmico de Austêmpera</i> .....	42
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Moldagem</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2</b>	<b>Fusão</b> .....	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise Química</b> .....	<b>56</b>
<b>4.4</b>	<b>Tratamento Térmico de Austêmpera</b> .....	<b>57</b>
<b>4.5</b>	<b>Corpos de Prova para Ensaios Mecânicos</b> .....	<b>57</b>
<b>4.6</b>	<b>Ensaios Mecânicos</b> .....	<b>60</b>

---

<sup>1</sup> - Normas de acordo com as diretrizes do Manual para apresentação de trabalhos acadêmicos baseado nas normas de documentação ABNT da Universidade Federal do Triângulo Mineiro de 2013.

<b>4.7</b>	<b>Análises metalográficas</b> .....	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise Química</b> .....	<b>65</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise metalográfica</b> .....	<b>66</b>
5.2.1	<i>Estado bruto de fusão</i> .....	66
5.2.2	<i>Estado após austêmpera</i> .....	68
<b>5.3</b>	<b>Propriedades mecânicas</b> .....	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>
	<b>ANEXO 1 – ORDEM DE FUSÃO -CARGA DO FORNO</b> .....	<b>86</b>
	<b>ANEXO 2 - CERTIFICADO INOCULANTE FOUNDRISIL ELKEM</b> .....	<b>87</b>
	<b>ANEXO 3 – CERTIFICADO NODULIZANTE NODULARISER ELKEM</b> .....	<b>88</b>
	<b>ANEXO 4 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C53-4</b> .....	<b>89</b>
	<b>ANEXO 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C54-3</b> .....	<b>90</b>
	<b>ANEXO 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C57-3</b> .....	<b>91</b>
	<b>ANEXO 7 – RELATÓRIOS DE ANÁLISES METALOGRÁFICAS E DE ENSAIOS MECÂNICOS – SEM TRATAMENTO TÉRMICO</b> .....	<b>92</b>
	<b>ANEXO 8 – RELATÓRIOS DE ANÁLISES METALOGRÁFICAS E DE ENSAIOS MECÂNICOS – COM TRATAMENTO TÉRMICO</b> .....	<b>116</b>
	<b>ANEXO 9– RELATÓRIOS DE ENSAIO DE TRAÇÃO – SEM TRATAMENTO</b> .....	<b>140</b>
	<b>ANEXO 10 – RELATÓRIOS DE ENSAIO DE TRAÇÃO – COM TRATAMENTO TÉRMICO</b> .....	<b>152</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias brasileiras se defrontam com um alto nível de concorrência e isso tem conduzido o mercado pela busca constante da melhoria de qualidade aliada a uma redução de custos de produção. Diante deste cenário, as empresas buscam estratégias cada vez mais eficientes e desafiadoras (SOUZA; AGUILAR; NOGUEIRA, 2012). Os desafios impõem à engenharia a criação de materiais mais resistentes, leves e com menores custos de produção (NOGUEIRA, 2011).

No setor metalúrgico, esta intensa competitividade de mercado induz pesquisas por novos processos, visando o desenvolvimento de ligas e materiais que favoreçam a fabricação de peças e equipamentos com menores custos e com desempenhos iguais ou superiores (BUCHLI, 2010). A busca de melhoria nas propriedades desses materiais é feita através da adição de elementos de liga ou por tratamentos térmicos, com critérios relacionados a parâmetros como carregamento mecânico, térmico, ou condições de contorno como custos de manufatura, reciclagem, aceitação do público e usinabilidade (KLOCKE et.al., 2007).

No Brasil, somente no ano de 2016, foram produzidas 111.939 toneladas de ferro fundido, o que corresponde a 80% do total de produção de fundidos no ano, dentre metais ferrosos e não ferrosos (ABIFA, 2017). É no contexto de destaque dentro do percentual de produção nacional que os ferros fundidos, dentre os materiais submetidos a fenômenos de transformações de fase, carecem de uma atenção especial. Devido à correlação existente entre propriedades mecânicas e microestruturais do material, dá-se a importância de estudar os aspectos envolvidos na obtenção e processamento dos materiais de engenharia. Aspectos esses, relacionados a fatores inerentes às ligas fundidas, tais como a presença de intensa segregação química oriunda do processo de solidificação e a heterogeneidade de microestrutura e propriedades ao longo das seções fundidas (BONETI, 2014).

A necessidade de estudos a respeito do ferro fundido e as notáveis combinações de propriedades do *Austempered Ductile Iron* (ADI), conhecido também como ferro fundido nodular austemperado, têm motivado pesquisas na área. Segundo Hayrynen (2002) este metal é composto por microestrutura com diversas combinações de propriedades fazendo com que este material seja utilizado na indústria em substituição a aços forjados, aumentando assim sua importância. Recomendado para muitas aplicações como, por exemplo, em componentes solicitados ao desgaste, que incluem peças de equipamentos de movimentação de terra e de mineração, componentes automobilísticos, engrenagens e peças estruturais de baixo peso (PIMENTEL; GUESSER, 2017). Ademais, “tem a vantagem de menor custo de matéria-prima,

---

menor custo de produção, baixa densidade, melhor usinabilidade e maior capacidade de amortecimento do que o aço-liga a substituir” (MARTINEZ, 2011, p.16).

O ADI, é um ferro fundido nodular com acréscimo de elementos de liga e tratamento térmico, que nos últimos anos evoluiu tornando-se um importante material no cenário da engenharia. Motivo esse justificado pelas vantagens em suas propriedades mecânicas como, elevada tenacidade, ductilidade, resistência à tração, ao desgaste e à fadiga. Melhorias que permitem a substituição até mesmo do aço, em indústrias de diversos setores do mercado mundial. Sua produção mundial ficou acima de 100 mil toneladas em 2005 e estimado a 500 mil toneladas em 2020 (DIAS, 2006; HAYRYNEN et al, 2002; FULLER, 1985).

No Brasil, apesar das excelentes condições para a fabricação do ADI, há uma produção insuficiente e com baixo interesse acadêmico, podendo justificar-se pelo conhecimento escasso dos engenheiros a respeito das vantagens técnicas e econômicas do material, somado a grande carência de informações sobre o seu comportamento mecânico, restringindo a aplicação desse material apesar do interesse das indústrias automobilísticas e de máquinas (DIAS, 2006). Diante disto é de extrema importância o desenvolvimento de estudos que busquem identificar o comportamento desse material através de análises de suas propriedades mecânicas e microestruturais.

É neste contexto da necessidade de estudos a respeito do ADI, juntamente à necessidade de uma avaliação de melhoria de processos da fundição Batatais diante da produção de ferros fundidos nodulares da liga SAE J434 D5504 após o processo de austêmpera, que esse trabalho visa estudar o comportamento de uma liga de ferro fundido nodular austemperado através de análises das propriedades mecânicas e microestruturais, buscando comparar os resultados obtidos antes e após o tratamento de austêmpera.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar as propriedades mecânicas e as características microestruturais de um ferro fundido nodular SAE J434 - D 5504 antes e após tratamento de austêmpera, buscando identificar as alterações provocadas por esse tratamento térmico sobre o material, e classificá-lo diante da norma ASTM A 897/A897M-16.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a microestrutura da liga SAE J434 - D 5504 fundida, antes e após tratamento de austêmpera, utilizando de metalografias, buscando comparar a matriz, o grau de nodularidade e esferoidização do material, e qualificar o material pela norma ASTM A 897/A897M-16.
- b) Analisar e comparar a evolução das propriedades mecânicas da liga SAE J434 - D 5504 antes e após tratamento térmico de austêmpera, através de ensaios de tração, dureza e impacto, buscando avaliar a influência do tratamento térmico na alteração das propriedades mecânicas e correspondência diante da norma ASTM A 897/A897M-16.

### 3 REVISÃO TEÓRICA

#### 3.1 FUNDIÇÃO

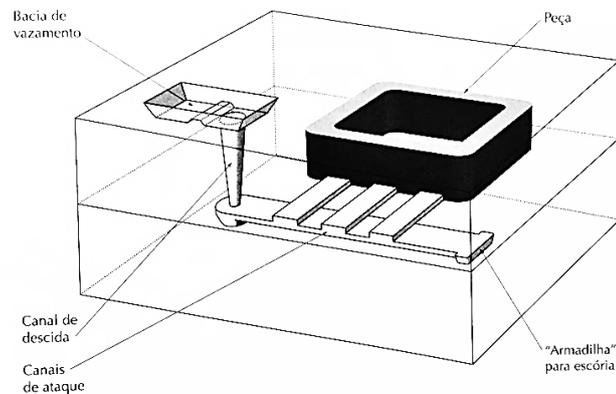
A fundição é um processo de fabricação de peças no qual, um metal fundido flui por gravidade ou por outra força dentro de um molde e se solidifica em suas cavidades. Este processo apresenta como vantagens a fabricação de peças complexas, a possibilidade de produção da peça final, além de ampla capacidade de dimensões e pesos (KIMINAMI; OLIVEIRA, 2003).

A fabricação de peças através da fundição de metais representa o menor caminho entre a matéria-prima e o produto final, porém é um processo complexo devido ao grande número de variáveis que possui, como a matéria-prima, o molde, o forno, a mão de obra, o tipo de liga e os insumos. Entretanto, é considerado um processo completo e ágil do ponto de vista da entrega do produto final (BRAGA, 1992).

O processo de fabricação de peças por meio de fundição por gravidade pode ser descrito de acordo com as etapas a seguir (OLIVEIRA, GALHARDI, 2016, p.16) e ilustrado na Figura 1:

- a) *Confecção do modelo*: a construção do modelo com o formato da peça a ser fundida. Normalmente confeccionado em madeira, alumínio ou resina;
- b) *Projeto dos sistemas de canais e massalotes*: constitui do dimensionamento do canal de alimentação por onde o metal líquido passa até chegar ao molde e do projeto dos massalotes, que são as reservas de metal destinado a suprir a falta de material devido à contração durante a solidificação;
- c) *Confecção do molde*: material refratário no qual é depositado o metal fundido para se obter a peça desejada, composto de areia e aglomerante;
- d) *Confecção dos machos*: dispositivo feito de areia com objetivo de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça;
- e) *Fusão/vazamento*: etapa que engloba a fusão do metal no forno, elaboração da liga e preenchimento do molde com o metal líquido;
- f) *Desmoldagem*: retirada da peça do molde após o tempo de solidificação e resfriamento adequado para cada tipo de peça e situação;
- g) *Rebarbação e limpeza*: processo de retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas.

Figura 1 - Sistema de Alimentação para uma Fundição em Molde de Areia de uma Peça



Fonte: Kiminami, Castro, Oliveira, 2013

### 3.2 FERRO FUNDIDO

Segundo Torre (2004) as ligas de metais são compostas pela união entre dois ou mais metais, e essa união favorece para que o metal possua uma junção de várias propriedades e características superiores desejadas. Assim, a utilização do termo ferro fundido se refere a uma família de materiais na qual o principal constituinte é o ferro, com quantidades significativas de carbono e silício. Chiaverini (2008, b) define o ferro fundido como “liga Fe-C-Si, de teores de carbono acima de 2,0% em quantidade superior à que é retida em solução sólida na austenita de modo a resultar carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita”. Entretanto, Mattar Junior (2009) descreve que, na prática, a maioria dos ferros fundidos contem entre 3,0 e 4,5% de teores de carbono.

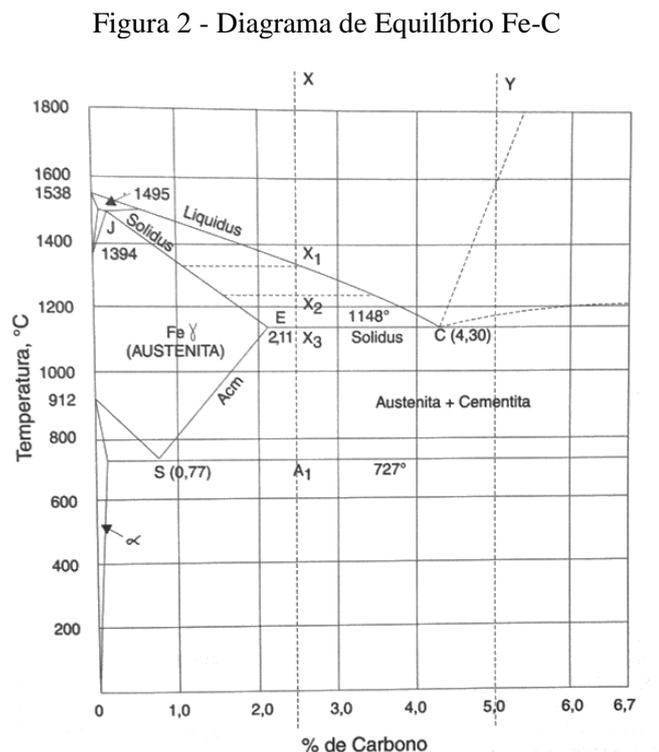
As principais propriedades mecânicas desta família de materiais são determinadas pela microestrutura, constituída de fases estáveis e metaestáveis, formadas durante a solidificação ou tratamento térmico subsequente. Os principais microconstituintes, derivados das formas químicas e morfológicas do carbono e da matriz metálica, são: grafita (G), carbonetos (cementita ou carbonetos complexos), ferrita ( $\alpha$ ), perlita, martensita, austenita ( $\gamma$ ) e bainita. (MALUF, 2002). Como exemplo, conforme relatado por Moreira et.al (2015), e citado em Silva (2016), as microestruturas definidas na etapa de resfriamento são responsáveis pelas características finais: quando o carbono se encontra na forma de grafita (carbono livre) resulta em fundido com baixa dureza, baixa resistência mecânica e boa usinabilidade; quando o carbono está na forma de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) apresenta dureza elevada, alta resistência mecânica, ao desgaste e baixa tenacidade.

O processo de formação de grafita é chamado de grafitação, o qual é influenciado diretamente pelas concentrações de silício superiores a 1% e pelos gradientes de resfriamento mais lentos durante a solidificação. A composição e os tratamentos térmicos são fatores determinantes na microestrutura e comportamento mecânico do ferro fundido, uma vez que o carbono se encontra na forma de grafita na maioria destes compostos (MATTAR JUNIOR, 2009).

A representação do diagrama de equilíbrio se baseia na fase estável e metaestável. Na fase estável, a microestrutura rica em carbono consiste em grafita, se estendendo até 100% de carbono; enquanto a fase metaestável se baseia na cementita a 6,7% de carbono (FRANCO,2010). A cementita (carboneto de ferro –  $Fe_3C$ ) pode decompor-se formando ferrita ( $\alpha$ ) e grafita, de acordo com a reação, Equação 1.



A Figura 2 retrata um diagrama de equilíbrio metaestável das ligas ferro-carbono, demonstrando uma composição de até 6,7% de carbono, como no caso do carboneto de ferro  $Fe_3C$  (cementita). É possível observar também as interações estruturais variando de acordo com a composição química durante as mudanças de temperaturas da solidificação.



Fonte: Chiaverini, 2008

Analisando-se o diagrama de equilíbrio para o sistema ferro-carbono, nota-se que as ligas com teores de Carbono acima de 2%, compatíveis com ferros fundidos, fundem-se por completo em temperaturas consideravelmente menores do que os aços exigindo, portanto, menos energia para o processo.

Através ainda do diagrama de equilíbrio de fases, pode-se perceber que os ferros fundidos possuem reação eutética durante a solidificação, cuja temperatura de fusão varia entre 1150 e 1300 °C. Tal temperatura é menor que as temperaturas de fusão do aço, o que favorece a custos de produção inferiores, menos energia utilizada para aquecer os fornos, refratários de menores custos, além de que o processo de fundição permite a obtenção de peças próximas as dimensões do produto final, reduzindo o custo e tempo de produção. (MARIANI, 2014)

Os tipos mais comuns de ferros fundidos estão classificados na Tabela 1, por faixas de composição química, de acordo com Chiaverini (2008.b) e descritos em seguida.

Tabela 1 - Faixa de Composição de Ferros Fundidos Típicos Comuns.

Composição Química, %					
Tipo	C	Si	Mn	S	P
<b>Branco</b>	1,8/3,6	0,5/1,9	0,25/0,80	0,06/0,20	0,06/0,20
<b>Maleável</b>	2,2/2,9	0,9/1,9	0,15/1,20	0,02/0,20	0,02/0,20
<b>Cinzento</b>	2,5/4,0	1,03/3,0	0,20/1,00	0,02/0,25	0,02/1,00
<b>Nodular</b>	3,0/4,0	1,8/2,8	0,10/1,00	0,01/0,03	0,01/0,10

Fonte: Chiaverini, 2008.b

### 3.2.1 Ferro Fundido Branco e Ferro Fundido Maleável

De acordo com Franco (2010) e Maluf (2002) os ferros fundidos recebem esta designação, pois ao sofrerem fratura, a superfície se mostra branca ou brilhante. Justificada pela grande proporção de carbono da liga em forma de carboneto de ferro (cementita) em vez de grafita, Figura 3. A formação de cementita é induzida por baixa quantidade de Si e altas velocidades de resfriamento. A composição necessária é de teor de C de 2 a 3% e Si de 0,5 a 1,5%, além da presença de elementos de liga que induzem a formação de carbonetos e um aumento da resistência ao desgaste.

Figura 3 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Branco



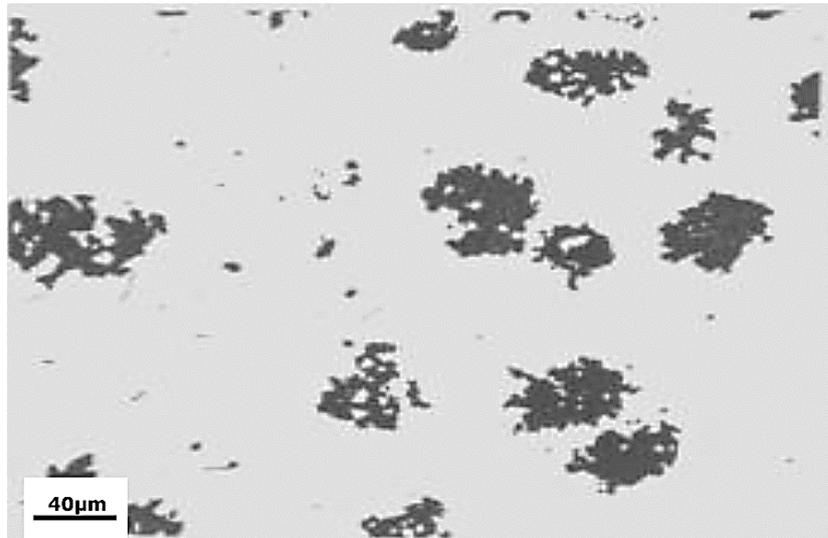
Fonte: Acervo do Laboratório Metalográfico do SENAI/CEFET, citado por FRANCO (2010)

Peças com seções espessas podem apresentar somente uma camada superficial de ferro branco, com seu interior de cinzento, devido ao resfriamento mais rápido na superfície. Por causa da fase cementita, o ferro branco é extremamente duro e frágil. Possui uso limitado a aplicações que exigem superfície dura e resistente à abrasão, e sem um grau elevado de ductilidade, tais como cilindros laminadores em trens de laminação (MATTAR JÚNIOR, 2009).

Os ferros fundidos maleáveis são fundidos semelhantes aos ferros fundidos brancos, ou seja, contêm grandes quantidades de carboneto de ferro (cementita) e não têm grafita, entretanto passam por tratamento térmico de maleabilização, visando transformar os carbonetos em grafita e austenita, que após o resfriamento podem dar origem à ferrita, perlita ou martensita, (FRANCO,2010). Na Figura 4 pode-se observar uma micrografia ilustrando ferro fundido maleável.

Após tratamento térmico a grafita presente em forma compactada ou quase esférica fornece ao ferro fundido maleável ductilidade e resistência à tração semelhante à do aço de baixo carbono. Segundo Maluf (2002), durante a solidificação, quando há formação de carbonetos, provoca uma contração aproximadamente de 2%, o que aumenta a necessidade de compensação da contração com uso de massalotes, elevando o custo da produção.

Figura 4 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Maleável



Fonte: Acervo do Laboratório Metalográfico do SENAI/CEFET, citado por FRANCO (2010)

### 3.2.2 Ferro Fundido Cinzento

O ferro fundido cinzento se forma quando a quantidade de carbono atinge o limiar de solubilidade deste na austenita, o que favorece a formação de grafita do tipo lamelar, conforme a Figura 5. Os ferros fundidos sem a presença de elementos de ligas possuem normalmente faixas de 2,5 a 4% de C e 0,5 a 3% de Si, sendo o Si o elemento estabilizador da grafita. (FRANCO,2010)

Figura 5 - Micrografia Ótica do Ferro Fundido Cinzento



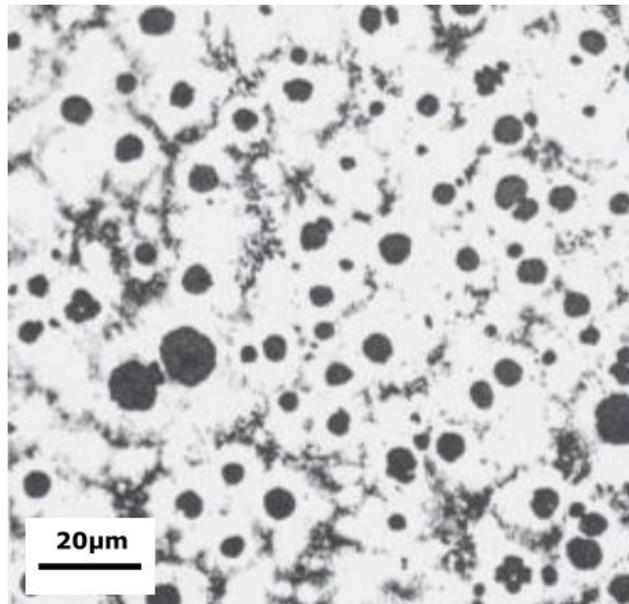
Fonte: Acervo do Laboratório Metalográfico do FAEN, citado por FRANCO (2010)

Durante a solidificação, um fator importante na formação da grafita, é a velocidade de resfriamento. Para velocidades de moderadas a baixas há formação da grafita em matriz ferrítica, enquanto em velocidades mais rápidas favorece a formação de matriz perlítica ou até mesmo presença de cementitas livres. Assim, de acordo com Mattar Júnior (2009), devido à essa microestrutura de grafita lamelar envoltas por matriz ferrítica ou perlítica, faz com que apresente uma baixa resistência a tração, com boa resistência a compressão e uma boa capacidade de amortecimento vibracional. Sendo usados em diversos nichos de peças e estruturas de máquinas e equipamentos submetidos a vibrações, pois são os materiais metálicos mais baratos que existem.

### 3.2.3 Ferro Fundido Nodular

Os ferros fundidos nodulares possuem a grafita em forma nodular, ou seja, no formato de esferas ou nódulos, conforme a Figura 6. A forma nodular e a matriz dúctil entre os nódulos, favorece o percurso de deslocamentos e não interrompe a continuidade da matriz, diferindo do ferro fundido de grafita lamelar, (FRANCO,2010).

Figura 6 - Micrografia Ótica de Ferro Fundido Nodular



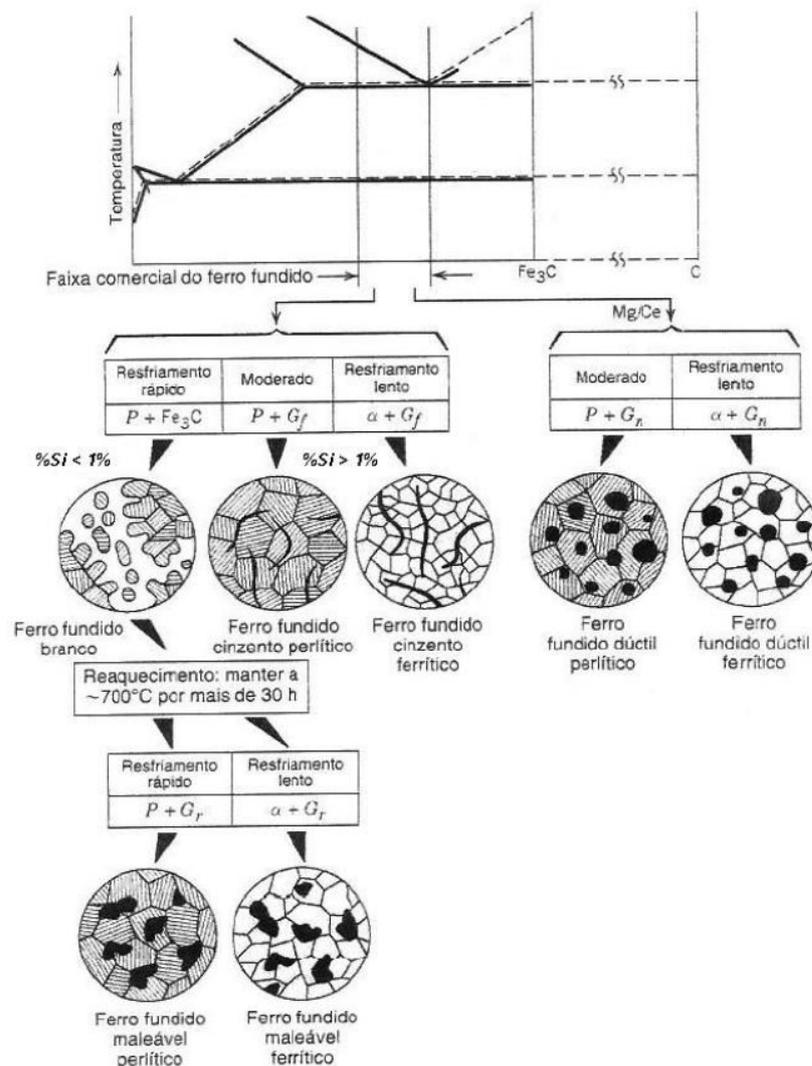
Fonte: Acervo do Laboratório Metalográfico do FAEN, citado por FRANCO (2010)

Essa alteração da forma da grafita lamelar, encontrada nos ferros fundidos cinzentos, para a forma nodular é ocasionada pela adição de magnésio, o que provoca maior resistência e

maior ductilidade do que os ferros cinzentos. Os ferros fundidos nodulares combinam as vantagens de fabricação dos ferros fundidos cinzentos com as propriedades semelhantes às das aços, permitindo que ocorra uma deformação significativa sem fratura. O nodular apresenta boa fluidez, boas características de fundição associada à elevada resistência mecânica, resistência ao desgaste, tenacidade, ductilidade e temperabilidade. Em consequência dessa característica o material é também conhecido como ferro fundido dúctil (MATTAR JÚNIOR, 2009).

Na Figura 7 pode-se observar o diagrama de fases do Fe-C destacando a faixa comercial para as classes de ferro fundidos descritas anteriormente, e suas microestruturas resultantes dos vários tipos de tratamentos térmicos.

Figura 7 - Diagrama de Fases do Fe-C para Ferros Fundidos Comerciais Mostrando as Microestruturas Resultantes de Vários Tipos de Tratamentos Térmicos.



Fonte: Callister, 2002

### 3.3 FERRO FUNDIDO NODULAR

A aplicação do ferro fundido na primeira metade do século XX era limitada por baixa ductilidade e tenacidade, porém havia a necessidade de criação de novos materiais capazes de unir a fundibilidade do ferro fundido cinzento junto a tenacidade do aço. Na época, então, foi desenvolvido primeiramente o ferro fundido maleável, porém, devido ao alto custo relacionado ao tratamento térmico e a dificuldade de fundir peças de ferro fundido branco, tornaram sua fabricação limitada. Em 1948, H. Morrogh da British Cast Iron Research Association (BCIRA) declarou na convenção da American Foundrymen's Society (AFS) que a adição de Cério (Ce), em pequenas quantidades, a uma liga de ferro fundido cinzento hipereutético era capaz de resultar em formatos esféricos de grafita. Porém, no mesmo ano, International Nickel Company comunicou que a mesma microestrutura poderia ser obtida com uso de Magnésio (Mg) como esferoidizante. (SILVA,2016; MALUF,2002)

Da mesma forma que o formato da grafita é importante para as propriedades do material, a estruturação da composição da matriz metálica também influencia e assim, determinam as diferentes propriedades nas variadas classificações dos ferros fundidos nodulares. Essa matriz poderá ser constituída de ferrita e perlita sendo que, caso haja uma variação nessa proporção, afetará diretamente a resistência mecânica e a ductilidade (PIESKE, 1975).

A quantidade de nódulos de grafita também afeta diretamente a resistência do material ao desgaste. De acordo com Dommarco (2004), independentemente de as matrizes serem ferrítica, perlítica, martensítica e ausferrítica, quanto mais nódulos, maior será o contato para a abrasão, ou seja, maior será o desgaste da superfície de contato. Essa condição pode ser melhorada através de tratamentos térmicos.

Como esse estudo visa analisar uma liga comercial produzida pela Fundação Batatais classificada como SAE J434 - D 5504, as propriedades estudadas para o ferro fundido nodular estão descritas na Tabela 2. A norma descreve também o grau de nodularidade acima de 80% com grafitas esferoidais do tipo I e II, a matriz constituída de ferrita, ferrita/perlita, perlita, perlita temperada e martensita temperada. A Figura 8 ilustra uma micrografia da classe D5504 representada na norma SAE J434, representando as grafitas nodulares juntamente a matriz nas fases ferrita/perlita.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Ferro Fundido Nodular Segundo a Norma SAE J434-D5504

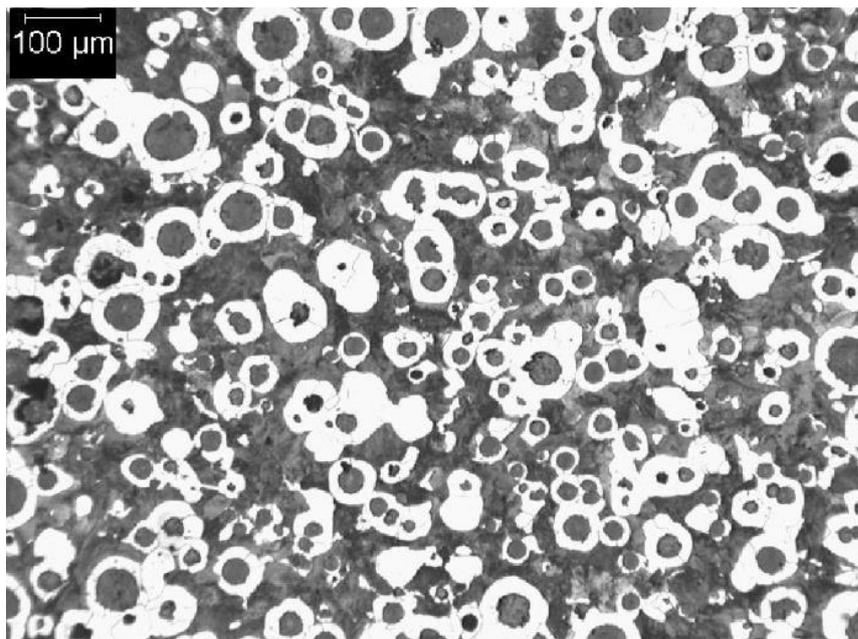
	D400 (D4018)	D450 (D4512)	D500 (D5006)	D550 (D5504)	D700 (D7003)	D800
Limite Tração - LR	400 MPa	450 MPa	500 MPa	550 MPa	700 Mpa	800 MPa
Limite Escoamento - LE	275 MPa	310 MPa	345 MPa	380 MPa	450 Mpa	480 MPa
Alongamento	18%	12%	6%	4%	3%	2%
Dureza*	143 - 170 HB	156 - 217 HB	187 - 229 HB	217 - 269 HB	241 - 302 HB	255 - 311 HB
Impacto**	120 J	80 J	54 J	40 J	27 J	-

\*Esfera de aço de 10mm com carga de 3000 kg

\*\*Corpo de prova Charpy –a 22±2°C

Fonte: SAE J434,2017

Figura 8 - Micrografia da Classe D5504 Segundo Norma SAE J434



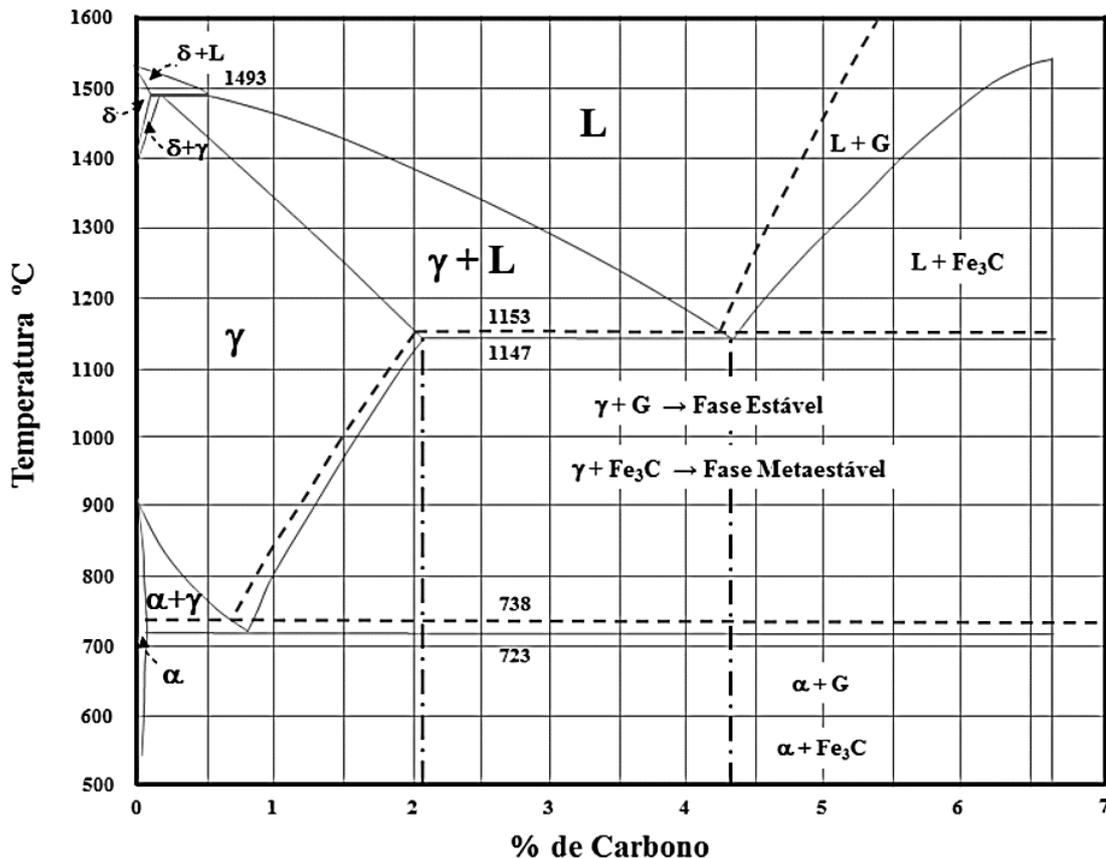
Fonte: SAE J434,2017

### 3.3.1 Solidificação dos Ferros Fundidos Nodulares

Para o entendimento do processo de solidificação é necessário a distinção dos processos em dois equilíbrios possíveis, estável e metaestável. E, para o estudo da metalurgia desses dois estados faz-se o uso da ferramenta do diagrama de equilíbrio ferro-carbono, ilustrado na Figura

9, o qual demonstra as fases e microconstituintes em função da concentração química e temperatura do material (MATTAR JUNIOR,2009).

Figura 9 - Diagrama de Fases Ferro-Carbono, em Equilíbrio Estável (linha tracejada) e Metaestável (linha contínua).



Fonte: Rosário, 2012, citado por Boneti,2014

Diferenciados pela temperatura do eutético e da micro-constituição, o estado estável possui uma temperatura de eutético de 1153°C de eutético e formado pela austenita e grafita, enquanto o estado de equilíbrio metaestável possui temperatura de 1147°C constituindo por austenita e carbetos. Para estudos de ferro fundido nodular, é necessário que o processo atinja equilíbrio estável para que haja formação de grafitas e não de carbetos. Para o ponto eutetoide, o estado estável, a 738°C, na qual matriz austenítica poderá se decompor em ferrita, enquanto para o estado metaestável, a 727°C, a matriz austenítica transforma em carbetos. (BONETTI,2014 apud ROSÁRIO, 2012; SANTOS, 1989; SANTOS, 2000)

Existem, no entanto, elementos capazes de afetar a variação da diferença entre as faixas de temperatura dos eutéticos estável e metaestável – TEE e TEM. O silício, alumínio, níquel e cobre, denominados grafitizantes, ampliam a faixa entre as temperaturas dos eutéticos,

enquanto, elementos como o cromo, vanádio, molibdênio, manganês e tungstênio, promovem a formação de carbonetos, diminuindo essa faixa.

Como as ligas de ferro fundido não possuem somente uma composição contendo Fe-C, mas outros elementos, para se analisar o diagrama de equilíbrio de fases, apresentado na Figura 9, é necessário que a porcentagem de composição do C relatada leve em consideração os outros elementos, assim, o valor representado como % de C é conhecido como Carbono Equivalente – C.E. Elementos que exercem grande influência no ponto eutético, como o silício e o fósforo, os quais deslocam o C.E. para esquerda, são levados em consideração. Assim, a expressão mais utilizada, que define o C.E. está descrita na Equação 2 (MATTAR JUNIOR, 2009).

$$C.E. = \% C + \frac{\% Si}{3} + \frac{\% P}{3} \quad (2)$$

Assim, como o C.E. marcando 4,3% de carbono, indicado pela linha tracejada na Figura 9, representa o ponto eutético; a sequência de solidificação dos ferros fundidos com valores acima de 4,3% são classificadas como ligas hipereutética e com valores abaixo de 4,3% como ligas hipoeutéticas.

A solidificação da liga hipoeutética, segundo a Figura 9, se dá entre 2,11% e 4,3% de carbono, iniciando-se após a nucleação e crescimento das primeiras dendritas de austenita. A medida que a temperatura cai, as dendritas continuam crescendo, porém a quantidade de carbono e silício é rejeitada pela austenita tornando o líquido cada vez mais rico nesses elementos. Esse líquido, ao resfriar-se até a TEE, em torno de 1154°C, inicia o fenômeno de nucleação e crescimento das células eutéticas, compostas de austenita e grafita. Nessa etapa, após um super-resfriamento abaixo da TEE inicia-se a formação de núcleos de grafita no líquido residual saturado em carbono e silício, os quais serão envoltos por invólucros de austenita, caracterizando um crescimento divorciado da grafita e da austenita (BONETI, 2014 apud SANTOS, 1998; MATTAR JÚNIOR, 2009).

No caso da solidificação de uma liga de ferro fundido hipereutética, a primeira fase a se formar no líquido é a grafita, conhecida como grafita primária. Após um super-resfriamento, a grafita precipitada no líquido, iniciara a nucleação dos nódulos de grafita que serão envoltos pela austenita. O crescimento desses nódulos, então, ocorrerá pela difusão do carbono da própria austenita. (BONETI, 2014; apud SANTOS, 1998; SANTOS, 2000).

### 3.3.2 Tratamento de Inoculação

O processo de tratamento de inoculação consiste na adição de material composto, cuja função é criação de centros efetivos para nucleação e crescimento da grafita. O material com alto teor de Si, de caráter grafitizante, é adicionado um pouco antes do vazamento do metal nos moldes, ocasionando uma diminuição no super-resfriamento para a solidificação, favorecendo o eutético estável (austenita e grafita), assim diminuindo a tendência ao coquilhamento (MATTAR JUNIOR, 2009; BONETTI, 2014 apud CHIAVERINI, 2008; BALZER, 2003 apud SANTOS et al, 1989).

Há uma grande variedade de inoculantes, sendo que na maioria das vezes para ferro fundidos nodulares utilizam-se as ligas de Fe-Si, na faixa de 75 a 80% de silício em uma quantidade que varia de 0,5 a 1% do peso do material. Há também variações contendo estrôncio, bário ou cério em faixa de 0,3 a 0,6% do peso. (BALZER, 2003)

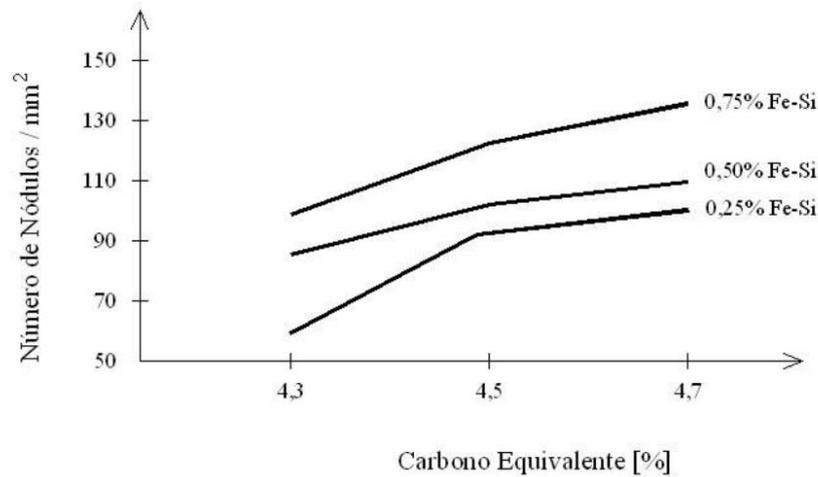
No processo deve-se haver um controle da granulometria dos inoculantes, pois as partículas devem ser pequenas ( $>0,6$  mm) para dissolverem de forma rápida, porém não grande o bastante ( $< 5$  mm) para que não se oxidem ou flutuem antes da sua dissolução no banho. (BONETTI, 2014)

Um aumento da quantidade de centros efetivos que favorecem uma maior nucleação da grafita influenciará na quantidade de nódulos formados no final da solidificação e o grau de nodularização, ou seja, o grau de perfeição, da grafita esferoidal. E de acordo com Fuoco et al (2003) citado por Boneti (2014) esses parâmetros são fundamentais e influenciarão na estabilização das fases austeníticas resultantes do tratamento térmico de austêmpera, pois esses nódulos de grafitas são os reservatórios de carbono que enriqueceram as fases resultantes.

Segundo Balzer (2003), durante o processo de inoculação deve-se estar atento ao tempo de solidificação do metal, caso seja excessivo esse tempo haverá uma perda de eficiência do inoculante, fenômeno conhecido como “fadiga do inoculante”, provocando um aumento do super-resfriamento e a redução do número de células eutéticas.

Mattar Junior (2009) relata que adições de inoculantes em grandes quantidades podem favorecer a ocorrência de porosidades, microrrechupes e inclusões. E também mostrou uma correlação entre o C.E., relatando que, quanto maior o carbono equivalente do banho, maior a tendência grafitizante do inoculante. A Figura 10 mostra como a quantidade de nódulos de grafita varia em função do C.E. por adição de inoculantes.

Figura 10 - Variação do Número de Nódulos de Grafita com o Carbono Equivalente para Técnicas Simples de Inoculação com 0,25; 0,50 e 0,75% de Fe-Si



Fonte: Mattar Júnior, 2009

### 3.3.3 Tratamento de Nodularização

O processo de nodularização se baseia na adição de elementos tais como magnésio, cério e cálcio ao banho, com intuito de aumentar a tensão superficial e a energia da interface grafita metal. Assim, induz a alteração da morfologia da grafita e favorecendo seu crescimento de forma nodular. (GUESSER,2009; SANTOS, 1989)

A nodularização ocorre antes do processo de inoculação. De acordo com Boneti (2014), industrialmente, é feito de três métodos: “*tundish cover*” – método no qual a liga nodulizante é depositada no fundo da panela favorecendo a homogeneização somente durante o vazamento pela turbulência gerada; “*sandwich*” – método no qual a liga é coberta por chapa de aço muito fina, diferenciado pelo não uso da tampa de proteção e “*in-mold*” – a liga nodularizante, na forma de briquetes, posicionada em câmara de reação no interior do molde.

Para Balzer (2003), a qualidade desse processo deve ser altamente controlada, pois os teores residuais de magnésio não devem ultrapassar 0,08%. Se excedidos esses limites pode ocorrer formação de carbonetos além de formação de grafitas do tipo “*spike*”, ou seja, grafitas degeneradas, e no outro extremo, a falta do mesmo pode provocar grafitas não nodulares.

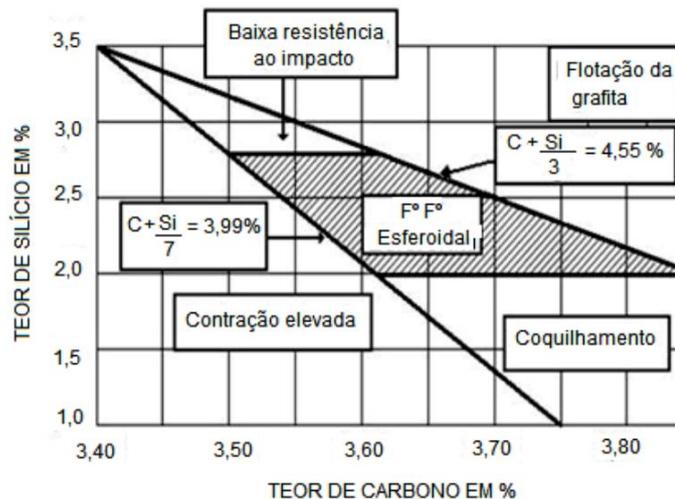
### 3.3.4 Composição química e efeito dos elementos de liga

As composições químicas das ligas de ferro fundido nodular no mercado variam e obedecem à normas como ASTM, DIN, SAE, ABNT, e critérios como aplicações e exigências dos clientes. E, como fator fundamental, deve-se atentar para os efeitos dos elementos ligantes, dentro das variações de composições químicas, pois influenciam nas propriedades resultantes das ligas fundidas. Segundo Boneti (2014), os elementos de ligas têm tendências à segregação para os contornos de célula eutética ou para proximidades dos nódulos de grafita.

Elementos como fósforo, enxofre, manganês, molibdênio, vanádio, magnésio e cromo, durante o processo de solidificação, difundem para o líquido residual de acordo com a solubilidade destes elementos na austenita. As regiões de contorno de célula, são, portanto, regiões nas quais esses elementos podem segregar e formar carbetos eutéticos, o que prejudicam as propriedades mecânicas, reduzindo resistência a tração e o alongamento. Em contraponto, os elementos como o cobre, estanho, níquel, silício, antimônio e bismuto segregam preferencialmente próximas à grafita, podendo exercer funções perlitizantes (estanho e cobre), e funções grafitizantes (silício) (BONETI, 2014; apud GUEDES, 1996; GUESSER, 2009; SANTOS 2000).

Segundo Santos (2000) para o carbono e o silício, os teores frequentemente usados estão nas faixas de 3,5% a 3,8% e 2,1 a 2,8% respectivamente, o que favorecem a formação dos nódulos de grafita com menor incidência de defeitos como segregação de carbetos eutéticos, microrrechupes e flotação de grafita. Boneti (2014) ilustra o diagrama de Henderson, Figura 11, um gráfico que correlaciona a combinação dos teores de carbono e silício com as características microestruturais e prováveis defeitos, definindo uma área ótima para combinação entres os dois teores, evitando defeitos como contração elevada, flotação de grafita e coquilhamento.

Figura 11 - Diagrama de Henderson



Fonte: Santos, 2007, citado por Bonetti, 2014

Na solidificação, durante a reação eutética, o carbono exerce função grafitizante, pois em alta concentração incidirá para o aumento de grafitas nucleadas formada. Segundo Lussoli (2003), a solubilidade do carbono durante a reação eutetóide é fator determinante para a caracterização da matriz perlítica, ferrita ou ambas. Porém, o silício é o principal elemento grafitizante com influência durante a reação eutetóide, aumentando o intervalo entre as temperaturas dos eutéticos estável e metaestável e a temperatura de reação eutetóide. Em relação ao tratamento térmico de austêmpera, o silício destaca-se inibindo a precipitação de cementita, aumentando a atividade do carbono na austenita. (BONETTI, 2014, apud KOVACS, 1990)

Chiaverini (2008.a, p.190) descreve bem a importância dos diversos tipos de tratamentos térmicos nos ferros fundidos, os quais possuem os mais diversificados objetivos. No caso dos cinzentos, o tratamento térmico é utilizado para alívio de tensões, provocadas pela sua variação de volume durante o resfriamento, e o recozimento e a normalização objetiva melhorar a usinabilidade. Os nodulares são submetidos a tratamentos de alívio de tensão, recozimento e normalização, têmpera e revenimento. O recozimento é aplicado quando se deseja obter melhoramentos na ductilidade e usinabilidade; enquanto a têmpera e o revenimento resultam em melhoramentos das resistências mecânicas e dureza.

A escolha de cada tratamento térmico é influenciada diretamente pela composição química base e pela presença de elementos de liga do material. Além disso, a microestrutura presente nos materiais determina a escolha de parâmetros como o tempo e as temperaturas de tratamento (METAL HANDBOOK, 1991, Vol. 4).

### 3.4 FERRO FUNDIDO NODULAR AUSTEMPERADO

Os ferros fundidos nodulares ao serem submetidos a tratamentos térmicos melhoram significativamente suas propriedades. Dentre os tratamentos disponíveis, a austêmpera destaca-se para essa classe, resultando nos ferros fundidos dúcteis austemperados – *Austempered Ductile Iron* – ADI. Esse material desperta grande interesse dos pesquisadores e de indústrias metalúrgicas pois apresentam uma combinação de custos inferiores aliados a boas propriedades mecânicas. Com elevada resistência mecânica, até mesmo superior a alguns aços forjados, ductilidade inferior aos aços, mas acima dos demais ferro fundidos, esse material tornou-se um grande substituto econômico para diversos componentes estruturais. (MARIANI,2014; FRANCO,2010, SOUSA,2013)

Com estrutura composta de grafita na forma esferoidal dispersa em uma matriz de ferrita acicular e austenita estável, esse ferro fundido apresenta, devido a essa microestrutura, elevados valores de resistência mecânica, ductilidade, resistência ao impacto e ao desgaste, o que fornece grande flexibilidade para a fabricação de peças. Ao comparar com o ferro fundido nodular bruto de fusão pode-se perceber que o ADI concede duas vezes mais resistência à tração (850 a 1600MPa contra 420 a 800MPa do nodular). Já comparado a alguns aços, possui fadiga igual ou superior, maior capacidade de amortecimento de vibrações e é 10% mais leve. Assim, o uso do ADI, se faz preferível em muitas aplicações estruturais, como exemplo, na indústria automotiva, bélica e agrícola, entre outras (SOUZA,2012; LUSSOLI,2003; DIAS,2006).

O processo de austêmpera foi desenvolvido nos anos trinta do século vinte por Edgar C. Bain, executando transformação isotérmica no domínio bainítico para o aço produzindo uma matriz metálica constituída de ferrita e austenita, a qual recebeu o nome de bainita em sua homenagem. A partir daí o tratamento térmico de austêmpera tem sido empregado em grande escala para os aços (SOUSA,2013; CARMO,2003; MACHADO,2007).

O desenvolvimento do ferro fundido nodular foi anunciado em 1948 pela *BCIRA* - *British Cast Iron Research Association* e *INCA* - *International Nickel Company*, porém a primeira austêmpera aplicada em um ferro fundido nodular se deu somente na década de cinquenta, para que, os primeiros sistemas industriais para produção de ferros fundidos nodulares austemperados surgissem somente 20 anos depois (SOUSA, 2013; MACHADO, 2007).

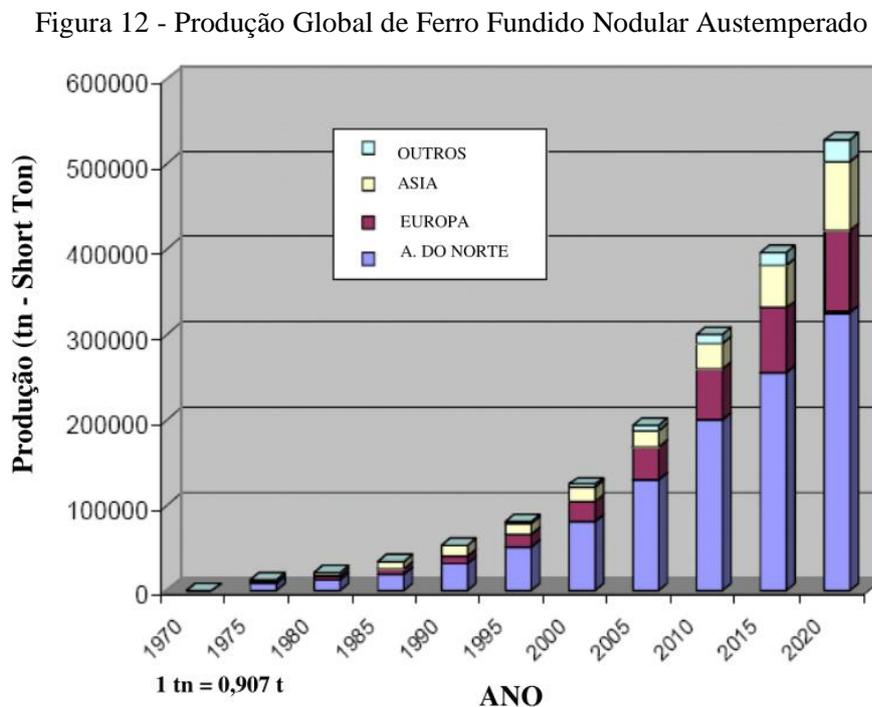
Segundo Machado (2007), ao analisar as primeiras microestruturas do ADI concluíram-se tratar de uma estrutura bainítica semelhante aos aços, por isso houve muitos trabalhos e patentes referindo ao material como ferro fundido bainítico. Porém, sabe-se hoje, que a estrutura

resultante do processo de austêmpera no ferro fundido nodular é denominada ausferrita, assim chamada por Kovacs (1990), composta de ferrita acicular e austenita estabilizada por alto carbono, diferente da bainítica composta por ferrita acicular e carbonetos.

Os primeiros experimentos com o nodular austemperado foram conduzidos pela *International Harvester* e publicados nos anos 60, porém houve um grande avanço na década de 70 com estudos aplicados pela *General Motors* no Estados Unidos e pela *Johansson* na Finlândia, ambos substituindo engrenagens em ferro fundido temperadas e revenidas. Em 1976 foram instalados conjuntos de embreagens em ADI em quatro mil automóveis Pontiac, o qual, recebeu em 1977 o prêmio de melhor projeto de Fundação. (CARMO,2003)

O nodular austemperado hoje é utilizado na indústria automobilística, em equipamentos agrícolas, em equipamentos para construções, em armamentos, na indústria ferroviária e em componentes de uso geral. Entretanto, o sucesso esperado ainda não foi atingido e, segundo Lussoli (2003), há receio em trocar materiais já consolidados pelos projetistas, assim como o processo de fabricação de tal material exige um rigoroso controle dificultando a opção pelo uso.

Na Figura 12, Machado (2007) ilustra a produção global de ferro fundido nodular austemperado até o ano de 2002 e com uma estimativa até 2020 em vários continentes.



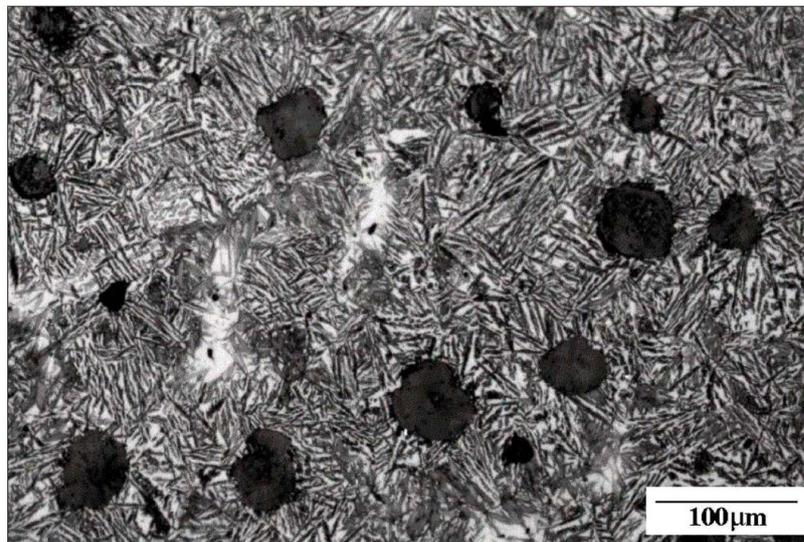
Fonte: Machado, 2007

Na década de 90, a produção do ADI nos Estados Unidos já era de 20.000 toneladas por ano, com previsão de que para 2020 a produção chegue em 500 mil toneladas mundialmente. (CARMO,2003; BALZER,2003; LUSSOLI,2003; DIAS,2006, MACHADO,2007).

### 3.4.1 Especificações e Características

O ADI difere do ferro fundido nodular pela introdução de elementos ligante e por sofrer tratamento térmico. Como já dito, o ADI possui uma matriz composta de ferrita acicular e austenita estável com elevado teor de carbono. Essa matriz é responsável por elevados valores de resistência mecânica, ductilidade, resistência ao impacto e resistência ao desgaste do metal. A Figura 13 ilustra a microestrutura do ADI destacando os nódulos de grafita e a matriz ausferrítica (CROKER, 1998; CARMO, 2003; HASSE, 1998).

Figura 13 - Microestrutura Típica de um ADI Apresentando Nódulos de Grafita, Ferrita Acicular e Austenita Estável com Alto Teor de Carbono.



Fonte: Silva, 2005

O ADI é classificado por diversas associações, institutos e órgãos oficiais do Japão, Comunidade Europeia e Estados Unidos. Neste trabalho o ADI obtido foi qualificado diante a norma norte-americana ASTM A 897/A897M-16. Essa norma classifica as propriedades mecânicas, energia de impacto e devida microestrutura das classes possíveis de ferro fundido nodular austemperado (Tabela 3).

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas do ADI Segundo a Norma ASTM 897/A 897M –16

	GRAU 1 (900/650/09)	GRAU 2 (1050/750/07)	GRAU 3 (1200/850/04)	GRAU 4 (1400/1100/02)	GRAU 5 (1600/1300/01)
Limite Tração – LR	900 MPa	1050 MPa	1200 MPa	1400 MPa	1600 MPa
Limite Escoamento – LE	650 MPa	750 MPa	850 MPa	1100 MPa	1300 MPa
Alongamento (50 mm)	9 %	7 %	4 %	2 %	1 %
Dureza*	269-341 HB	302-375 HB	341-444 HB	388-477 HB	402-512 HB
Impacto**	100 J	80 J	60 J	35 J	20 J

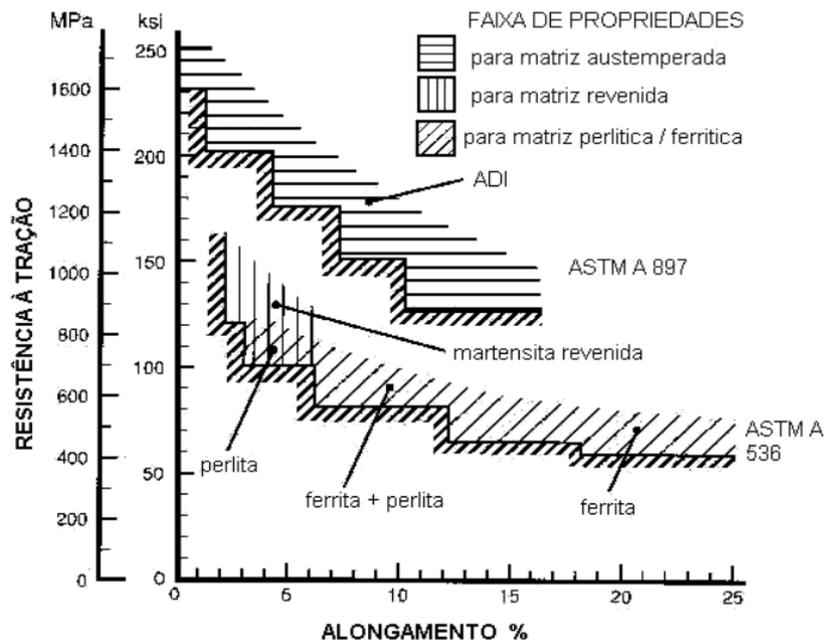
\*Esfera de aço de 10mm com carga de 3000 kg

\*\*Corpo de prova Charpy – sem entalhe a 22±4°C

Fonte: ASTM A 897/A897M-16

Ao se comparar as propriedades do ADI, de acordo com a norma ASTM A 897/A897M-16, com as do ferro fundido nodular sem tratamento térmico baseando-se na norma ASTM A536-84(2014); pode-se observar o quanto são significativamente superiores às exigências do ADI para resistências a tração e em alongamento. Esse comparativo foi citado por Silva (2005) e está ilustrado no gráfico da Figura 14.

Figura 14 - Propriedades de Resistência do ADI e do Ferro Nodular.



Fonte: Silva, 2005

Segundo Sousa (2013) os elementos de liga afetam diretamente a composição do material que sofrerá o tratamento de austêmpera, principalmente os elementos facilitadores de

grafita não nodular e carbonetos como, por exemplo, o carbono e o silício. Este último favorece a formação de austenita, o que facilitará no número de ausferrita formada.

A norma ASTM A 897/A897M-16 sugere faixas de teores dos componentes adicionados à liga, e os efeitos provocados por esses elementos adicionados no processo de austêmpera. Essas faixas variam em função da espessura e das propriedades a serem atingidas. Os valores estão ilustrados na Tabela 4, assim como os efeitos provocados na austêmpera.

Tabela 4 - Efeitos da Composição Química na Austêmpera do ADI

Elemento	Teor (%)	Efeitos na Austêmpera
Carbono	$3,60 \pm 0,20$	Teores elevados aumentam a resistência à tração acompanhado da diminuição da ductilidade.
Silício	$2,50 \pm 0,20$	Promove a formação de grafite, diminui solubilidade do C na austenita, aumenta a temperatura eutetóide, evita formação de carbonetos ausferríticos.
Magnésio	$(\%S \times 0,76) + 0,025 \pm 0,005$	Promove a formação de nódulos de grafite.
Manganês	$0,35 \pm 0,05$	Teores elevados provocam a segregação para as zonas que solidificam mais tarde, onde a formação de ausferrita é retardada
Cobre	$0,80 \text{ máx. } \pm 0,05$	Aumenta o endurecimento. Teores superiores diminuem a difusão de carbono na austenita.
Níquel	$2,0 \text{ máx. } \pm 0,10$	Aumenta o endurecimento.
Molibdênio	$0,30 \text{ máx. } \pm 0,03$	Aumenta o endurecimento de forma mais intensa, previne a formação de perlita. O aumento de teor de Mo leva à diminuição da ductilidade, mais evidente nas austêmperas e temperaturas mais elevadas.

Fonte: ASTM A 897/A897M-16

A norma define também as faixas de C.E., definido pela Equação 2 anteriormente, de acordo com a espessura da peça que deve ser produzida em ADI. Essas faixas estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Faixas de Carbono Equivalente Segundo Norma ASTM A897/897M-16

Espessura da Peça	Carbono Equivalente
0 a 13mm	4,4 a 4,6
13 a 51	4,3 a 4,6
Acima de 51mm	4,3 a 4,5

Fonte: ASTM A 897/A897M-16

Os parâmetros microestruturas estão definidos pela norma como:

- Matriz composta de ferrita acicular e austenita estabilizada por alto carbono;
- Contagem de nódulos mínimo de 100 nód. / mm<sup>2</sup>;
- Grafita tipo I e II conforme norma ASTM A247.

### **3.4.2 Microestruturas do Ferro Fundido Nodular Austemperado**

A microestrutura resultante do ADI além de ser uma mistura de ferrita acicular e austenita retida com alto carbono, possui também martensita, carbonetos e perlita como constituintes. A estrutura resultante é relacionada a temperatura de austêmpera, caso essa temperatura for baixa (240 a 325°C), provoca um grande resfriamento da austenita com uma baixa difusão do carbono, com favorecimento da nucleação das agulhas de ferrita, o que resulta numa estrutura de ausferrita inferior acicular com proporções de ferrita e austenita retida, e ainda alguma martensita (ISRAEL,2005).

#### *3.4.2.1 Ausferrita*

A microestrutura resultante da austêmpera é chamada ausferrita, uma estrutura baseada em austenita entre a perlita e a martensita. Composta de ferrita acicular e austenita residual saturada de carbono, a qual proporciona ao ferro excelentes características, como boa relação entre um alto limite de elasticidade e um bom alongamento à ruptura. A ausferrita difere da bainita encontrada nos aços, pois a bainita é composta de ferrita acicular e carbonetos. A alta concentração de Si nos ferros fundidos evita a precipitação de carbonetos (ROUSIÈRE, 2003).

#### *3.4.2.2 Perlita*

A perlita é um constituinte danoso às propriedades de resistência e ductilidade do ADI. Kovacs, citado por Israel (2005), afirma que a composição da perlita no nodular austemperado é similar àquela no ferro nodular convencional, porém com tendência de formação da perlita próximo aos nódulos e em fronteira de células diferente do nodular.

#### *3.4.2.3 Martensita*

A martensita que se forma logo após a têmpera, devido à alta temperatura  $M_s$  local, é uma estrutura revenida durante o ciclo de austêmpera e com dureza reduzida. Entretanto, a martensita que forma derivada da austenita metaestável, devido ao tensionamento ou resfriamento abaixo da temperatura ambiente, é de alta dureza. (PETRY, 1996; apud ISRAEL,2005)

#### 3.4.2.4 Carbonetos

Os carbonetos são estruturas presentes em regiões específicas de peças cuja solicitação ao desgaste se faz necessária, como cilindros de laminação, eixos de comando de válvulas coquilhados para motores, ou rolos para moendas de cana. Em sua maioria, a presença desse microconstituente não é bem-vinda em ferros fundidos nodulares.

Sempre que não ocorrer nucleação de grafita durante a reação eutética os carbonetos estarão presentes. Na Figura 15 pode-se observar carbonetos dispersos na microestrutura (regiões claras em forma de agulhas) (ISRAEL,2005)

Figura 15 - Microestrutura do Ferro Fundido Nodular (presença de carbonetos)



Fonte: Israel,2005

#### 3.4.2.5 Austenita Retida

O processo de austêmpera visa reter uma certa quantidade de austenita (20 – 50%) na microestrutura. O teor de carbono na austenita inicial é controlado pela temperatura de austenitização –  $T_\gamma$ , assim é esperado que a fração de austenita retida ( $\gamma_C$ ), de alto teor de carbono -  $C_\gamma$  aumente com o aumento de  $T_\gamma$ . Considera-se então que, a austenita retida é estável

se a mesma não se transformar em martensita quando exposta a mudanças de temperatura ou a campos de tensões.

As austenitas retidas são identificadas nas metalografias que sofreram ataque com nital, e são observadas no microscópio óptico em formas de zonas brancas dispersas. Essa quantidade de austenita retida é induzida de forma positiva com o acréscimo do cobre e decresce com acréscimo de molibdênio. O carbono é o responsável pela estabilização da austenita, com teor de carbono da austenita superior a 1,4%, a temperatura superior de transformação em martensita terá um valor abaixo da temperatura ambiente, induzindo assim a austenita retida estável.

Porém, há vantagens quando a austenita retida sofre transformação martensítica, por deformações externas, com aumento da resistência ao desgaste (em razão do aparecimento da martensita, que aumenta a dureza da superfície de desgaste), o que favorece o uso do material para peças com solicitação ao desgaste (CUEVA-GALÁRRAGA, 2000, apud ISRAEL, 2005).

### 3.4.3 Aplicações do ferro fundido austemperado

Hayrynen (2002) afirma que o ferro fundido nodular austemperado é uma alternativa ao mercado de aços forjados, fundidos e até ligas fundidas, pois oferecerá benefícios como redução de peso, flexibilidade de geometria e custo otimizado. A Tabela 6, relata exemplos de aplicações do ADI em substituição a aços forjados e suas respectivas vantagens.

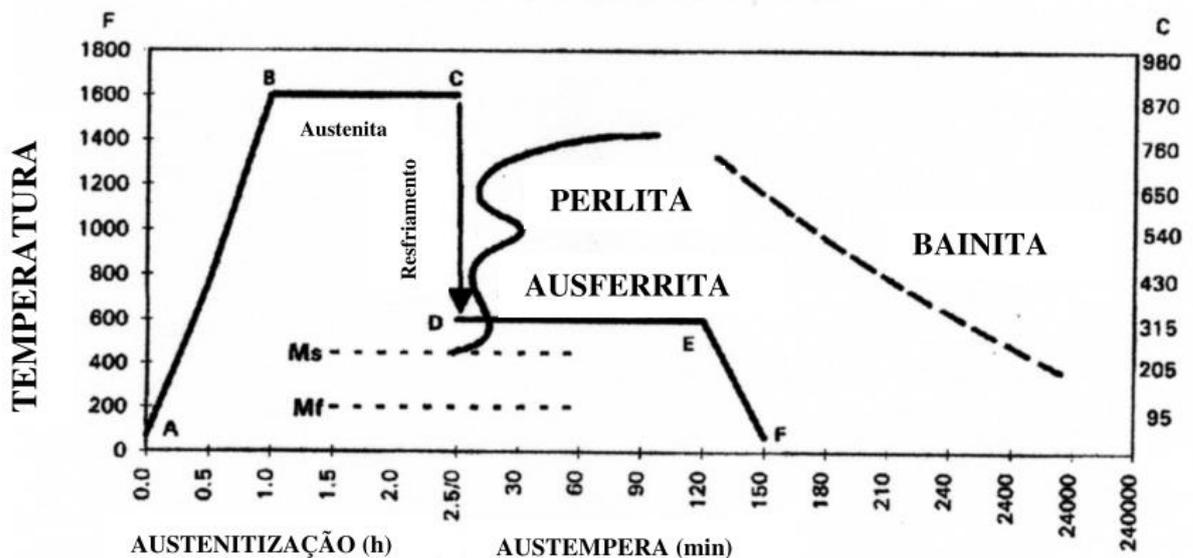
Tabela 6 - Redução de Custos Devido à Conversão de Peças por ADI.

COMPONENTE	CONVERTIDO DE:	REDUÇÃO DE CUSTO	GANHOS ADICIONAIS
Virabrequim	Aço Forjado	-39%	Redução de Peso/ Maior Resistência ao Desgaste/ Maior Capacidade de Amortecimento
Engrenagens de Motor a Diesel	Aço Forjado e Cementado	-30%	Redução de peso/Capacidade de amortecimento/ Usinabilidade (antes de austemperar)
Dispositivo de Fertilização de Terra	Conjunto de Aço Siderúrgico Soldado	-44%	Resistência ao desgaste/ Peça única de fundido
Ferramenta de Corte de Chapa de Aço Inox em Tiras	Aço Ferramenta Microfundido	-77%	Tratamento térmico após usinagem/ Usinabilidade maior

### 3.4.4 Tratamento Térmico de Austêmpera

Machado (2007, p.15) definiu austêmpera como “tratamento isotérmico, que aplicado ao ferro fundido nodular, incrementa as propriedades mecânicas e a tenacidade”. Basicamente o processo inicia com um aquecimento entre 850°C a 950°C do material durante certo período objetivando a total austenitização da matriz. Posteriormente sofre um abrupto resfriamento até a faixa de temperatura de austêmpera, que é compreendida de 230°C a 400°C, mantida de forma isotérmica até que a matriz se transforme em uma estrutura ausferrítica. O ciclo do tratamento é representado na Figura 16, no qual a linha AB representa o aquecimento do material até a temperatura de austenitização, a linha BC representa o tempo no qual há a transformação de austenita, na linha CD o resfriamento até a temperatura de austêmpera, DE o tempo para a formação de ausferrita e EF o resfriamento até temperatura ambiente.

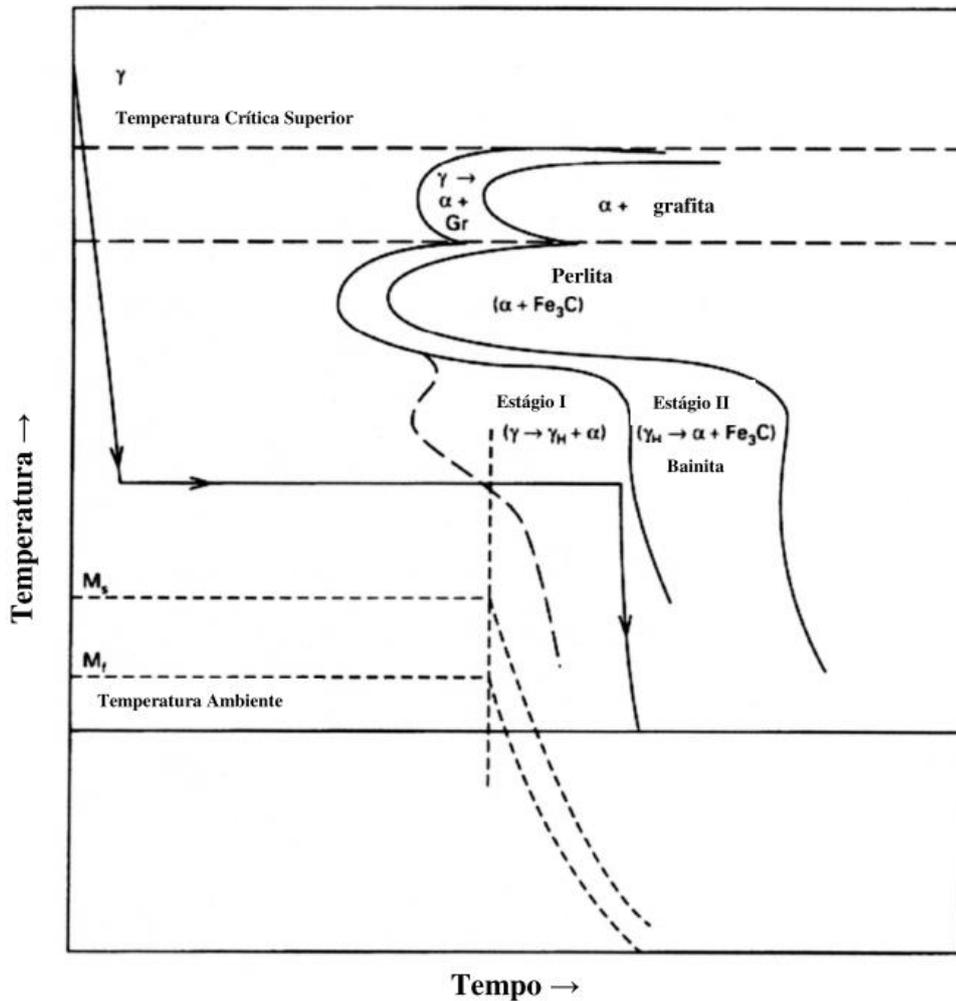
Figura 16 - Ciclo Característico de Tratamento Térmico de Austêmpera



Fonte: Machado, 2007

Metals Handbook (1991) apresenta a seqüência de tratamento para obtenção do ADI ilustrado a linha de tempo-transformação-temperatura (TTT) para a formação de uma matriz em dois estágios, Figura 17.

Figura 17 - Gráfico TTT de um Processo de Austêmpera



Fonte: Metals Handbook, 1991

#### 3.4.4.1 Etapas do processo de austêmpera

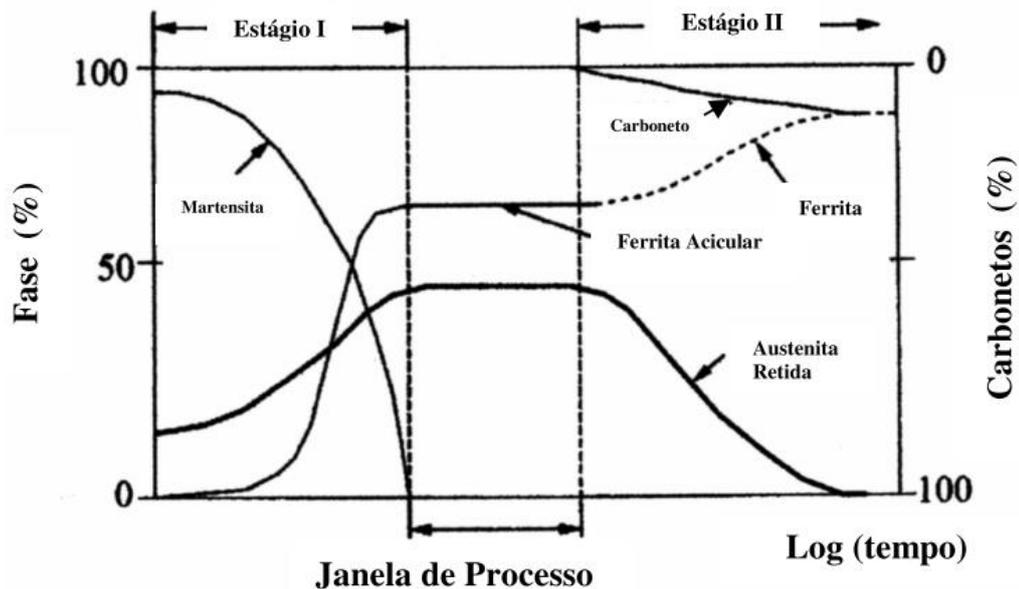
A etapa I da reação de austêmpera, conhecida também como primeiro estágio, inicia-se com a nucleação e crescimento das plaquetas ferríticas localizadas tanto na interface das grafitas quanto nos contornos de grão na matriz de austenita enriquecida de carbono. Nessa etapa, o tempo deve ser longo o suficiente para que haja saturação do carbono diante das ferritas a ponto de enriquecer totalmente a matriz austenita. Assim, essa etapa será composta, teoricamente, somente de austenita com alto teor de carbono ( $\gamma_H$ ) e ferrita acicular ( $\alpha$ ), que é a estrutura responsável pela excelente combinação de alta resistência mecânica, ductilidade e tenacidade.

A etapa II, ou segundo estágio, é formada pela ferrita, austenita e carbonetos precipitados. Essa etapa inicia quando a austenita com alto teor de carbono ( $\gamma_H$ ) entra em decomposição em ferrita e carbonetos. A austenita tende a desaparecer e a ferrita acicular e os

carbonetos compõem uma estrutura mais estável conhecida com bainita, estrutura indesejável ao ADI, por possuir características insalubres para materiais cujo objetivo é que tenham boas tenacidade e ductilidade. (SOUZA,2015; FRANCO,2010; MACHADO,2007; CARMO,2003; LUSSOLI,2003)

A melhor combinação de propriedades mecânicas de resistência, ductilidade e tenacidade são obtidas então quando o processo de tratamento térmico atinge entre o final do primeiro e o início do segundo estágio. Esse intervalo de tempo, é conhecido como janela de processo de tratamento térmico, ilustrado conforme tipos de estruturas e fases presentes em cada etapa na Figura 18.

Figura 18 - Representação do Desenvolvimento da Microestrutura durante Austêmpera.

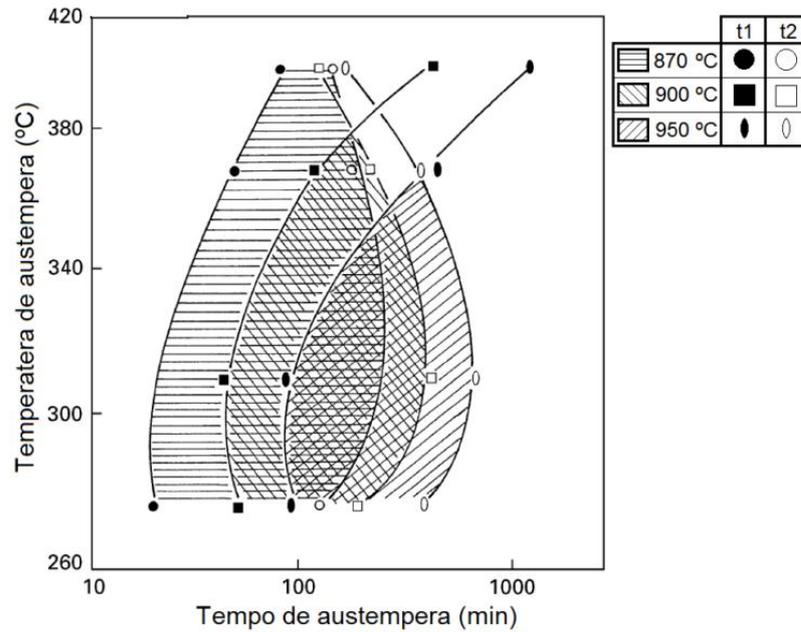


Fonte: Machado, 2007

Para determinar a janela de processo de um ADI pode-se analisar pela concentração de austenita retida, de carbono na austenita ou o volume de austenita residual de austêmpera, dados os quais podem ser obtidos por meio de análise de difração de raios-X. As variáveis que afetam essa janela de processo e que influenciam na microestrutura desejadas são: temperaturas de austenitização e de austêmpera, composição química e a microestrutura do ferro fundido no estado bruto de fundição. Nas Figuras 19 e 20 são ilustrados dois gráficos que representam janelas de processo com diferentes variáveis, sendo que a Figura 19 apresenta a influência da temperatura de austenitização, variando de 870 a 950°C, entre os intervalos de permanência e temperatura de austêmpera para variar a janela de processo, enquanto a Figura 20 mostra como

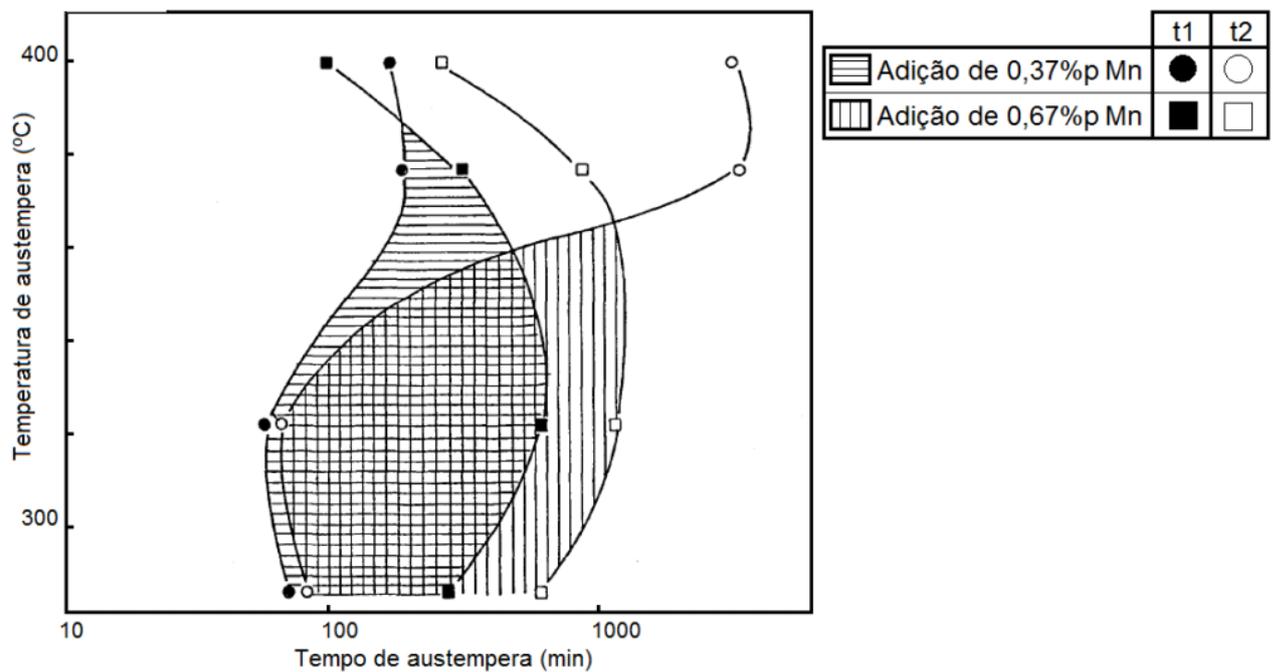
a adição de 0,37 a 0,67% de Mn afeta a cinética de austêmpera dentro da janela de processo de tempo e temperatura de austêmpera (MARIANI, 2014 apud HAMID, 1996).

Figura 19 - Janela de Processamento Para Temperaturas de Austenitização de 870, 900 e 950°C



Fonte: Mariani, 2014 apud Hamid, 1996.

Figura 20 - Janela do Processamento para Cinética de Austêmpera de Ferros Fundidos Nodulares Contendo Adições de 0,37 e 0,67% de Mn

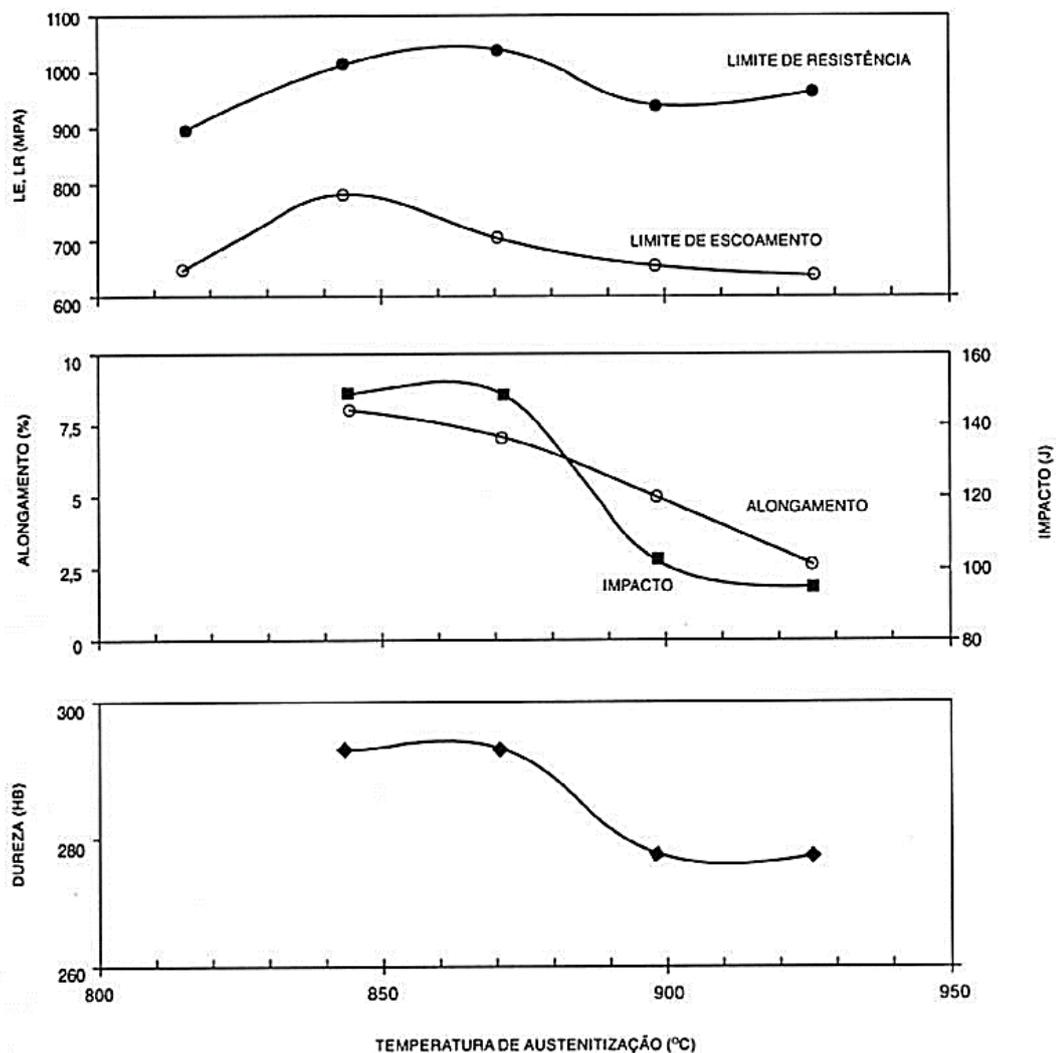


Fonte: Mariani, 2014 apud Hamid, 1996.

Carmo (2003) descreve bem as influências das variáveis que afetam a janela de processo, abordando tempo e temperatura de austenitização e austêmpera visando ilustrar qual influência elas possuem sobre as propriedades mecânicas obtidas pelas microestruturas resultantes do processo de austêmpera.

A alta temperatura de austenitização eleva a concentração de carbono na austenita, o que atrasa o início da reação de austêmpera. Na Figura 21, observa-se o quanto as propriedades mecânicas de tração, alongamento, dureza e impacto são afetadas pela variação da temperatura de austenitização. Segundo Carmo (2003), observa-se que a medida que a temperatura de austenitização aumenta há uma redução significativa do alongamento e do impacto, além de uma redução na dureza.

Figura 21 - Influência da Temperatura de Austenitização nas Propriedades Mecânicas de Fundidos em Ferros Fundidos Nodulares Austemperados



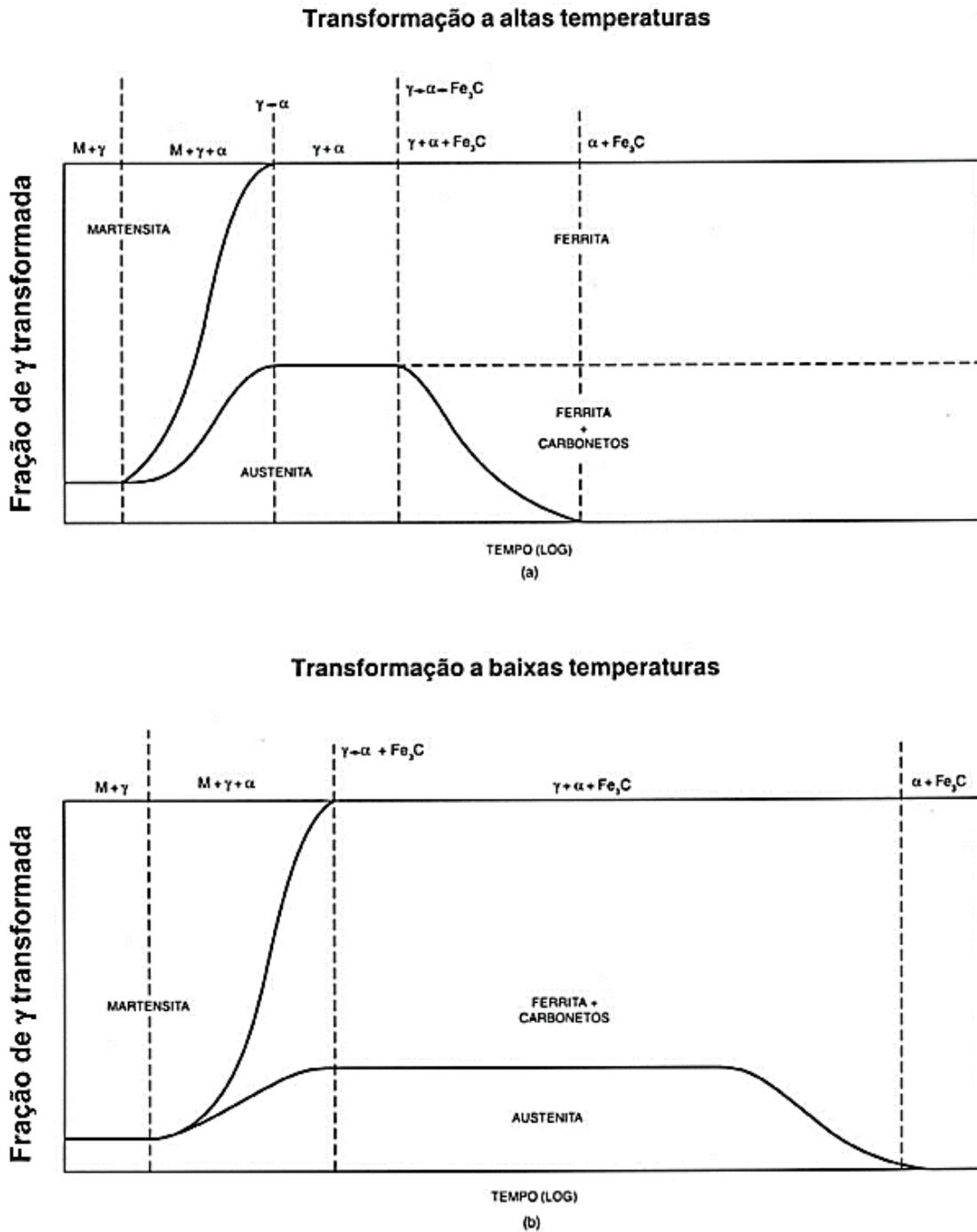
Fonte: Carmo, 2003, adaptado de Kovacs, 1986.

---

A temperatura de austêmpera, na qual se realiza a manutenção isotérmica, é fundamental para a determinação da microestrutura e das propriedades mecânicas. A Figura 22 mostra as reações e as frações das fases resultantes da transformação a alta temperatura (acima de 350°C) e baixa temperatura (abaixo de 350°C), na qual pode-se observar que para temperaturas de austêmpera acima de 350°C favorece um aumento da fração de austenita e ferrita, enquanto para temperaturas abaixo de 350°C induz a fração de ferrita e carbonetos.

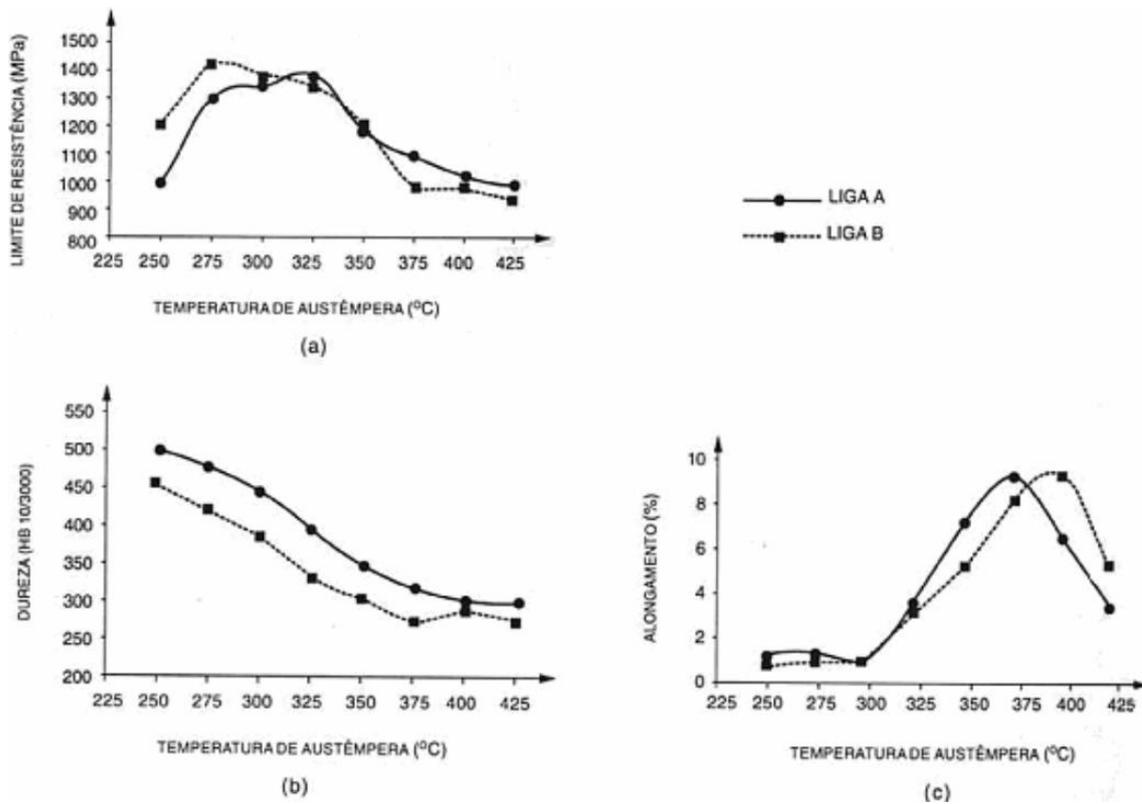
Propriedades mecânicas como resistência à tração, o limite de escoamento e a dureza diminuem significativamente com o aumento da temperatura de austêmpera, enquanto a ductilidade, a tenacidade e a resistência à fadiga aumentam. Os efeitos da temperatura de austêmpera estão apresentados nas Figuras 23 e 24, sendo que na Figura 23 há uma comparação das propriedades para uma liga contendo 2% e outra 2,9% de Si, e mostra detalhadamente valores dessas propriedades em função da temperatura de austêmpera, enquanto na Figura 24 descreve o comportamento de uma liga contendo 1,5% de Ni e 0,3% de Mo ao teste de impacto para diferentes temperaturas de austêmpera em dois tempos específicos. Na Figura 25, Carmo (2003) descreve a influência do tempo de austêmpera nas propriedades mecânicas estudadas em dois ferros fundidos de ligas diferentes diante de uma temperatura de 370°C de austêmpera.

Figura 22 - Reações e Frações das Fases Resultantes da Transformação na Austêmpera de um ADI a Altas temperaturas ( $> 350^{\circ}\text{C}$ ) e a Baixas temperaturas ( $< 350^{\circ}\text{C}$ )



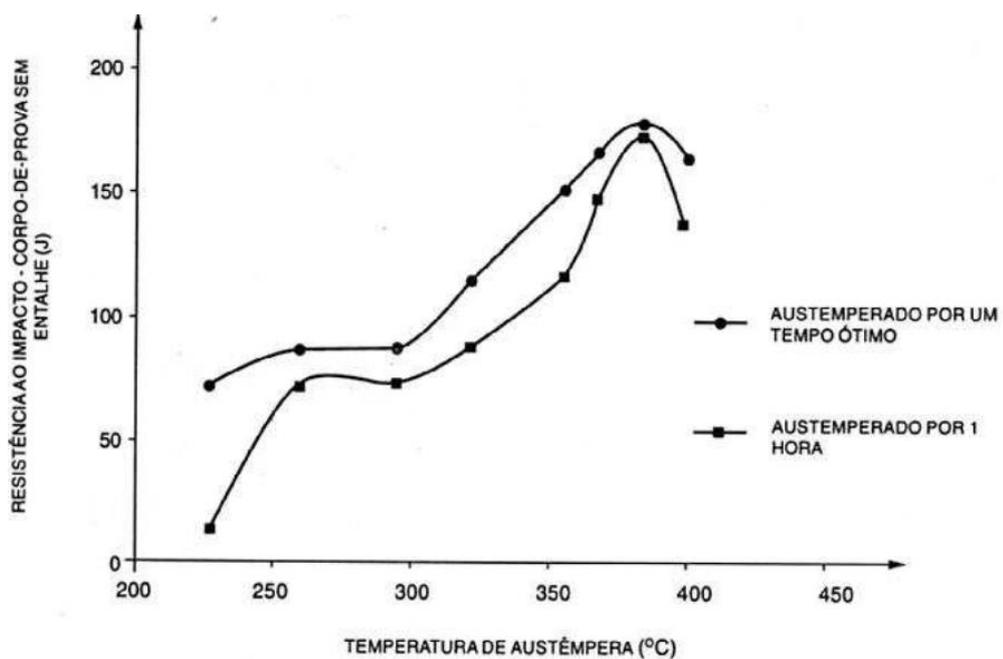
Fonte: Carmo, 2003, apud Baumer, 1989.

Figura 23 - Influência da Temperatura de Austêmpera no Limite de Resistência à Tração, no Alongamento e na Dureza em Dois Nodulares Austemperados, Contendo 2% Si (liga A) e 2,9% Si (liga B), para um Tempo de Austêmpera de 1 hora



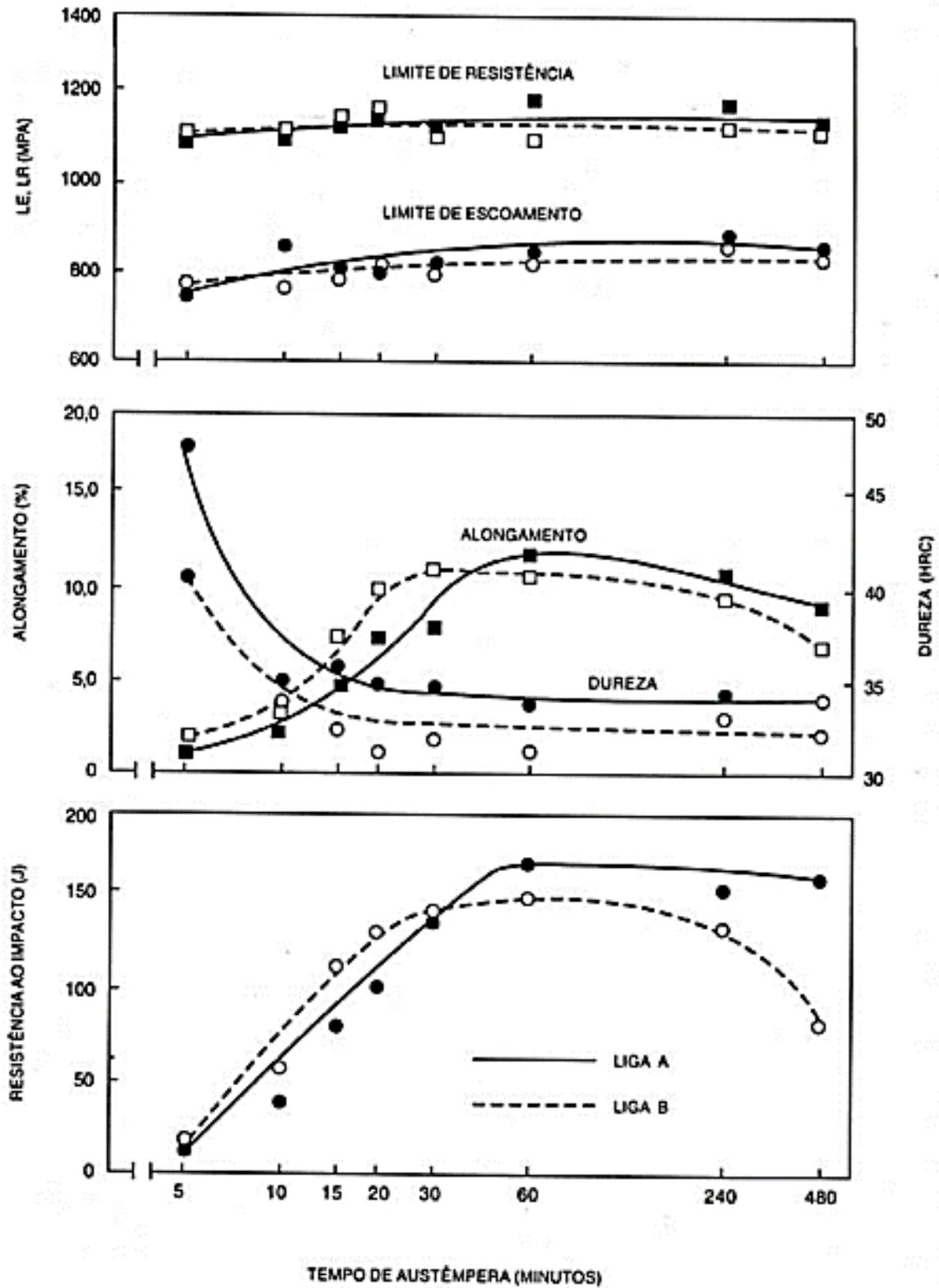
Fonte: Carmo, 2003, apud Harding, 1993.

Figura 24 - Influência da Temperatura de Austêmpera na Resistência ao Impacto, em Corpo-de-Prova Sem Entalhe, em Nodular Austemperado com 1,5% Ni e 0,3% Mo



Fonte: Carmo, 2003, apud Harding, 1993

Figura 25 - Influência do Tempo de Austêmpera nas Propriedades Mecânicas de Dois Ferros Fundido Nodulares Ligados (liga A: 3,57% C; 2,67% Si; 0,27% Mn; 0,51% Cu; 0,31% Mo) e não Ligado (liga B: 3,65% C; 2,64% Si; 0,24% Mn) Austemperados a 370°C



Fonte: Carmo, 2003 apud Baumer, 1989

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em três fases experimentais:

- a) Etapa da moldação, fusão e enchimento (primeira etapa na fase experimental), abrangeu a construção do modelo, a confecção dos moldes para enchimento, a formulação e fusão da liga de ferro fundido de classe nodular, o vazamento do metal no molde, a desmoldagem até o acabamento e usinagem dos corpos de prova;
- b) Etapa do tratamento térmico (segunda etapa da fase experimental), na qual foi realizado o processo de tratamento térmico dos corpos de prova destinados a esse processo;
- c) Etapa de análises, última etapa da fase experimental, iniciou-se com preparo das amostras para as análises químicas, mecânicas e metalográficas, até o término da obtenção dos resultados de todos os ensaios;

Foi estudada uma única liga de ferro fundido nodular do tipo SAE J434 - D 5504 produzida na empresa Fundição Batatais, onde foram realizadas as etapas de moldação, fusão, enchimento, análises químicas, análises mecânicas e análises metalográficas. O processo de tratamento térmico foi realizado pela empresa Maxitrate, localizada na cidade de Araraquara-SP, que desenvolveu todo o processo de austenitização e austêmpera. Para a fase de análises, além das realizadas no laboratório de metalurgia da Fundição Batatais, foi necessário realizar o ensaio de impacto Charpy nos laboratórios de Ensaios Mecânicos do Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas - ICTE da Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM.

No processo de produção da liga de ferro fundido, para a composição do material base, foi utilizado ferro gusa, inoculante (ferro silício) e nodulizante (ferro silício magnésio). O processo será mais bem detalhado adiante. A definição da composição da liga seguiu os parâmetros internos da própria empresa de fundição, obedecendo à normatização de equivalência da norma SAE J434 para ferro fundido nodular, classe D5504.

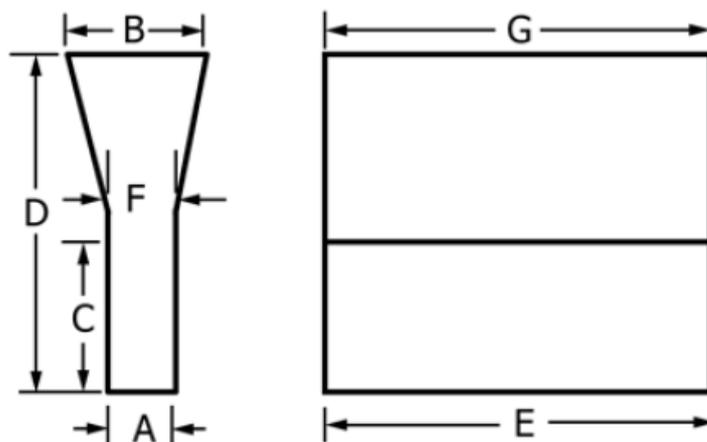
### 4.1 MOLDAGEM

O processo de moldagem para obtenção das amostras foi realizado utilizando dois moldes de tipos diferentes:

- a) Molde 1– Molde para obtenção dos corpos de prova para ensaios mecânicos de tração, dureza, impacto e para as análises de metalografias;
- b) Molde 2 – Molde para obtenção das amostras para composição química.

Os moldes do tipo 1 foram feitos com areia resinada para a confecção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos. Corpos de prova designados “bloco Y”, seguindo a norma ASTM A 897/A897M-16. Foram moldados oito moldes para cada fusão, que deram origem a 24 corpos de provas em três fusões realizadas. O dimensionamento dos blocos Y seguiram o padrão normatizado, cujo esboço e valores estão representados na Figura 26 e na Tabela 7, para peças com espessura de parede entre 13 e 38 mm.

Figura 26 - Dimensão Bloco Y



Fonte: ASTM A 897/A897M-16,2016

Tabela 7 - Dimensões do Bloco Y

BLOCO Y										
DIMENSÕES	A	B	C	D	E	F	G	F	G	
Peças com paredes de 13 a 38mm espessura	[mm]	[25]	[55]	[75]	[150]	[175]	[27]	[180]	[27]	[180]

Fonte: ASTM A 897/A897M-16, 2016

As análises químicas foram obtidas a partir de amostras confeccionadas do Molde 2 do tipo coquilha, padrão e de uso comum nas fundições, e posteriormente passaram por um processo de retificação para preparação da superfície.

O início dos vazamentos se deram em todas as fusões com temperatura controlada pelo uso do pirômetro de imersão, variando em torno de 1480 a 1550 °C. Foi considerado um tempo de doze horas para resfriamento e desmoldagem para todos os moldes vazados, necessário para a obtenção da mesma microestrutura, influenciada diretamente pela velocidade de resfriamento, em todos os corpos de provas da mesma fusão.

Após a quebra dos moldes e separação da areia, os corpos de prova sofreram uma limpeza pelos equipamentos de jatos de granalhas, responsável pela retirada de toda areia restante.

## 4.2 FUSÃO

Os intervalos da composição química descritos na norma SAE J434 possuem valores amplos, com intervalos não refinados, como pode-se observar na Tabela 8. Para atingir as propriedades da classe D5504 faz-se uso de refinamentos com elementos ligantes de expertise da fundição. Porém, como o objetivo foi analisar e verificar as alterações provocadas no ferro base após o tratamento térmico, e buscava-se valores com intervalos mais restritos, usou-se para referência da composição química da fusão as faixas de valores sugerida pela norma ASTM A 897/A897M-16, descritos na Tabela 99, que regulamenta o ADI, para se obter as condições próprias deste material.

Tabela 8 - Composição Química Sugerida pela Norma SAE J434 – D5504

C	Si	Mg	Mn	P	S
3,20 – 4,10 %	1,80 – 3,00%	0,025- 0,060%	0,10- 1,00%	< 0,05%	<0,035%

Tabela 9 - Composição Química Sugerida pela Norma ASTM A 897/A897M-16

C	Si	Mg	Mn	Cu	Ni	Mo	P	S	Cr
3,60 ± 0,2%	2,50 ± 0,2%	0,04 ± 0,005%	0,35 ± 0,05%	< 0,80 %	< 2%	< 0,3%	< 0,04%	<0,02%	<0,10%

Fonte: ASTM A 897/A897M-16, 2016

Para analisar a influência da variabilidade da composição química e das diferenças de temperaturas, e para garantir que não houvesse variação destes dados entre esses valores, optou-

se por fazer três fusões da mesma liga, contendo a mesma carga de composição entre elas, e trabalhar com o valor médio das três fusões. A quantidade de matéria prima que compõe a carga é representada na Tabela 10, e pode-se analisar a ordem de produção da fornada no Anexo 1.

Tabela 10 – Composição Para Formulação da Carga do Forno

MATERIAL	QUANTIDADE
FERRO GUSA (kg)	334 ± 5
CANAL (kg)	345 ± 5
CAVACO (kg)	21 ± 2,5
LIG/PANELA (%)	0,91
INOCULANTE (%)	0,5

Fonte: Fundição Batatais, 2018.

Para a fusão das ligas, foi utilizado um forno de indução com capacidade para 700 kg, com temperatura de fusão planejada entre 1480 e 1550 °C. Durante o processo de transferência do material do forno para a panela, o material sofreu o tratamento de nodulização em uma panela de 150kg. Utilizado para esse tratamento 1,37 kg da liga nodulizante Fe-Si-Mg *Elmag® 5837 nodulariser* da marca *Elkem*, o que corresponde a 0,91% do peso da panela. Após a nodulização adicionou 0,75 Kg da liga Fe-Si *Foundrisil® L inoculant* da *Elkem* para o procedimento de inoculação, numa proporção de 0,5%, valor esse de expertise da fundição e seguindo SENAI (1987). A composição química das ligas inoculantes e nodulizantes estão descritas na Tabela 11, porém pode-se analisar diretamente com mais detalhes em seus certificados técnicos cujas cópias encontram nos Anexos 2 e 3.

Tabela 11 - Composição Química (Inoculante e Nodulizante)

Fe-Si		Fe-Si-Mg	
Si%	48,31	Mg%	5,78
Ba%	1,09	Si%	45,8
Mn%	0,21	Ca%	0,96
Ca%	1,087	Ce%	0,63
Al%	1,138	MgO%	0,09
-	-	Terras raras%	1,03
-	-	Al%	0,9

Fonte: Fundição Batatais, 2018.

Segundo SENAI (1987) o tratamento de inoculação, feito com o FeSi, deve obedecer a proporção utilizada para inoculação na panela de 0,5% da quantidade de metal. E para o tratamento de nodulização deve-se determinar a quantidade de liga de magnésio da forma que a composição de Mg fique na faixa de 0,03 a 0,06%.

Após o preparo do material na panela, foram feitos o vazamento de 8 moldes por panela. As temperaturas de vazamento foram medidas usando pirômetro momentos antes do enchimento dos moldes, obtendo assim as temperaturas de vazamento dos moldes representadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Temperatura de Vazamento

<b>FUSÃO</b>	<b>TEMPERATURA DE VAZAMENTO (°C)</b>
FUSÃO 1	1391°C
FUSÃO 2	1425°C
FUSÃO 3	1395°C

Fonte: Fundição Batatais, 2018.

Na Figura 27 observa-se a foto do processo de enchimento dos moldes tipo 1, dos quais se deram a obtenção dos oito blocos tipo Y da segunda fusão. Na foto pode-se visualizar o vazamento direto da panela de 150 kg, após procedimento de nodularização e inoculação.

Figura 27 - Processo de Vazamento nos Moldes Tipo 1



Fonte: Fundição Batatais, 2018.

### 4.3 ANÁLISE QUÍMICA

Durante o procedimento de enchimento dos moldes, foram retiradas uma quantidade de amostra do material por fusão, e vazada no molde 2 (coquilha) para obtenção da amostra do tipo moeda. Lembrando que as amostras foram retiradas após tratamentos de inoculação e nodulização. Elas foram usadas na análise de composição química, determinadas com o auxílio da metodologia de espectrometria de emissão ótica. No caso, usado um espectrômetro do tipo SPECTROLAB<sup>®</sup>, no laboratório de análises da Fundação Batatais, conforme foto da Figura 28.

Figura 28 - Espectrômetro SPECTROLAB<sup>®</sup>



Fonte: do autor, 2018

Foram analisadas as porcentagens dos elementos C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, Cu, Sn, Al, Ti, V, Mg; em fração de massa do total da composição da carga.

#### 4.4 TRATAMENTO TÉRMICO DE AUSTÊMPERA

Foram encaminhados 12 corpos de prova do tipo Y, correspondendo a metade de todos os corpos de prova fundido, assim sendo 4 correspondentes a cada fusão, para tratamento térmico de austêmpera na empresa Maxitrate. O tratamento de austêmpera se deu em fornos do tipo poço com utilização de resfriamento em banho de sal, sendo controlada a temperatura por uso de termopares. Os dados dos processos utilizados para obtenção dos corpos de provas austemperados foram fornecidos pela empresa Maxitrate que realizou o tratamento e estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados do Ciclo de Tratamento Térmico Realizado

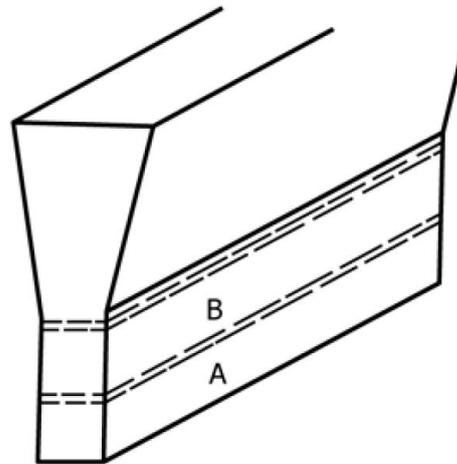
<b>AUSTENITIZAÇÃO</b>	TEMPERATURA (°C)	900±8
	POTENCIAL CARBONO (%)	0,70
	TEMPO (h)	2
<b>AUSTÊMPERA</b>	TEMPERATURA (°C)	290
	TEMPO (h)	2

Fonte: adaptado de Maxitrate, 2018.

#### 4.5 CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS MECÂNICOS

Os blocos Y foram seccionados e cada parte usinada originou corpo de prova correspondente ao tipo de ensaio mecânico específico. As regiões destinadas para a retirada de cada corpo de prova estão ilustradas na Figura 29, segundo a norma ASTM A 897/A897M-16.

Figura 29 - Corte do Corpo de Prova Y.

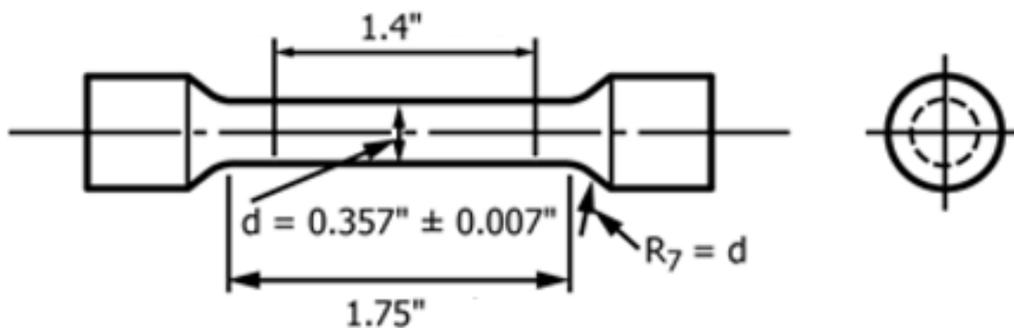


Fonte: ASTM A 897/A897M-16

Leva-se em consideração para a definição das seções de corte que a parede fina do bloco Y, da parte inferior, meça 25 mm de largura e 175 mm de comprimento. Cada seção de corte sofre o processo de usinagem para fabricação exata do formato dos corpos de provas segundo as dimensões padronizadas da norma para cada ensaio.

A Figura 30 detalha a forma e dimensões do corpo de prova para ensaio de tração, usinados com diâmetros de 9 mm com uma seção reduzida de 45mm, retirados da região definida como região A da Figura 29, segundo a norma ASTM A 897/A897M-16. Na Figura 31 observa-se os corpos de prova usinados e tipados para identificação antes do ensaio de tração.

Figura 30 – Desenho do Corpo de Prova para Ensaio de Tração.



Fonte: ASTM A 897/A897M-16, 2016

Figura 31 - Corpo de Prova Usinado para Ensaio de Tração Usinado



Fonte: do autor,2018

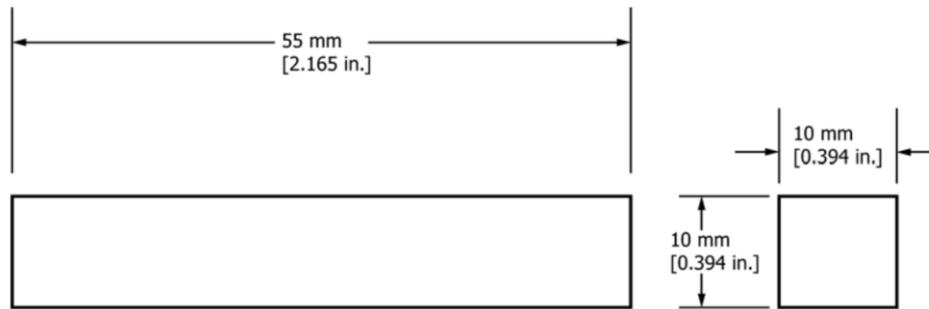
Para o ensaio de impacto, os corpos de prova foram usinados em CNC - *Computer Numeric Control*, com uma seção transversal quadrada de 10 mm por 55 mm de comprimento e sem entalhe, Figura 32, conforme norma ASTM A327 /A327M-11 (2017) descrita na Figura 33. Esses corpos foram retirados da região definida como B da Figura 29.

Figura 32 - Corpo de Prova Usinado para Ensaio de Impacto



Fonte: do autor,2018

Figura 33 - Corpo de Prova para Ensaio de Impacto.



Fonte: ASTM A327 /A327M-11, 2017

Os corpos de prova para as análises metalográficas, ilustrados na foto da Figura 34 foram retirados da extremidade da porção resultando da quebra dos corpos de prova de tração.

Figura 34 - Corpos de Prova para Análises metalográficas Após Lixamento e Polimento



Fonte: do autor, 2018

Os ensaios de dureza foram feitos diretamente no corpo de prova tipo bloco Y.

#### 4.6 ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos foram realizados no laboratório de análises metalúrgicas da Fundição Batatais e no laboratório de ensaios mecânicos e de materiais da UFTM.

Os ensaios de tração foram feitos na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos, da marca Emic® modelo 23-200 com capacidade para 200 kN (20000kgf), mantendo uma

velocidade de 10mm/min e uma célula de carga de 200kN e um transdutor CCE20TF-6248, Figura 35.

Figura 35 - Máquina Universal de Ensaios - Emic® Modelo 23-200

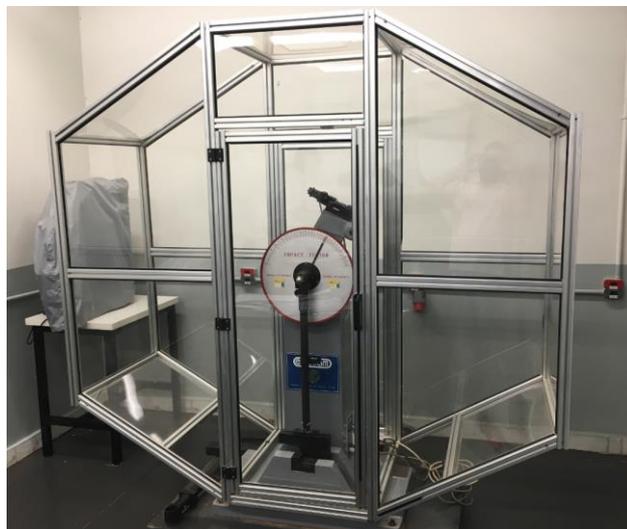


Fonte: do autor,2018

Para obter o limite de resistência, o limite de escoamento, e o alongamento para cada amostra, definiu-se o limite de escoamento a 0,2% de deformação plástica e os ensaios seguiram a metodologia baseada na norma ASTM E8/E8M-16a (2016).

Os ensaios mecânicos de impacto foram realizados na máquina de ensaio Charpy da marca Equilam® - modelo EQIM-300, com pêndulo de Impacto de 150 Joules, do Laboratório de Ensaos Mecânicas da UFTM (Figura 36). Os ensaios seguiram a metodologia da norma ASTM A327 /A327M-11 (2017).

Figura 36 - Máquina de Ensaio da Marca Equilam® - Modelo EQIM-300



Fonte: do autor,2018

Os ensaios de dureza foram feitos utilizando um Durômetro do tipo Brinell (HB) da marca Hoytom<sup>®</sup>, com uma esfera de 10 mm de diâmetro e carga de 3000 kgf, conforme norma ASTM A897/A897M-16 (2016) e descrição de método da norma ASTM E10-17 (2017). Foram feitas as medidas na superfície das amostras, com determinação do diâmetro de impressão com auxílio de um leitor óptico, e com o uso do software Brinell Electron RT<sup>®</sup>. Na Figura 37 pode-se observar a foto do Durômetro utilizado e na Figura 38 o leitor óptico realizando medição em outra peça.

Figura 37 - Durômetro do Tipo Brinell (HB) da Marca Hoytom<sup>®</sup>



Fonte: do autor,2018

Figura 38 - Leitor Óptico para Leitura de Dureza no Software Brinell Electron RT<sup>®</sup>



Fonte: do autor,2018

#### 4.7 ANÁLISES METALGRÁFICAS

As amostras para as análises metalográficas foram retiradas da porção central da maior extremidade restante do corpo de prova ensaiado, com preparação realizada com os métodos convencionas. As amostras metalográficas foram preparadas com auxílio de uma máquina policorte, conforme ilustrada na foto da Figura 39, juntamente com a politriz usada no processo de lixamento e polimento das mesmas.

Figura 39 - Policorte e Politriz Usadas na Preparação das Amostras Metalográficas



Fonte: do autor, 2018

As amostras passaram pelos procedimentos de lixamento, polimento e ataque químico. O lixamento obedeceu uma sequência de uso de lixas d'água seguindo a granulometria: #120, #220, #400, #600.

Em seguida, foi feito um polimento com suspensão de partícula de alumina de 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Utilizou-se Nital a 2% para o ataque metalográfico para obter elevado contraste na microestrutura do ADI, o que revela os feixes de ferrita acicular em tons de marrom e a austenita retida com regiões de cor esbranquiçada.

A microscopia ótica foi utilizada para analisar as amostras no estado bruto de fundição e após o tratamento térmico de austêmpera. Feito uso de um microscópio da marca Olympus® GX41 equipado com uma câmera Olympus® SC30 digital de captura, ilustrado na foto da Figura 40 e as imagens analisadas com utilização do software Stream Essentials®. As imagens de microscopia ótica foram utilizadas para quantificar a fase no estado bruto, fornecendo o número de nódulos por unidade de área, o grau de nodularização e constituição da fase da matriz (ferrita/perlita).

Figura 40 - Microscópio Ótico Olympus® GX41 Equipado com Uma Câmera Olympus® SC30



Fonte: do autor,2018

As análises foram realizadas seguindo metodologias baseadas nas normas ASTM A247-17 (2017), ASTM E7-17 (2017) e ASTM E407-07(2015).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE QUÍMICA

As composições obtidas nas análises químicas das três fusões estão descritas na Tabela 14, conforme os laudos emitidos pela Fundição Batatais (Anexos 4, 5 e 6). De acordo com a composição sugerida pela norma ASTM A 897/A897M-16, citada na Tabela 9, as ligas apontaram valores próximos das faixas ideais. O silício apresentou valores pouco abaixo do índice inferior do intervalo sugerido, cuja faixa é de 2,30% a 2,70%, segundo a norma para material austemperado ASTM A 897/A897M-16, porém de acordo com a norma SAE J434 – D5504 este valor estaria dentro (1,8 a 3,0%). Ou seja, dentro da composição do nodular o processo se encontra adequado, porém insuficiente para o tratamento de austêmpera e assim pode afetar no potencial de austemperabilidade do ferro fundido, pois, segundo Hupalo (2006), o silício é responsável pela difusão do carbono na austenita, facilitando a nucleação da ferrita acicular além do efeito grafitizante.

Tabela 14 - Composição Química dos Elementos Constituintes das Corridas

Comp. Químico	Fusão 1 (%)	Fusão 2 (%)	Fusão 3 (%)	Média (%)
C.E	4,43	4,42	4,46	4,44
C	3,6600	3,6500	3,6700	3,6600
Si	2,2400	2,2600	2,3000	2,2667
Mn	0,3000	0,2980	0,2860	0,2947
P	0,0846	0,0674	0,0816	0,0779
S	0,0097	0,0088	0,0098	0,0094
Cr	0,0208	0,0174	0,0254	0,0212
Ni	0,0085	0,0083	0,0082	0,0084
Mo	0,0009	0,0010	0,0005	0,0008
Al	0,0119	0,0142	0,0118	0,0126
Cu	0,8160	0,7400	0,7720	0,7760
Ti	0,0093	0,0102	0,0094	0,0096
V	0,0023	0,0018	0,0022	0,0021
Pb	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Sn	0,0021	0,0029	0,0021	0,0024
Mg	0,0347	0,0374	0,0353	0,0358
Fe	92,8	92,9	92,8	92,8
W	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028

O equipamento possuía certificado de manutenção e calibração válido, garantindo assim os valores dentro da incerteza de medição utilizada

Vale salientar que os valores dos elementos de liga, como Cu, Ni, Mo e Cr estavam dentro do esperado. Porém, a utilização do Cu em valores próximo ao limite máximo recomendado, confirma a intenção do seu uso para aumentar a austemperabilidade do processo; atuando como grafitizante, ampliando a faixa entre temperaturas dos eutéticos, e garantindo a nucleação de grafitas e não carbonetos. Entretanto, para a norma ASTM A 897/A897M-16, valores em excesso (acima de 0,8%) começam a diminuir a difusão de carbono na austenita podendo provocar não obtenção das propriedades desejadas no material.

Segundo Cardoso (2010) o carbono equivalente é um indicador que confere a combinação efetiva dos elementos silício e fósforo influenciados com o carbono. As fusões apresentaram valores para o carbono equivalente muito próximos entre elas, variando de 4,42 a 4,46, definindo as ligas ligeiramente hipereutéticas. De acordo com a norma ASTM A 897/A897M-16 o carbono equivalente, calculado segundo Equação 2 ilustrada previamente, deve permanecer dentro do intervalo de 4,3 a 4,6 para seções de 13 a 51mm, valor esse atingido pelas ligas fundidas do presente estudo.

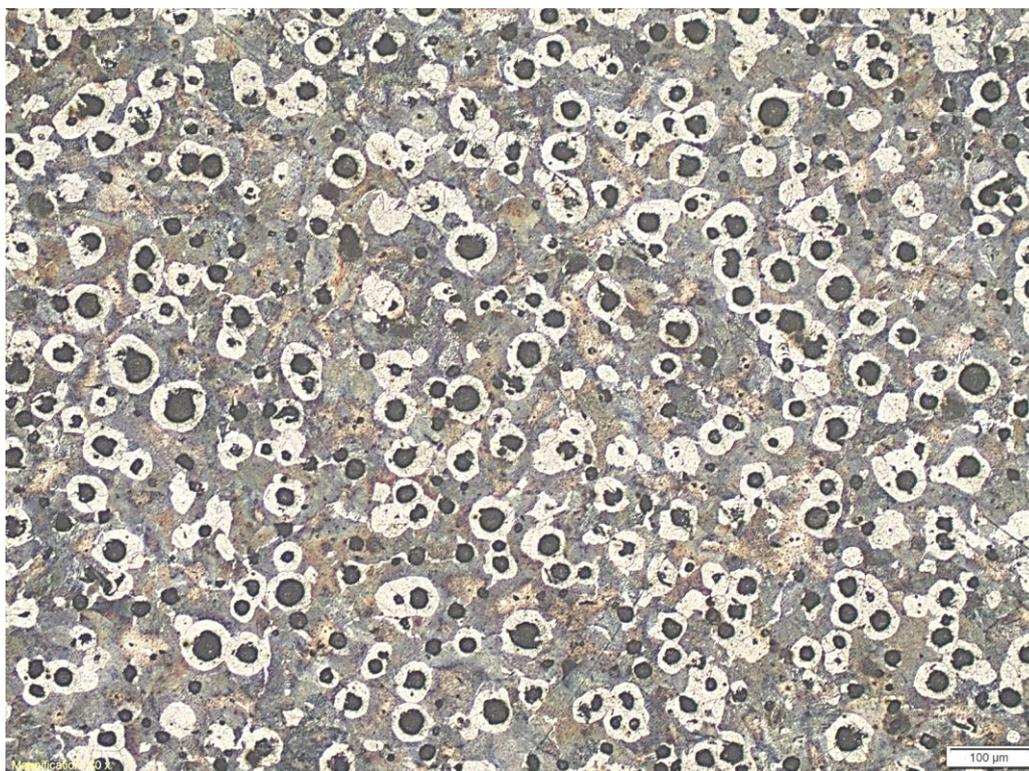
## 5.2 ANÁLISE METALOGRAFICA

As análises metalográficas foram obtidas através da microscopia ótica, cujos valores das propriedades microestruturais foram verificadas com auxílio do software de análise de imagem Stream Essentials® e estão apresentadas antes e após o tratamento térmico de austêmpera.

### 5.2.1 Estado bruto de fusão

As imagens das amostras brutas de fusão foram obtidas dos corpos de provas preparados sem sofrerem tratamento térmico. Essas imagens foram fornecidas em laudos emitidos pelo próprio laboratório de metalurgia da Fundição Batatais, laudos os quais podem ser conferidos no Anexo 7. É mostrado a seguir a metalografias correspondente ao primeiro corpo de prova da primeira fusão, ilustradas na Figura 41. As imagens mostram uma matriz composta na maioria por perlita, com grande número de nódulos de grafita esféricas.

Figura 41 - Microestrutura Bruta de Fusão: Fusão 1 - CP1. (100x)



Fonte: O autor,2018

As características metalográficas analisadas estão apresentadas na Tabela 15, descritas em função dos corpos de provas e as fusões nas quais esses materiais foram fundidos. Foram feitas as médias dos valores obtidas entre os corpos de provas, cujos valores estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 15 – Características Microestruturais do Material Bruto de Fusão

	Fusão 1				Fusão 2				Fusão 3			
	CP.1	CP.2	CP.3	CP.4	CP.9	CP.10	CP.11	CP.12	CP.17	CP.18	CP.19	CP.20
<b>Fração Matriz (P/F)* (%)</b>	79,6 / 20,4	76,2 / 23,8	81,5 / 18,5	79,4 / 20,6	83,3 / 16,7	86 / 14	85,2 / 14,8	86,8 / 13,2	80,5 / 19,5	78 / 22	80,8 / 19,2	81,2 / 18,8
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	480	400	365	360	306	280	340	314	392	390	328	301
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	88,8	96,9	97,9	94,8	96,5	97,6	96,5	95,9	93,8	93,2	96,4	99,1

\*P= Perlita; F= Ferrita.

Fonte: O autor,2018

Tabela 16 - Propriedades Microestruturais Médias do Material Bruto de Fusão

	Fusão 1	Fusão 2	Fusão 3	Média	Desv.p
Fração Matriz (P/F) (%)	79,17 / 20,83	85,32/ 14,68	80,12 / 19,88	<b>81,54 / 18,46</b>	3,31/3,31
Nº Esferoides (/mm <sup>2</sup> )	401,25	310,00	352,75	<b>354,67</b>	45,66
Grau de Esferoidização (%)	94,60	96,63	95,63	<b>95,63</b>	1,01

Fonte: O autor, 2018

Como resultado, pode-se avaliar que o material bruto de fusão possui uma matriz predominantemente perlítica, correspondendo na média de 81,54% de sua fração volumétrica, com variação de 3,31% entre as fusões. O grau de esferoidização médio apresentado foi de 95,63% com variação de 1,01%. A contagem de nódulos médios, porém apresentou valor de 354,67 nódulos por mm<sup>2</sup> com uma variação significativa entre eles de um desvio padrão de 45,66, o que sugere alguma variação ou de processos ou de técnica de contagem. Assim conclui-se que o material bruto de fusão apresentava as propriedades mínimas exigidas pela norma ASTM A 897/A897M-16, descritas como valores mínimos de nódulos de 100 nódulos/mm<sup>2</sup> e grau de esferoidização de mínimo de 80%, o que aprova o material para o processo de tratamento térmico por austêmpera.

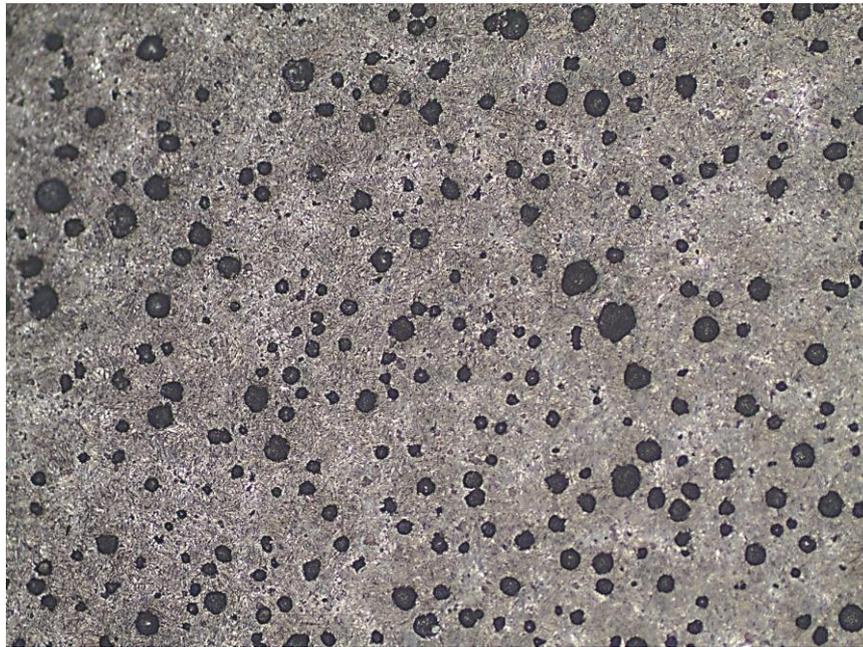
Os primeiros laudos emitidos, que podem ser analisados no Anexo 7, evidenciaram metalografias com uma matriz predominante perlítica, com grafitas do tipo I e II, de tamanhos de 6 a 7, segundo a norma ASTM A247(2017).

### 5.2.2 Estado após austêmpera

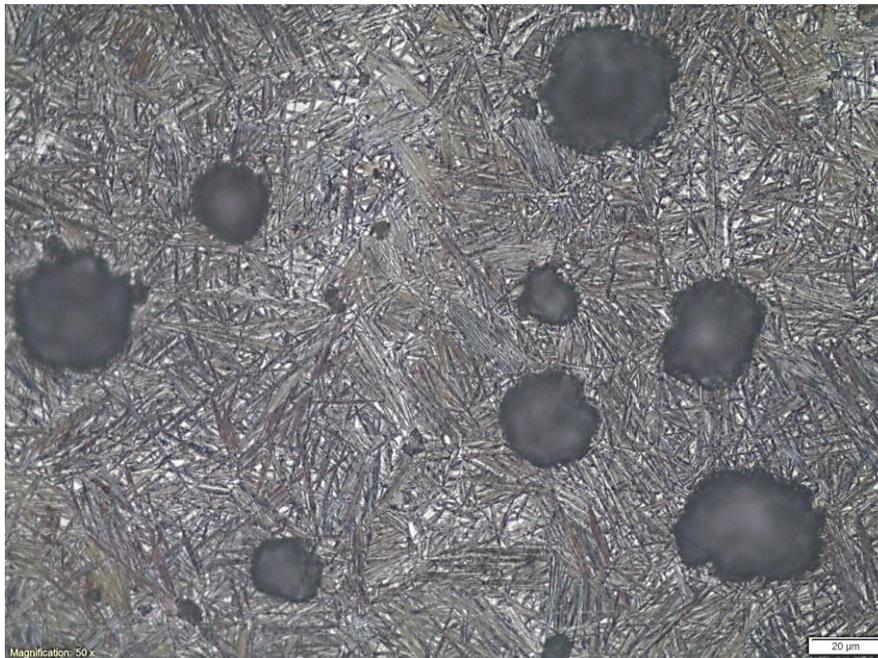
As microestruturas analisadas após o processo de austêmpera foram obtidas pela amostra retirada do corpo de prova de tração após ensaio, sendo seccionadas mantendo-se uma certa distância da extremidade. As imagens apresentadas na Figura 42 descrevem as metalografias resultantes da análise da primeira fusão com quinto corpo de prova, após tratamento térmico, e são representadas com um aumento de 100x e 500x respectivamente.

O processo de austêmpera permanecendo por 2h a uma temperatura de 290°C resultou em uma microestrutura prevalecente de uma mistura de ferrita acicular e austenita estabilizada. Mantendo uma proporção e características semelhantes entre as amostras dos corpos de provas obtidos e entre as fusões analisadas.

Figura 42 - Microestruturas Após Austêmpera. Fusão 1 - CP5 – a) (100x); b) (500)



(a)



(b)

Fonte: O autor, 2018

As características metalográficas do material austemperado analisado estão resumidas na Tabela 17 e podem ser conferidos nos laudos no Anexo 8. As propriedades

estão descritas em função dos corpos de provas e das fusões. Foram feitas as médias dos valores obtidas entre os corpos de provas, cujos valores estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 17 - Características Microestruturais do Material Austemperado

	Fusão 1				Fusão 2				Fusão 3			
	CP.5	CP.6	CP.7	CP.8	CP.13	CP.14	CP.15	CP.16	CP.21	CP.22	CP.23	CP.24
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	285	292	265	343	236	256	258	270	249	349	320	254
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	96,8	98,4	91,2	92,1	95,5	96	96,5	93	97,8	95,2	94,5	93

Fonte: O autor,2018

Tabela 18 - Características Microestruturais Médias do Material Austemperado

	Fusão 1	Fusão 2	Fusão 3	Média	Desv.p
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	296,25	255,00	293,00	281,42	18,73
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	94,63	95,25	95,13	95,00	0,27

Fonte: O autor,2018

As primeiras análises metalográficas do material após austêmpera evidenciaram uma matriz ausferrítica livre de carbonetos, com grafitas I e II, de tamanhos 6 e 7, segundo a norma ASTM A247(2017), segundo laudos que se encontram no Anexo 8.

O grau de esferoidização médio foi de 95 % com variação de 0,27 %, com número médio de 281,42 nódulos por mm<sup>2</sup>, e um desvio padrão de 18,73, o que indica valor alto de variação entre as fusões, justificado pela variação de temperatura de vazamento afetando a solidificação e durante o processo de inoculação pela solubilização do inoculante, assim podendo afetar diretamente as propriedades mecânicas de resistência e dureza conforme número de nódulos; valores dentro da faixa exigida pela norma ASTM A 897/A897M-16 (mínimos de 100 nódulos/mm<sup>2</sup> e grau de esferoidização de mínimo de 80%).

Os laudos de ADI não apresentaram a fração volumétrica presente de austenita retida e ferrita acicular, o que é de extrema importância, pois esses dados correlacionam a microestrutura com as propriedades mecânicas obtidas, o que poderiam ser analisadas também por difração de raio-x conforme estudo de Boneti (2014) e Carmo (2003) e também

não identificaram a presença de fração de martensita ou carbonetos, o que afetaria significativamente os resultados obtidos.

Silva (2005) estudou amostras que variaram de 89 a 794 nódulos/mm<sup>2</sup> e concluiu que o número de nódulos de grafita influencia significativamente no alongamento do ADI, de forma que, à medida que aumenta o número de nódulos aumenta também o alongamento. Neste caso, o autor conseguiu aumento de 7% a 15%, mantendo as outras variáveis constantes. Afirmou, assim, que isso se deve à homogeneização da microestrutura provocada pelo aumento do número de nódulos, evitando uma microestrutura heterogênea provocada pelas intensas segregações.

### 5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Foram obtidos os resultados dos testes de tração (Anexos 9 e 10), dureza e impacto, apresentados nas Tabelas 19 e 20. Os resultados foram descritos em função dos corpos de provas comparando o estado bruto de fusão e austemperado para cada fusão analisada.

Tabela 19 - Propriedades Mecânicas – Bruto de Fusão

		<b>L.R. (MPa)</b>	<b>L.E. (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>	<b>Dureza (HB)</b>	<b>Impacto (J)</b>
FUSÃO 1	<b>CP.1</b>	671,2	403,6	10,5	212	20
	<b>CP.2</b>	678,4	404	10,3	207	28
	<b>CP.3</b>	665,3	395,4	11,52	205	36
	<b>CP.4</b>	679,5	402,8	10,29	207	33
FUSÃO 2	<b>CP.9</b>	703,1	414,7	8,14	207	23
	<b>CP.10</b>	719,3	418,4	7,41	212	23
	<b>CP.11</b>	721,6	420,5	9,25	204	26
	<b>CP.12</b>	720,0	427,6	6,98	209	23,5
FUSÃO 3	<b>CP.17</b>	679,0	417	10,5	210	15
	<b>CP.18</b>	693,9	413,6	10,39	212	35
	<b>CP.19</b>	704,6	417,4	8,77	218	35
	<b>CP.20</b>	683,1	404,5	9,24	210	26

Fonte: O autor,2018

Tabela 20 - Propriedades Mecânicas – Após Austêmpera

		L.R. (MPa)	L.E. (MPa)	Alongamento (%)	Dureza (HB)	Impacto (J)
FUSÃO 1	CP.5	1330	1022	3	373,1	53
	CP.6	1346	1010	2,86	361,1	46
	CP.7	1369	1012	4,64	373,1	50
	CP.8	1389	946,2	3,9	373,1	39
FUSÃO 2	CP.13	1291	971,7	2,73	385,7	66
	CP.14	1344	1025	2,94	355,3	50
	CP.15	1379	965,2	4,73	379,3	37
	CP.16	1328	898,2	5,78	323,0	47
FUSÃO 3	CP.21	1363	1015	4,92	373,1	39
	CP.22	1314	948	5,65	328,0	53
	CP.23	1359	1055	2,47	373,1	49
	CP.24	1432	1099	3,84	373,1	56

Fonte: O autor,2018

Na Tabela 21 está ilustrado os valores das propriedades mecânicas levando-se em conta a média entre os corpos de prova na mesma fusão. As médias obtidas pelos ensaios de tração, dureza e impacto em função dos vários corpos de prova analisados, foram estruturadas em gráficos dos ensaios em função das três fusões realizadas. Assim, pode-se observar os resultados das alterações das propriedades mecânicas antes e após o tratamento térmico de austêmpera.

Tabela 21 - Propriedades Mecânicas – Média entre Corpos de Prova

	FUSÃO 1		FUSÃO 2		FUSÃO 3	
	Bruto de Fusão	Austemp.	Bruto de Fusão	Austemp.	Bruto de Fusão	Austemp.
L.R. (MPa)	673,6	1358,50	716	1335,50	690,15	1367,00
L.E. (MPa)	401,45	997,55	420,3	965,03	413,12	1029,25
Alongamento (%)	10,65	3,60	7,95	4,05	9,73	4,22
Dureza (HB)	207,75	370,10	208	360,83	212,5	361,83
Impacto (J)	29,25	47,00	23,87	50,00	27,75	49,25

Fonte: O autor,2018

Ao se levar em consideração a média para as três fusões, os valores calculados estão representados na Tabela 22.

Tabela 22 - Propriedades Mecânicas – Média entre Fusões

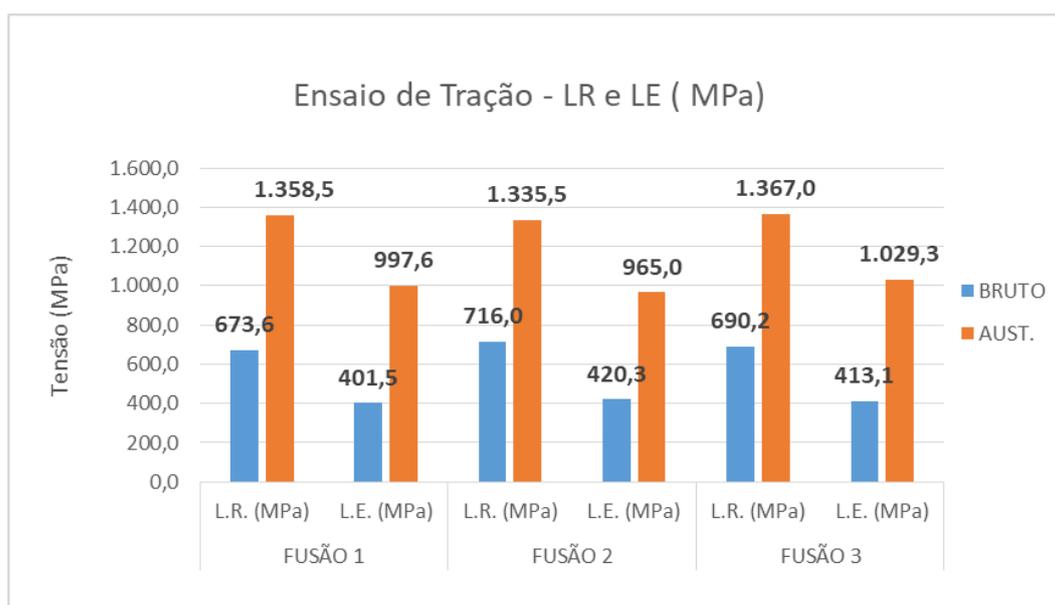
	Bruto de Fusão		Austemperado	
	Média	Desv.P.	Média	Desv.P.
L.R. (MPa)	693,25	19,16	1.353,67	35,65
L.E. (MPa)	411,63	8,99	997,28	51,87
Alongamento (%)	9,44	1,33	3,96	1,12
Dureza (HB)	209,42	3,66	364,25	18,85
Impacto (J)	26,96	6,36	48,75	7,79

Fonte: O autor,2018

Vale ressaltar que de acordo com a norma SAE J434 (2017) o material bruto de fusão da classe D5504 está dentro dos parâmetros mínimos de tração para a classe (L.R. > 550 MPa; L.E. > 380 MPa; Alongamento > 4%), conforme valores da Tabela 2. E como pode-se observar, após o tratamento térmico de austêmpera, em média, o material atingiu a classificação Grade 3, conforme norma ASTM A 897/A897M-16, e ilustrado na Tabela 3 (L.R. > 1200 MPa; L.E. > 850 MPa; Alongamento > 4%).

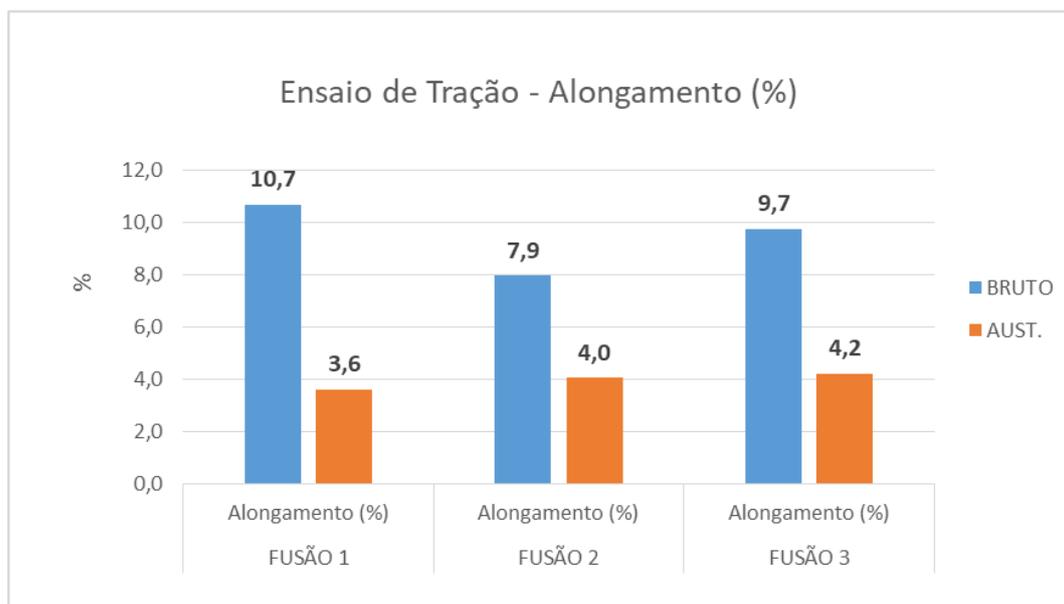
Na Figura 43 ilustra-se os gráficos de Ensaio de tração, com resultados de limite de tração e escoamento, e na Figura 44 os resultados de alongamento.

Figura 43 - Ensaio de Tração: L.R. e L.E



Fonte: O autor,2018

Figura 44 - Ensaio de Tração: Alongamento



Fonte: O autor, 2018

O ensaio de tração, assim, evidencia que o processo de austêmpera provocou um aumento em média de 195% no limite de resistência e de 242% no limite de escoamento. O processo, no entanto, provocou uma redução de quase 60% em média no valor do alongamento.

De acordo com o estudo realizado por Balzer e Oliveira (2002), o tempo de permanência na faixa de temperatura de austêmpera influencia significativamente na proporção da fração microestrutural de ferrita acicular e austenita retida resultante. Ou seja, uma variação de ferrita acicular nucleadas a partir dos contornos de grãos da austenita e dos nódulos de grafita para períodos curtos até estruturas mais refinadas, indicando possíveis formação de carbonetos para períodos longos.

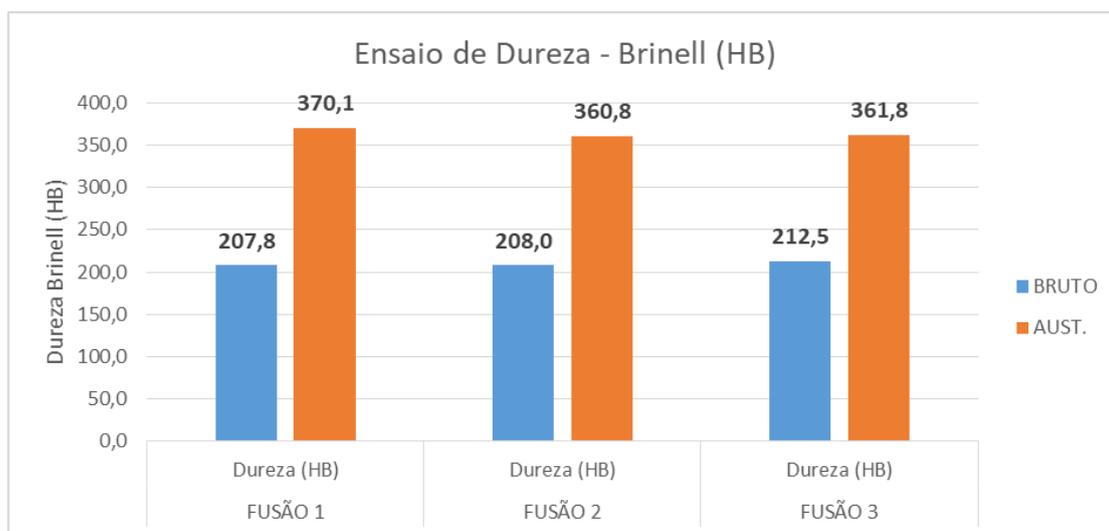
Assim, verifica-se que esses fatores afetam diretamente nos resultados de tração e dureza observados. Para um período de duas horas de processo de austêmpera pode-se então observar uma permanência de valores elevados de L.R. e L.E., porém valores reduzidos de alongamento.

Para Boneti (2014), após análise de difração de raios x em várias amostras que variaram as temperaturas de austenitização e de austêmpera; a quantidade das intensidades difratadas dos picos de austenita aumentam para maiores temperaturas de austenitização e austêmpera, sendo a temperatura de austêmpera a que possui maior influência sobre a quantidade de austenita retida.

Assim, como a austenita retida contribui para a ductilidade do material, seria essencial analisar a fração austenita retida / ferrita acicular para identificar se o baixo alongamento atingido foi pela baixa porção de austenita ou se há presença de carbonetos de solidificação nas regiões intercelulares.

A Figura 45 apresenta o gráfico com o resultado do ensaio de dureza Brinell em função das fusões obtidas.

Figura 45 - Ensaio de Dureza Brinell



Fonte: O autor, 2018.

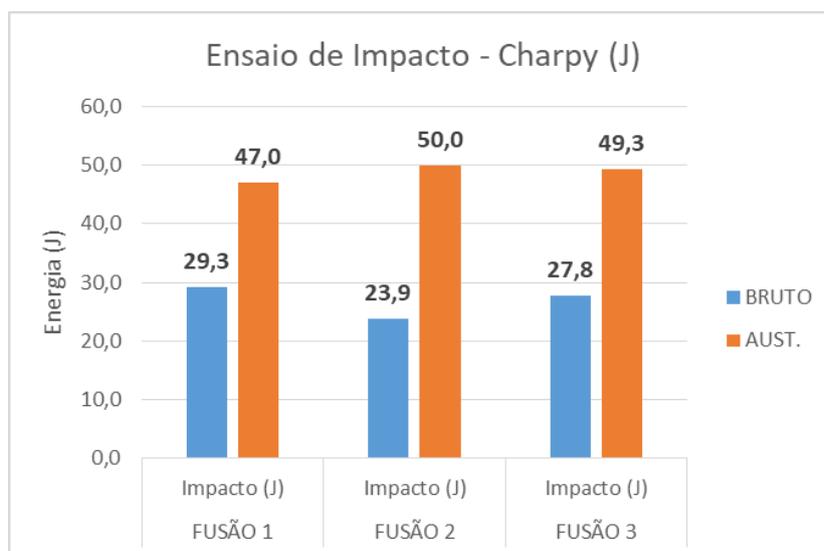
Houve um aumento médio de aproximadamente 174% no valor da dureza apresentada nos materiais após o tratamento térmico. O valor apresentado na norma ASTM A 897/A897M-16 para a Grade 3 atingida é de 341HB a 444HB e a média apresentada foi de 364HB. Aumento esse também influenciado pela alteração da matriz metálica, de ferrita/perlita para uma estrutura composta de austenita retida e ferrita acicular. Essa composição favorece o aparecimento de compostos enrijecidos como martensitas e carbonetos, influenciados por temperatura e tempo de processos como tensionamento da matriz.

Carmo (2003), através do método de análise metalográfica quantitativa definiu o número de interceptos em agulhas de ferrita -  $N_L$  (quantidade que um seguimento de reta corta as “agulhas de ferrita”) e, por esse número, correlacionou variações de propriedades mecânicas, como L.R, L.E., alongamento e dureza, para corpos de prova de espessuras variadas. A correlação verificou uma tendência de aumento com a elevação de  $N_L$  para

todas as propriedades citadas, com exceção do alongamento. Com isso pode-se concluir que quanto maior o percentual de ferrita acicular maior a resistência a tração e dureza.

A Figura 46 mostra um gráfico com o resultado do ensaio de impacto Charpy dos materiais antes e após o tratamento térmico em função das fusões realizadas. Ressaltando que o ensaio foi feito em corpos de prova usinados após o processo de austêmpera sem entalhes, em uma temperatura ambiente de 21°C.

Figura 46 - Ensaio de Impacto Charpy



Fonte: O autor, 2018.

Os resultados obtidos no ensaio de impacto revelaram um aumento significativo de aproximadamente 181% na média dos ensaios. Evidenciando o quanto o material tornou-se absorptivo para energia do impacto. Ressalta-se que para a norma SAE J434 (2017) o ferro fundido nodular da classe D5504 deveria ser capaz de absorver 40J, o que não foi observado para as amostras do material sem tratamento. Para a norma ASTM A 897/A897M-16, a Grade 3 analisada em questão, a exigência é que o material consiga suportar 60J, valor esse também não atingido.

Com uma capacidade de absorção de energia de impacto relativamente menor que a exigida pela norma, pode-se sugerir a possibilidade de presença de estruturas martensítica originárias da austenita retida, o que não foi apresentada nos relatórios de análises metalográfico, sugerindo assim uma nova análise ou revisão da metodologia das mesmas. Segundo Israel (2005) uma grande quantidade de nódulos de grafita induz a uma baixa

capacidade de absorção de energia, pois com essa estrutura existe uma menor distância para o coalescimento de alvéolos, o que sugere que pelo grande número de nódulos obtidos pode-se também afetar o não atingimento da capacidade exigida de absorção ao impacto.

Com os valores de alongamento e impacto não suficientes para os valores exigidos nas normas, tanto para o bruto de fusão quanto o material austemperado, foram refeitas as análises metalográficas para as amostras, com melhor verificação e contagens, as quais apresentaram quantidade significativa de grafitas tipo III, em fração volumétrica média de 30%. Essas grafitas irregulares que, devido a formas degeneradas diminuem a capacidade de alongamento e absorção de impacto, não foram evidenciadas em primeira análise. Para a norma ASTM A247-17 a grafita do tipo III é mais frequentemente vista em ferro maleáveis após recozimento.

Nas Tabelas 23 e 24 estão descritos nos novos valores obtidos para as características metalográficas dos materiais brutos de fusão.

Tabela 23 – Características Microestruturais Refeitas do Material Bruto de Fusão

	Fusão 1				Fusão 2				Fusão 3			
	CP.1	CP.2	CP.3	CP.4	CP.9	CP.10	CP.11	CP.12	CP.17	CP.18	CP.19	CP.20
<b>Tamanho Grafita</b>	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Tipo de Grafita</b>	I,II,III											
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	377,40	372,76	356,52	344,92	256,75	267,58	294,65	303,93	343,37	286,91	313,98	263,71
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	85,6	77,2	89,4	86,5	88,6	90,5	84,8	90,7	91,8	84,8	83	90,2

Fonte: O autor,2018

Tabela 24 - Características Microestruturais Refeitas Médias do Material Bruto de Fusão

	Fusão 1	Fusão 2	Fusão 3	Média	Desv.p
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	362,90	280,73	301,99	<b>315,21</b>	34,82
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	84,68	88,65	87,45	<b>86,93</b>	1,66

Fonte: O autor,2018

E nas Tabelas 25 e 26 estão descritos os novos valores obtidos para as características metalográficas dos materiais austemperados.

Tabela 25 - Características Microestruturais Refeitas do Material Austemperado

	Fusão 1				Fusão 2				Fusão 3			
	CP.5	CP.6	CP.7	CP.8	CP.13	CP.14	CP.15	CP.16	CP.21	CP.22	CP.23	CP.24
<b>Tamanho Grafita</b>	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Tipo de Grafita</b>	I,II,III											
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	283,83	312,44	290,01	256,76	188,70	243,61	238,19	234	234,33	267,58	296,97	249,02
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	86,1	88,7	88	93,3	89,2	85	90	93,7	93,3	83,9	91,9	91,1

Fonte: O autor,2018

Tabela 26 - Características Microestruturais Refeitas Médias do Material Austemperado

	Fusão 1	Fusão 2	Fusão 3	Média	Desv.p
<b>Nº Esferoides (/mm<sup>2</sup>)</b>	285,76	226,13	261,98	<b>257,95</b>	24,51
<b>Grau de Esferoidização (%)</b>	89,03	89,48	90,05	<b>89,52</b>	0,42

Fonte: O autor,2018

Assim, pode-se observar uma nova configuração de características microestruturais após refeitas as análises, com uma correlação mais próxima às propriedades mecânicas apresentadas.

Em relação ao material bruto de fusão, a matriz se manteve perlítica, os números de nódulos se mantiveram próximos, média de  $354,67 \pm 45,66$  para  $315,21 \pm 34,82$  nódulos /mm<sup>2</sup>, entretanto o grau de esferoidização caiu de 95,63 para 86,93%. Para o material austemperado, a matriz se manteve com ferritas acicular e austenita estável, sem presença de carbonetos. O número médio de nódulos foi de  $281,42 \pm 18,73$  para  $257,95 \pm 24,51$  nódulos /mm<sup>2</sup>, se mantiveram, porém, o grau de esferoidização reduziu de 95 para 89,52%. Além de que nas novas análises metalográficas, conforme dito anteriormente, apresentaram fração volumétrica de 30% para grafitas do tipo III, o que pode então justificar o baixo valor encontrado para o alongamento e impacto.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados observados, pode-se concluir que os objetivos alvejados foram alcançados. O ferro fundido nodular ao passar por um processo de tratamento térmico por austêmpera, obedecendo a janela de tratamento correta, apresenta mudanças na microestrutura e; conseqüentemente evoluiu para alterações significativas nas propriedades mecânicas.

As formulações das ligas atingiram os valores esperados dentro da norma para os componentes químicos analisados. Porém, em relação aos valores de silício observou-se uma quantidade pouco inferior do valor mínimo sugerido pela norma para se atingir propriedades ideais dentro dos limites do ferro fundido nodular austemperado, o que pode prejudicar a austemperabilidade do material.

O ferro fundido austemperado, para as propriedades de limite de resistência mecânica, atingiu a classificação Grade 3, ou seja, foi observado aumento significativo de 195% nos limites de resistência e 242% no limite de escoamento, com uma redução de 60% no alongamento. Essa redução no alongamento atingiu o valor um pouco abaixo do mínimo exigido pela norma para essa classe. Conclui-se então que, após o tratamento térmico, o ferro fundido melhorou sua capacidade resistiva à tração com uma boa ductilidade relativa, porém essa um pouco abaixo da esperada.

Os valores da dureza e da resistência ao impacto tiveram um aumento de 174% e 181% nos valores. Porém, os valores de impacto ficaram na iminência de atingirem os valores mínimos exigidos pela norma, tanto para o bruto de fusão quanto o material austemperado.

As microestruturas do material apresentaram algumas propriedades dentro do sugerido pela norma, como resistência a tração, escoamento, alongamento, para se atingir um material satisfatório após austêmpera; entretanto não foi condizente com os resultados obtidos em relação às propriedades mecânicas de impacto e dureza obtidos. Ao se refazer as análises foi observado grande presença de grafita tipo III, o que pode justificar a queda dos valores de impacto antes e após tratamento térmico, e o baixo valor de alongamento. Sugerindo assim atenção no processo de nodulização e nucleação das grafitas.

Assim, define-se que há uma necessidade de novos estudos, adequando as proporções dos elementos de ligas, principalmente o silício; buscando uma maior difusão do carbono na austenita. Ademais, novas análises metalográficas para evidenciar a diferenciação das martensitas e as agulhas de ferrita acicular, como também para obter a contagem de fração ferrita acicular / austenita retida nas amostras após tratamento térmico; são importantes ferramentas de estudo posteriores.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **ABIFA: Desempenho do Setor de Fundição Dezembro/2016**, 2017. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/01/12DESDEZEMBRO2016.pdf>>. Acesso em: 13 de dez. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A247-17**: Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, Disponível em: <<https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/A0247-17>>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A327/A327M-11(2017)**: Standard Test Methods for Impact Testing of Cast Irons, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <[https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/A0327\\_A0327M-11R17](https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/A0327_A0327M-11R17)>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A897/A897M-16**: Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. Disponível em: <[https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/A0897\\_A0897M-16](https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/A0897_A0897M-16)>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E7-17**: Standard Terminology Relating to Metallography, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <<https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/E0007-17>>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E8/E8M-16a**: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <[https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/E0008\\_E0008M-16A](https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/E0008_E0008M-16A)>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E10-17** Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <<https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/E0010-17>>. Acesso em: 31 de out. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E407-07(2015) e1**: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015. Disponível em: <<https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1520/E0407-07R15E01>>. Acesso em: 31 de out. 2017.

BALZER, M.E., OLIVEIRA, C.A.S. Determinação da Janela de Processo de Um ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI) sem Adição de Elementos de Liga Através de Ensaio Mecânicos e Metalográficos. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, 2002.

BALZER, M.E., OLIVEIRA, C.A.S. Determinação Da “Janela De Processo” De Austêmpera De Um Adi Sem Adição De Elementos De Liga Através De Ensaio Mecânicos E Metalográficos. Materiais, Natal, 2003.

BAUMER, Ivo; GUEDES, Luis C. Ferros fundidos nodulares bainíticos - efeitos da temperatura e do tempo de austêmpera nas propriedades mecânicas. Metalurgia. São Paulo: ABM, v. 45, n. 383, p. 1018 - 1027, out. 1989.

BONETI, L.L.T. Influência Das Temperaturas De Austenitização E Austêmpera Na Microestrutura E Propriedades De Tração De Um Ferro Fundido Nodular. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais – Área de Concentração: Desenvolvimento e Caracterização de Materiais) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014. Disponível em: <<http://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/1471/1/Ludiere%20Lucas%20Toldo%20Boneti.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

BRAGA, R. S. Marketing de produtos industriais: um enfoque para o mercado de fundição. São Paulo: Atlas, 1992.

BUCHLI, M. Análise de manufatura e de produto para a utilização do ferro fundido austemperado ADI grau 3 em eixo comando de válvulas de motores Diesel. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264964/1/Buchli\\_Marcelo\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264964/1/Buchli_Marcelo_M.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2018.

CARDOSO, P.H.S., ISRAEL.C.L., STROHAECKER, T.R. Comparative study of quenched and austempered ductile cast irons. Revista Estudos Tecnológicos em Engenharia, São Leopoldo – Vol.6, n° 3: 140-148, set/out 2010. Disponível em: <[http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos\\_tecnologicos/article/view/4623](http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/4623)>. Acessado em 05 dez. 2018

CALLISTER, W. D. J. **Ciências e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 5.ed. São Paulo: LTC, 2002. p. 255.

CARMO, D.J. **Desenvolvimento do processo tecnológico de fabricação de peças em ferro fundido nodular austemperado (ADI)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de concentração: Metalurgia da Transformação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2003. Disponível em: <<https://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/142M.PDF>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

CHIAVERINI, V. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. 1. ed. São Paulo: ABMM-Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. a

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7.ed. São Paulo: ABMM-Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. b

CUEVA-GALÁRRAGA, Edison Gustavo; TSCHIPTSCHIN, André P. Estabilidade da austenita em ferros fundidos nodulares austemperados. Fundição e Serviços, São Paulo, n. 82, p. 66-73, out. 1999.

DIAS, J. F. **Estudo do comportamento à fadiga em ferro fundido nodular austemperado (ADI) sujeito a carregamento de amplitude variável**. Tese (Doutorado em Engenharia de

Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: < <http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/159D.PDF>>. Acesso em: 10 de out. 2017.

DOMMARCO, R. C.; SOUSA, M. E. Abrasivo resistente of high module conta Ductile iron with diferente matriz Microstructure. *Wear*, n. 257, p. 1185-1192, 2004.  
FONSECA, Marco Túlio. **Metalurgia dos ferros fundidos**. Belo Horizonte; SENAI DR MG; 62p. 2006.il

FRANCO, F.J.S.; Influencia da Deformação Superficial Induzida na Resistência à fadiga do Ferro Fundido Nodular Austemperado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas ) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

FULLER A. G. **Austempered Ductile Irons – Present Applications**, *Materials & Design*, v. 6, n. 3, 1985.

FUOCO, R.; CORRÊA, E.R.; CAVALCANTE, A.H.; SANTOS, E.R. Determinação do grau de nucleação de ferros fundidos cinzentos via análise térmica. CONAF – São Paulo – Setembro 2003

GUESSER, W. L. **Propriedades Mecânicas dos Ferros Fundidos**, Blucher, 1 ed.São Paulo, 2009.

GUEDES, L.C. Fragilização por fósforo de ferros fundidos nodulares austemperados. Tese (tese de doutorado), São Paulo, SP, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo , 1996.

HAMID ALI, A.S.; ELLIOTT, R. (1996). Austempering of an Mn–Mo–Cu alloyed ductile iron Part 1 – Austempering kinetics and processing window. *Materials Science and Technology*, v.12, n.8, p.679-690, ago.

HASSE, S. ADI, um material ideal para a produção de peças com paredes espessas. *Fundição e Serviços*, v. 9, n. 67, p. 60-74, jul. 1998.

HAYRYNEN, K.L. et al. **Agricultural application of austempered ductile iron**. World Conference on ADI. U.S.A, p. 135-142, set 2002.

HAYRYNEN, K.L., BRANDERBERG, K.R., KEOUGH, J.R., **Applications of Austempered Cast Irons**, AFS Transactions, p. 1 -10, 2002.

HARDING, Richard A. Opening up the market for ADI. *The Foundryman*: Birmingham: IBF, v. 86, n. 4, p. 197 - 208, jun. 1993.

HUPALO, M.F., BALZER, M.E., WARMLING.G. Avaliação da austemperabilidade de um ferro fundido nodular de classe perlítica (FE-70002) em corpos de prova com 50 mm de espessura. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais,2006, Foz do Iguaçu, PR. Disponível em: <http://foundrygate.com/upload/artigos/AVALIA%20DA%20AUSTEMPERABILIDADE%20DE%20UM%20FERRO%20FUNDIDO%20NODULAR.pdf> >. Acesso em: 02/12/2018

ISRAEL, C. L. **Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste e ao Impacto de Ferros Fundidos de Alto Desempenho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/16863>>. Acesso em: 10 de out. 2017.

KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B. DE; OLIVEIRA, M. F. DE. **Introdução Aos Processos De Fabricação De Produtos Metálicos**. São Paulo: Blucher, 2003.

KLOCKE, F.; KLÖPPER, C.; LUNG, D.; ESSIG, C.; **Fundamental Wear Mechanisms when Machining Austempered Ductile Iron (ADI)**. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56, 1, pp 73 - 76, 2007.

KOVACS, B.V. **Austempered Ductile Iron: Fact And Fiction**. Modern Casting. p.38- 41, n.3, 1990.

KOVACS, Bela V. On the Terminology and Structure of ADI. AFS transactions, 1986; p 417-420.

LUSSOLI, R.J. Efeito Da Adição De Cobre E Da Seção Da Peça Sobre As Características Microestruturais E Mecânicas De Ferro Fundido Nodular Austemperado. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MACHADO, M. A. **Desenvolvimento Dos Parâmetros De Tratamento Térmico De Ferro Fundido Nodular Austemperado ASTM987 Grau II**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em:< <http://hdl.handle.net/10183/16567>>. Acesso em 13 de fev. 2018.

MALUF, O. **Influência do roleteamento no comportamento em fadiga de um ferro fundido nodular perlítico**. Dissertação (Mestrado – Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais) Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-17032004-163144/pt-br.php>>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

MARIANI, F.E.; Tratamentos térmicos e termoquímicos de boroaustêmpera em ferros fundidos nodulares e características dos produtos resultantes. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola de Engenharia de São Carlos, 2014.

MARTINEZ, J. A. B. Comparação Da Resistência Ao Desgaste Por Fadiga De Contato De Engrenagens Fabricadas Em Aço AISI 4140 E Ferro Fundido Nodular Austemperado. Dissertação (Engenharia Mecânica e de Materiais) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em:< [http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2011/JAIROBLANCOdissertacao\\_final.pdf](http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2011/JAIROBLANCOdissertacao_final.pdf)>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

MATTAR JÚNIOR, A. R. **Influência dos elementos de liga Cu-Ni-Mo nas propriedades mecânicas e na austemperabilidade do ADI**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia

de Materiais – Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-04062009-145511/pt-br.php>>. Acesso em: 10 de out. 2017.

METALS HANDBOOK. **Heat treating**, 10th ed. American Society for Metals International, 1991, p. 1485-1497. v.4.

NOGUEIRA, E. A. DE S. Simulação Computacional Da Deformação Superficial Induzida Em Corpos-De-Prova Para Ensaio De Fadiga Em Ferro Fundido Austemperado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Área de concentração: Ciência e Engenharia dos Materiais) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8MSHEB>>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

OLIVEIRA, R.; GALHARDI, A. **Simulação Numérica e a Fundição de metais do Brasil**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2016. 96p – Coleção Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos; v.6.

PETRY, Cintia C. M. Avaliação tecnológica do ferro fundido nodular austemperado ligado com cobre e níquel. Trabalho de conclusão. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

PIESKE, A.; CHAVES FILHO, L.M.; GRUHL, A.H. **As variáveis metalúrgicas e o controle de estrutura de ferros fundidos cinzentos**. Metalurgia ABM, v.31, n.215, p.693-699, 1975.

PIMENTEL, A. S. O.; GUESSER, W. L. Tratamento térmico de austêmpera em ferro fundido nodular com adições de nióbio e de cromo. *Matéria (Rio J.)*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, e11816, 2017. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762017000200424&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000200424&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 05 dez. 2018. Epub 22-Jun-2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0148>.

ROUSIÈRE, D; ARANZABAL, J. O desenvolvimento de estruturas mistas (ferríticas-ausferríticas) para ferros fundidos nodulares. *Fundição e Serviços*, São Paulo, n. 128, p. 158-165, ago. 2003.

SANTOS, A.B.S. Efeitos da composição química na produção de ferros fundidos nodulares. 55º Congresso anual ABM. P.1156-1179. Rio de Janeiro 2000.

SANTOS A.B. S; BRANCO, C.H.C. *Metalurgia dos ferros fundidos cinzentos e nodulares*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.

SANTOS, A.B.S. Principais aspectos da inoculação de ferros fundidos. Congresso anual da associação brasileira de metalurgia e materiais – ABM, Belo Horizonte, MG, 1998.

SANTOS A.B.S. A utilização de cobre em ferros fundidos nodulares. 13º Conaf – Congresso de Fundição. Setembro 2007

SENAI, **Iniciação à fundição**. Belo Horizonte; 2.ed. 1987.67p.il

SILVA, C. **Influência Do Número De Nódulos De Grafita Nas Propriedades Mecânicas Do Ferro Fundido Nodular Austemperado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8DUH7V>>. Acesso em 13 de fev. 2018.

SILVA, M.L.S.; . **Estudo da viabilidade de obtenção de material de referência interno para controle de composição química**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Itajubá , 2016.

SORELMETAL, **Ductile Iron Data for Design Engineers**, Section X, Designing with Ductile Iron, Rio Tinto Iron & Titanium, Montreal, 1990. Disponível em: <<http://www.ductile.org/didata/Section10/10intro.htm>>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

SOUSA, R. M. O. **Incorporação De Metal Duro Em Fundidos**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <[https://sigarra.up.pt/reitoria/pt/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_gdoc\\_id=326711](https://sigarra.up.pt/reitoria/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=326711)>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

SOUZA, B.V., **Desenvolvimento de Ferro Fundido Austemperado (ADI) em Banho de Zinco-Alumínio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sula, Porto Alegre 2015.

SOUZA, T. N. F. **Produção E Caracterização Física E Mecânica De Ferros Fundidos Nodulares E Ferros Fundidos Nodulares Austemperados Com Adição De Nióbio**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8ZSNTU>>. Acesso em: 13 de fev. 2018.

SOUZA, T. N. F.; AGUILAR, M. T. P.; NOGUEIRA, R. A. P. S. **Avaliação Por Simulação Da Microestrutura E Propriedades Mecânicas Obtidas No Ferro Fundido Nodular Em Função Da Adição De Diferentes Elementos De Liga**. EngOpt - 3rd International Conference on Engineering Optimization, p. 1–4, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://engopt.org/12/paper/530.pdf>>. Acesso em 13 de fev. 2018.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J434 (2017): Automotive Ductile (Nodular) Iron Castings, SAE International, 2017. Disponível em: <[http://standards.sae.org/J434\\_201712](http://standards.sae.org/J434_201712)>. Acessado em: 21 de fev. 2018.

SOUZA, T. N. F.; AGUILAR, M. T. P.; NOGUEIRA, R. A. P. S. **Evaluation by Simulation pf the Microstructure and Mechanical Properties in Ductile Cast Iron due to the Addition of Various Alloying Elements**. 3rd International Conference on Engineering Optimization, Anais... p. 1–4, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://engopt.org/12/paper/530.pdf>>. Acesso em 13 de fev. 2018.

TORRE, J. **Manual Prático De Fundição E Elementos De Prevenção Da Corrosão**. São Paulo: Hemus, 2004.

## ANEXO 1 – ORDEM DE FUSÃO -CARGA DO FORNO

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USRACEN - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small>		<b>CARGA DO FORNO</b>			
ELABORADO POR: Emerson Beato		CAPACIDADE DO FORNO: <b>700 Kg</b>			
APROVADO POR: Leandro Aparecido Pereira		EMITIDO: 01/08/2018		REVISÃO:	
<b>GUSA - RIR: 12/18</b>		<b>Nº. CERTIFICADO: 66126</b>		<b>Nº. NOTA FISCAL: 118164</b>	
<b>LIGA: D7003 – A</b> CE 4,10		<b>LIGA: D7003 – B</b> CE 4,30		<b>LIGA: D7003 – C</b> CE 4,48	
GUSA		GUSA		GUSA	
CANAL		CANAL		CANAL	
AÇO Cobr.		AÇO Cobr.		AÇO Cobr.	
CAVACO		CAVACO		CAVACO	
COBRE		COBRE		COBRE	
FeSi		FeSi		FeSi	
Lig/ panela		Lig/ panela		Lig/ panela	
Inoculante		Inoculante		Inoculante	
<b>LIGA: G3000 – A</b> CE 3,80		<b>LIGA: G3000 – B</b> CE 4,00		<b>LIGA: G3000 – C</b> CE 4,20	
GUSA		GUSA		GUSA	
CANAL		CANAL		CANAL	
AÇO Cobr./ Normal		AÇO Cobr./ Normal		AÇO Cobr./ Normal	
CAVACO		CAVACO		CAVACO	
FeMn		FeMn		FeMn	
Pirita		Pirita		Pirita	
Inoculante		Inoculante		Inoculante	
<b>LIGA: D5506 – A</b> CE 4,30		<b>LIGA: D5504 – B</b> CE 4,48		<b>LIGA: D7003 – D</b> CE 4,48	
GUSA		GUSA	334 ± 5 KG	GUSA	
CANAL		CANAL	345 ± 5 KG	CANAL	
AÇO Normal		AÇO Normal		AÇO Normal	
CAVACO		CAVACO	21 ± 2,5 KG	CAVACO	
COBRE		COBRE		COBRE	
Lig/ panela	Conf.Programação	Lig/ panela	0,91%	Lig/ panela	
Inoculante	Conf.Programação	Inoculante	0,5%	Inoculante	
<b>OBSERVAÇÕES</b>					
01) Utilizar Gusa 0,5 a 1,0. Temperatura no forno entre 1480 a 1550 °C, estando as painéis previamente aquecidas, retirar amostra coquilhada para laboratório (nodular), 1480 °C (cinzento).					
02) Quando as cargas passarem por revisões devolver a revisão anterior para o laboratório.					
03) *Quando não tiver rebarba acrescentar a quantidade em Canal.					
04) Na 1ª corrida do dia, pode-se substituir a quantidade de Cavaco por Canal.					

SQB IT 04.03.05.00.001B

ANEXO 2 - CERTIFICADO INOCULANTE FOUNDRISIL ELKEM

CERTIFICATE OF WEIGHT AND ANALYSIS



Customer  
 MUC527SC  
 ELKEM MATERIALS SOUTH AMERICA LTDA  
 RUA DONA FRANCISCA 8300, SALA 1  
 BLOCO D4/D5, COND. PERINI BUS. PARK  
 Z.I. NORTE, 89219-600 JOINVILLE - SC  
 BRAZIL CNPJ: 07.551.309/0002.21

Delivery address  
 ELKEM MATERIALS SOUTH AMERICA LTDA  
 RUA DONA FRANCISCA 8300, SALA 1  
 BLOCO D4/D5, COND. PERINI BUS. PARK  
 Z.I. NORTE, 89219-600 JOINVILLE - SC  
 BRAZIL

Page 2(2)  
 Certificate no ODC0834380

Cust. order no FOUN J01 0036  
 Elkem order no 1000135107-8

Our item no 117140  
 Product name FOUNDRISIL® L INOCULANT  
 Size 0.7 - 3 MM  
 Packaging BIGBAG 1200KG ON PALLET

Shipment date 04-SEP-2018  
 Delivery date 17-OCT-2018

Marks and numbers

Lot no	Net weight	Si %	Al %	Ca %	Ba %	Mn %
2028010333	12.000	48.31	1.398	1.007	1.08	0.26
Min		46.00	0.750	0.790	0.75	0.00
Max		50.00	1.250	1.250	1.25	0.00

CONFERIDO  
 Fundação Batatais  
 R/C 19/18

Net weight 12 MT Number of units 10

Date of issue 05-SEP-2018

Validated by an authorized representative For Elkem

*[Signature]*

ANEXO 3 – CERTIFICADO NODULIZANTE NODULARISER ELKEM

CERTIFICATE OF WEIGHT AND ANALYSIS



Customer MUCS27  
 ELKEM MATERIALS SOUTH AMERICA LTDA  
 RUA ALVARES CABRAL, 433  
 BAIRRO VILA CONCEIÇÃO  
 09981-030 - DIADEMA - SP  
 BRAZIL CNPJ: 07.551.309/0001-40

Delivery address  
 ELKEM MATERIALS SOUTH AMERICA LTDA  
 RUA ALVARES CABRAL, 433  
 BAIRRO VILA CONCEIÇÃO  
 09981-030 DIADEMA - SP  
 BRAZIL

Page Certificate no 1(1)  
 0000740665

Cust. order no XL-FCUN+1054  
 Elkem order no 1000110468-4

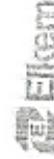
Our item no 117367  
 Product name ELMAG® 5337 NODULARISER  
 Size 0.5 - 6 MM  
 Packaging BIGBAG 1200KG ON PALLET

Shipment date 24-MAY-2018  
 Delivery date 08-JUN-2018

Marka and numbers  
 CONTAINER NO. SUDU 757012-6  
 SEAL NO. ENL001632

Lot no	Net weight	Si %	Mn %	Ca %	RE %	Ce %	Mg %	Al %	SiH Mg %
Min		44,0	5,55	0,30	0,85	0,40	0,29	0,4	0,29
Max		46,0	8,15	1,20	1,15	0,65	0,50	1,0	6,15
150502183R	14.400	45,8	5,78	0,98	1,03	0,63	0,08	0,9	5,72

CONFERIDO  
 Fundição Bataiais  
 R/R 22/18



Validated by an authorized representative  
 For Elkem ASK  
 Edini Sobrinho

Date of issue  
 01-JUN-2018

Number of units 12

Net weight / Quantity 14.400 MT  
 Net weight 14400,000 KG  
 Gross weight 14676,000 KG  
 Tare weight 276,000 KG

**ANEXO 4 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C53-4****FUNDIÇÃO BATATAIS**Date: **5/9/2018**  
Hora: 15:41:19Análise Química

Date: 23/8/2018

Liga: SAE J434 D5506

Corrida: 53 - 4 Teste

Operador: Emerson

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	3,66	2,24	0,300	0,0846	0,00973	0,0208	0,00852
	<b>Mo</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	0,00089	0,0119	0,816	0,00934	0,00229	<0,00020	0,00207
	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>W</b>				
	%	%	%				
Value	0,0347	92,8	<0,00280				

**ANEXO 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C54-3**

Date: 3/10/2018

Hora: 10:38:12

**FUNDIÇÃO BATATAIS****Análise Química**

Date: 3/10/2018

Liga: SAE J434 D5508

Corrida: 54 - 3 Teste

Operador: Emerson

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	3,65	2,26	0,298	0,0674	0,00876	0,0174	0,00832
	<b>Mo</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	0,00097	0,0142	0,740	0,0102	0,00179	0,00020	0,00286
	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>W</b>				
	%	%	%				
Value	0,0374	92,9	<0,00280				

## ANEXO 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA C57-3

Date: 5/9/2018  
Hora: 15:42:07

# FUNDIÇÃO BATATAIS

## Análise Química

Date: 24/8/2018

Liga: SAE J434 D5506

Corrida: 57 - 3 Teste

Operador: Emerson

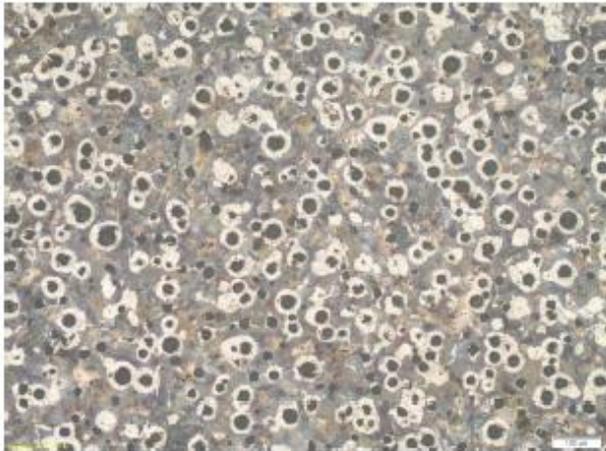
	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	3,67	2,30	0,286	0,0816	0,00983	0,0254	0,00821
	<b>Mo</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>
	%	%	%	%	%	%	%
Value	<0,00050	0,0118	0,772	0,00939	0,00223	<0,00020	0,00213
	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>W</b>				
	%	%	%				
Value	0,0353	92,8	<0,00280				

**ANEXO 7 – RELATÓRIOS DE ANÁLISES METALGRÁFICAS E DE ENSAIOS  
MECÂNICOS – SEM TRATAMENTO TÉRMICO**

CP 1

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO - A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412 / (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 E-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

**Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2454/18**

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 1	Mês: agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (79,60%) / Ferrítica (20,40%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 480 <b>Grau de Esferoidização:</b> 88,8%	
Aumento: 100 x	
Ataque: Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERMENTAÇÃO TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2455/18

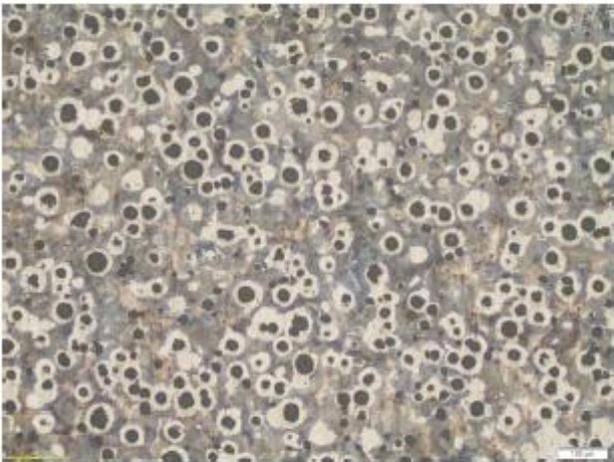
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 1	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	671,2	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	403,6	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	10,5	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	212	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP2

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2454/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 2	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (76,20%) / Ferrítica (23,80%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 400	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 96,9%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1972</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2455/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 2	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	678,4	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	404	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	10,3	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	207	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP3

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1917</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2454/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 3	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<p><b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (81,50%) / Ferrítica (18,50%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).  <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 365  <b>Grau de Esferoidização:</b> 97,9%</p>	
<p><b>Aumento:</b> 100 x  <b>Ataque:</b> Nital 2%</p>	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2455/18

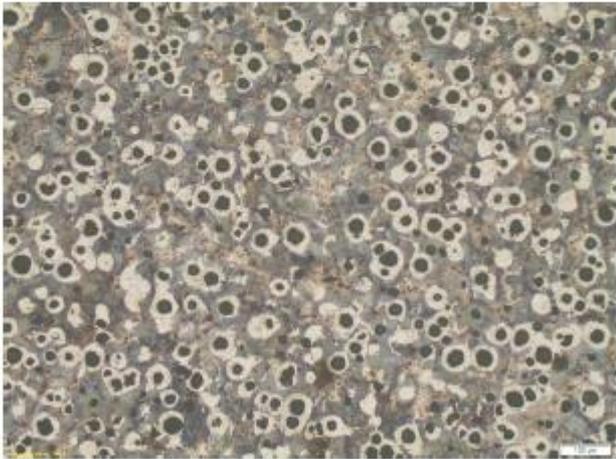
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 3	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	665,3	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	395,4	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	11,52	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	205	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP4

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2454/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 4	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (79,40%) / Ferrítica (20,60%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 360	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 94,8%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TERMICO A INOXIAÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2455/18

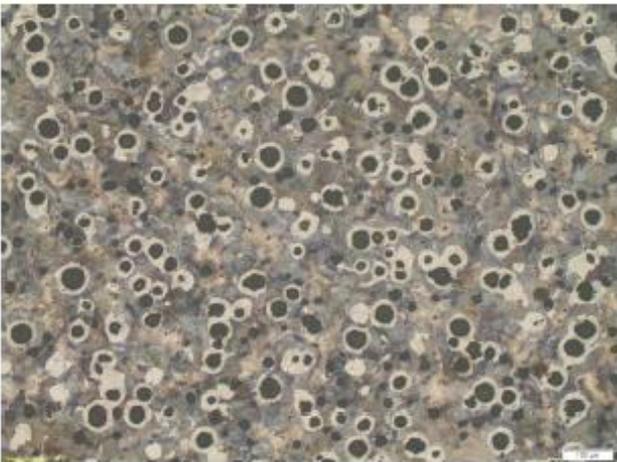
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 4	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	679,5	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	402,8	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	10,29	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	207	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
( x ) Aprovado		( ) Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP9

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2456/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 9	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (83,30%) / Ferrítica (16,70%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 306	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 96,5%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2457/18

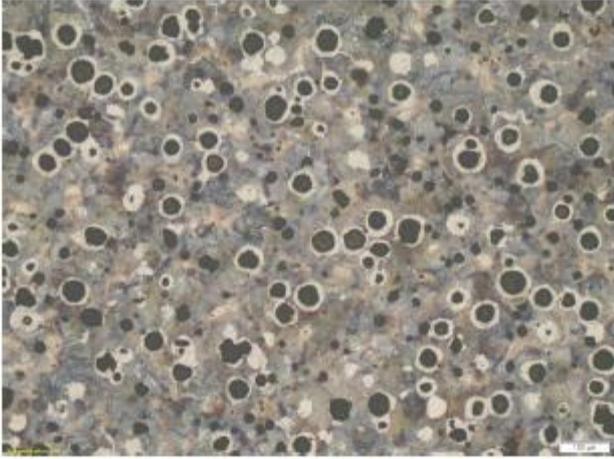
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 9	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	703,1	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	414,7	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	8,14	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	207	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP10

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2456/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 10	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (86,00%) / Ferrítica (14,00%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 280	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 97,6%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2457/18

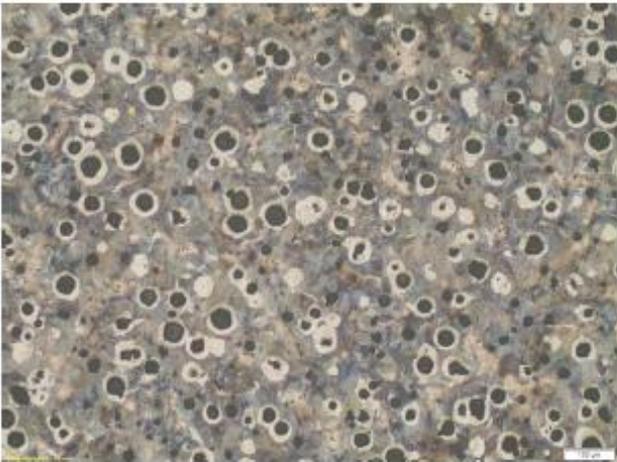
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 10	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	719,3	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	418,4	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	7,41	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	212	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP11

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A PRODUÇÃO</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2456/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 11	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (85,20%) / Ferrítica (14,80%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 340	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 96,5%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2457/18

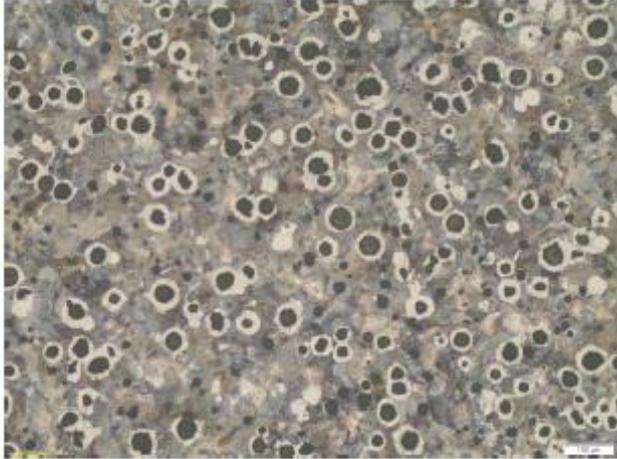
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 11	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	721,6	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	420,5	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	9,25	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	204	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
( x ) Aprovado		( ) Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP12

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2456/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 12	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (86,80%) / Ferrítica (13,20%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 314	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 95,9%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2457/18

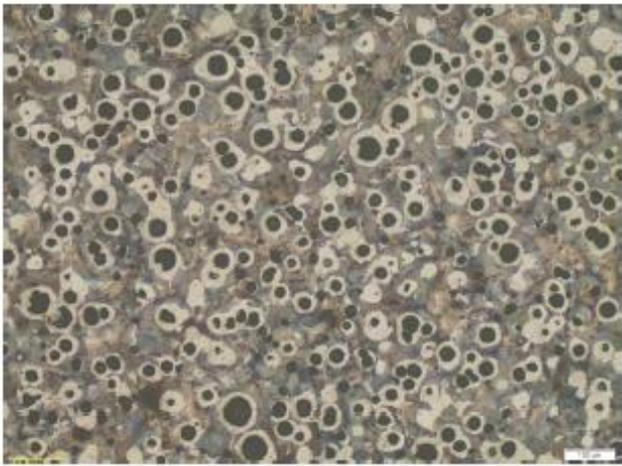
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 12	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	720	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	427,6	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	6,98	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	209	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP17

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2458/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 17	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (80,50%) / Ferrítica (19,50%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 392	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 93,8%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1917</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2459/18

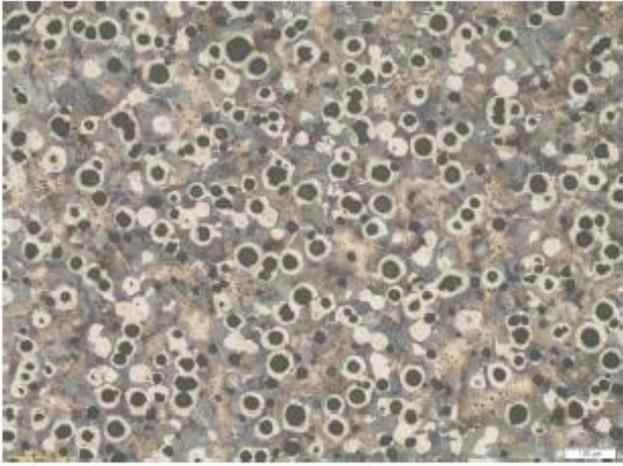
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 17	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	679	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	417	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	10,5	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	210	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP18

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2458/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 18	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<p><b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (78,00%) / Ferrítica (22,00%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).  <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 390  <b>Grau de Esferoidização:</b> 93,2%</p>	
<p><b>Aumento:</b> 100 x  <b>Ataque:</b> Nital 2%</p>	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2459/18

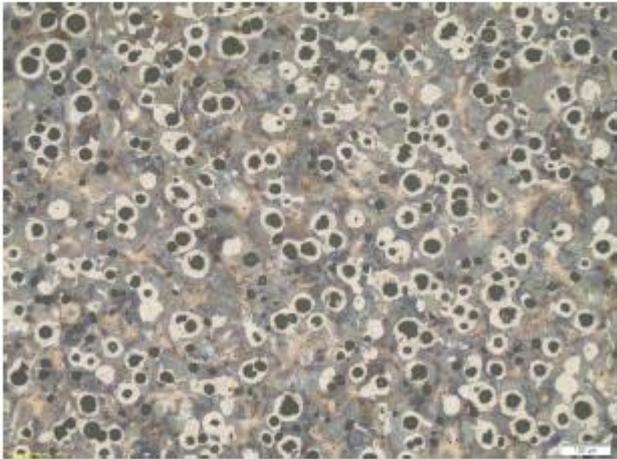
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 18	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	693,9	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	413,6	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	10,39	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	212	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP19

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1917</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2458/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 19	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (80,80%) / Ferrítica (19,20%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 328	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 96,4%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2459/18

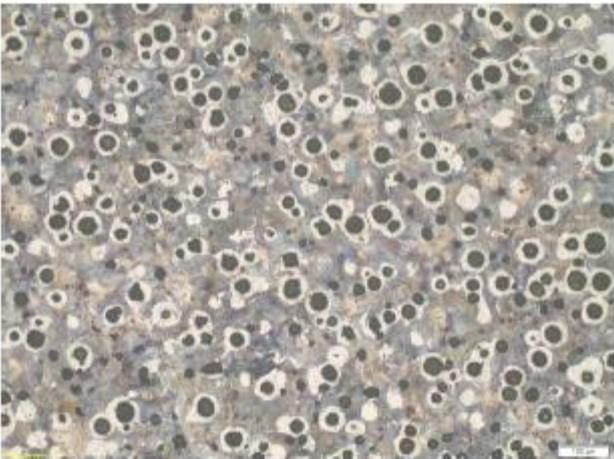
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 19	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	704,6	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	417,4	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	8,77	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	218	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP20

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1972</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2458/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 20	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição de Resultados:</b> Matriz: Perlítica (81,20%) / Ferrítica (18,80%), grafitas tipo I, II, tamanhos de 6 a 7 (Conforme ASTM A 247).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 301	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 99,1%	
<b>Aumento:</b> 100 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 03/09/18	Realizado em: 15/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2459/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 20	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: SAE J434 - D 5506	Controle de Análise N.º: 071/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Carga 3000 Kgf, esfera de 10mm	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 552	683,1	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	Mínimo 379	404,5	ND
Alongamento (A)	( % )	Mínimo 6	9,24	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	187 - 255	210	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
( x ) Aprovado		( ) Reprovado		
Recebido em: 03/09/18		Realizado em: 15/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

## ANEXO 8 – RELATÓRIOS DE ANÁLISES METALGRÁFICAS E DE ENSAIOS MECÂNICOS – COM TRATAMENTO TÉRMICO

CP5

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · USINAGEM · FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1917</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412 / (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	---

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2556/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 5	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 285 <b>Grau de Esferoidização:</b> 96,8% <b>Aumento:</b> 100 x / 500 x <b>Ataque:</b> Nital 2%	
 	
(100 x)	(500 x)
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2557/18

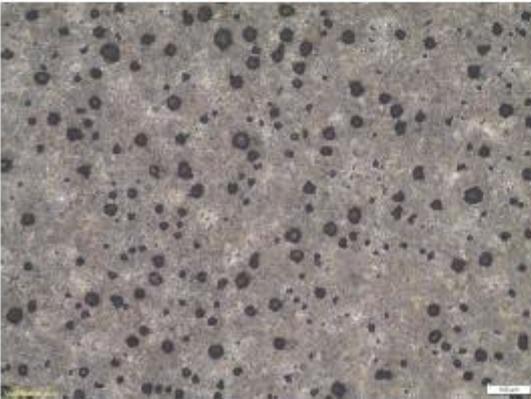
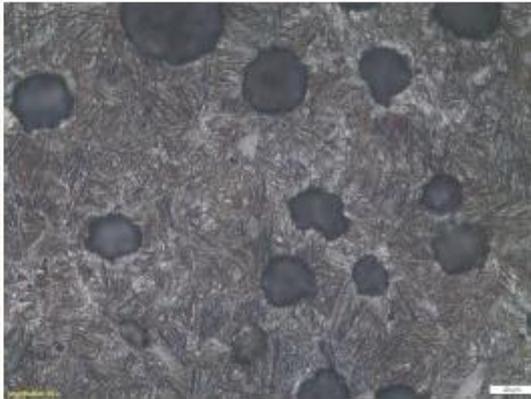
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 5	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1330	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1022	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	3,0	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP6

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA      TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO      DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2558/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 6	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 292	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 98,4%	
<b>Aumento:</b> 100 x / 500 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <span>(100 x)</span> <span>(500 x)</span> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaios Mecânicos - N.º.: 2559/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 6	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

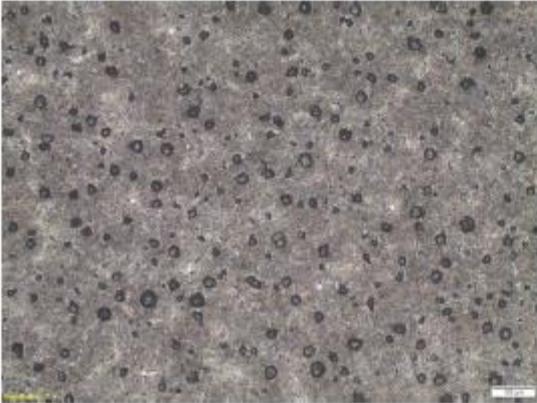
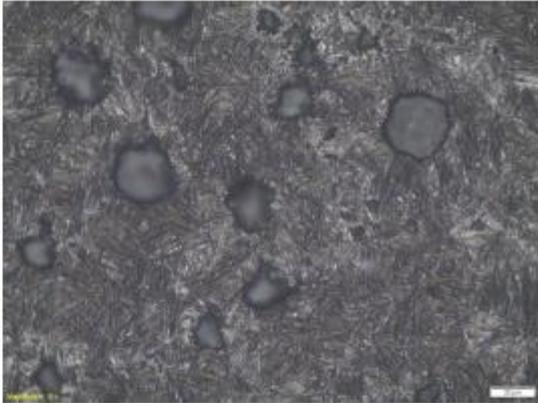
Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1346	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1010	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	2,86	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	361,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

SQB IT04.03.11.00.006A

CP7

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2560/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 7	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 265 <b>Grau de Esferoidização:</b> 91,2%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · USINAGEM · FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO  DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundacao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaios Mecânicos - N.º: 2561/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 7	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES: Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor</b>	
<b>Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova</b>	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1369	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1012	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	4,64	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP8

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA  TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO  CEDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2562/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 8	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 343 <b>Grau de Esferoidização:</b> 92,1%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <span>(100 x)</span> <span>(500 x)</span> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          C.C.SOL. 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2563/18

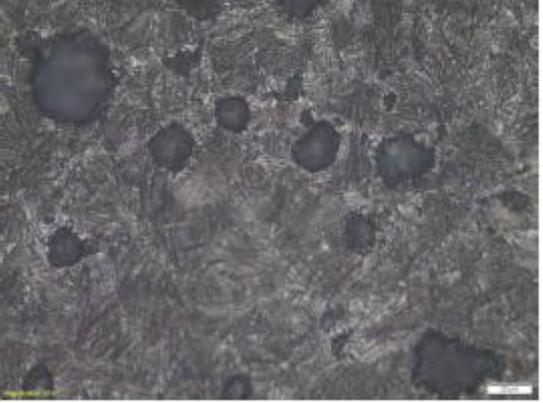
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 53 / Panela 4
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 8	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
OBSERVAÇÕES: Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1389	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	946,2	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	3,9	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP13

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - LIGANDEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2564/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 13	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 236 <b>Grau de Esferoidização:</b> 95,5%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · USINAGEM · FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2565/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 13	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1291	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	971,7	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	2,73	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	385,7	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input type="checkbox"/> Aprovado		<input checked="" type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP14

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO DESDE 1977	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2566/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 14	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 256 <b>Grau de Esferoidização:</b> 96%	
<b>Aumento:</b> 100 x / 500 x <b>Ataque:</b> Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO CECIS 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2567/18

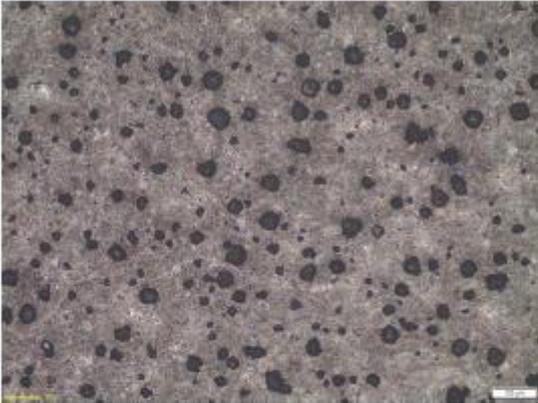
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 14	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1344	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1025	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	2,94	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	355,3	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP15

 <b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDIÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA      TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO      DESDE 1977</small>	<b>FUNDIÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2568/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 15	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
Descrição dos Resultados: Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>: 258</b> <b>Grau de Esferoidização: 96,5%</b>	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - LIGNAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2569/18

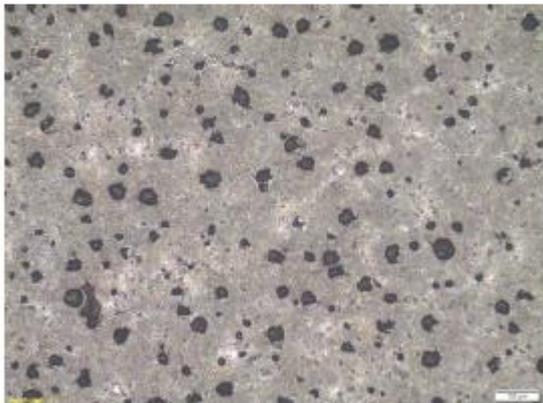
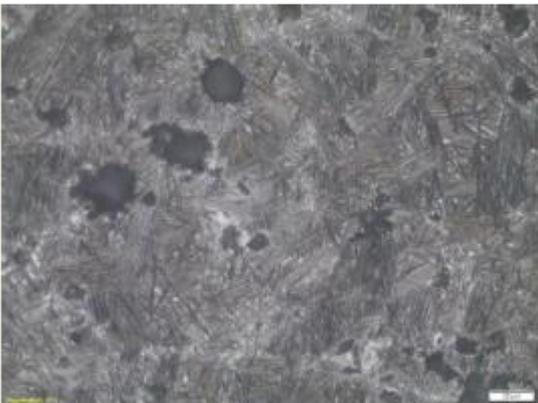
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 15	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1379	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	965,2	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	4,73	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	379,3	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input type="checkbox"/> Aprovado		<input checked="" type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP16

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - LIGANDEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TERMICO A INDUÇÃO DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º.: 2570/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 16	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 270 <b>Grau de Esferoidização:</b> 93,0%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
 	
(100 x)	(500 x)
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          CEECIE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2571/18

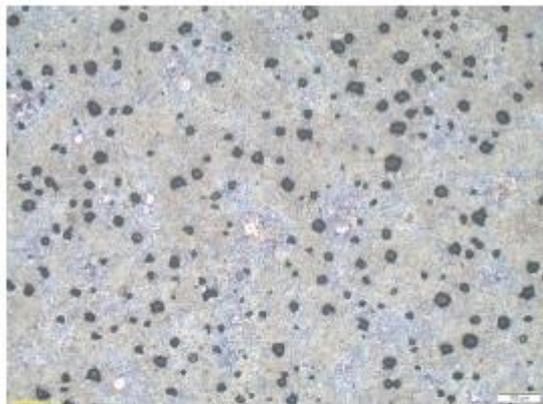
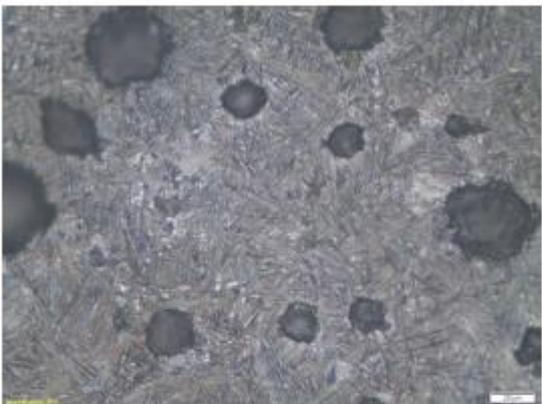
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 54 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 16	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1328	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	898,2	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	5,78	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	323	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP21

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA      TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO      DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2572/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 21	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240).	
<b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 249	
<b>Grau de Esferoidização:</b> 97,8%	
<b>Aumento:</b> 100 x / 500 x	
<b>Ataque:</b> Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · USINAGEM · FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>CECIS 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2573/18

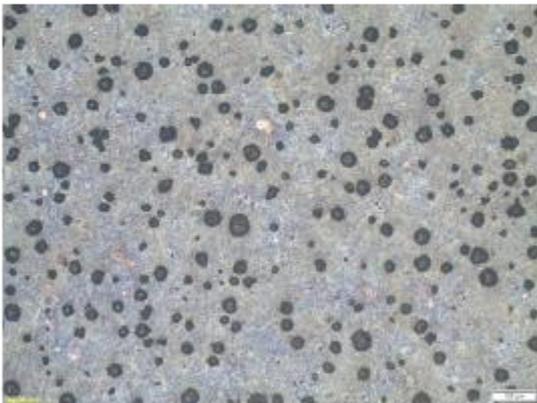
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 21	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1363	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1015	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	4,92	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<b>( x ) Aprovado</b>		<b>( ) Reprovado</b>		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP22

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · LUBRAGEM · FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>CELEBRE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2574/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 22	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 349 <b>Grau de Esferoidização:</b> 95,2%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <span>(100 x)</span> <span>(500 x)</span> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO · USINAGEM · FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412 / (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaios Mecânicos - N.º.: 2575/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 22	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1314	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	948	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	5,65	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	328	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP23

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA - TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412 / (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
--	---

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2576/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 23	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 320 <b>Grau de Esferoidização:</b> 94,5%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

SQB IT04.03.11.00.005A

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO</small> <small>CELEBRE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º.: 2577/18

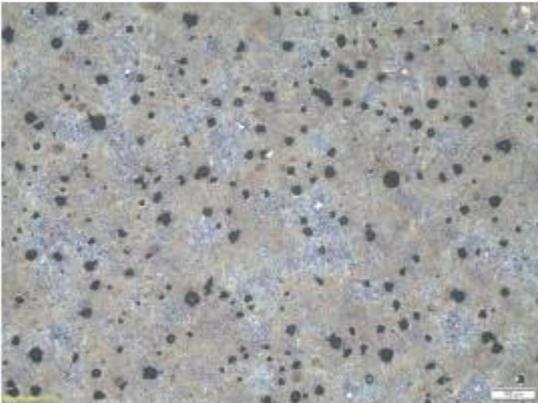
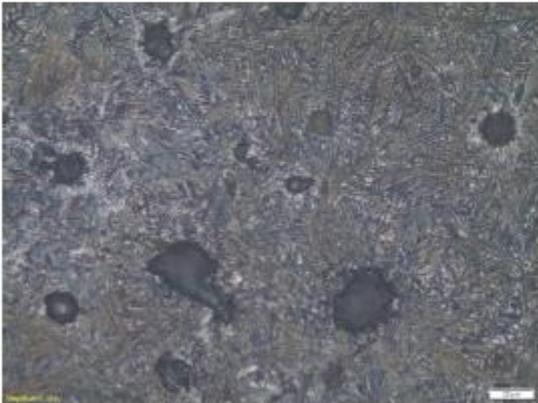
Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 23	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor	
Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1359	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1055	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	2,47	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		

CP24

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO CEDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br
---	--

### Resultado de Análise Metalográfica - N.º: 2578/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 24	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>Descrição dos Resultados:</b> Matriz: Ausferrítica livre de carbonetos, grafitas tipo I e II, tamanhos de 6 a 7 (ASTM A 240). <b>N.º de Esferóides p/mm<sup>2</sup>:</b> 254 <b>Grau de Esferoidização:</b> 93,0%	
Aumento: 100 x / 500 x	
Ataque: Nital 2%	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(100 x)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(500 x)</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado
Recebido em: 18/09/18	Realizado em: 24/09/18
Analista C.Q: Emerson Beato	Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira

 <b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> <small>FUNDAÇÃO - USINAGEM - FERRAMENTARIA          TRATAMENTO TÉRMICO A INDUÇÃO          DESDE 1977</small>	<b>FUNDAÇÃO BATATAIS</b> Rod. Cândido Portinari, Km 345,8 - Sítio Estiva - CEP 14.300-000 - Batatais - SP Fone: (16) 3662-6412/ (16) 3660-6400 - Fax: (16) 3660-6401 e-mail: fundicao@fundicaobatatais.com.br

### Resultado de Ensaio Mecânicos - N.º: 2579/18

Cliente: Projeto Mestrado	Corrida N.º: 57 / Panela 3
Descrição/Peça: Corpo de Prova - 24	Mês: Agosto
Referência/Peça: Corpo de Prova ADI	Data de Fabricação: 23/08/18
Material: ADI	Controle de Análise N.º: 074/18
Quantidade:	Nota Fiscal:
<b>OBSERVAÇÕES: Corpo de prova foi destruído pelo fornecedor</b>	
<b>Dureza Brinell realizada na peça. ND: Não Determinado C.P.: Corpo de Prova</b>	

Descrição				
TIPO DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS		
		Especificação	C.P.	PEÇA
Limite de Resistência a Tração	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1432	ND
Limite de Escoamento (LE)	Kgf/mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	Mpa	ND	1099	ND
Alongamento (A)	( % )	ND	3,84	ND
Estricção (Z)	( % )	ND	ND	ND
Dureza	Brinell	ND	373,1	ND
	Rockwell B	ND	ND	ND
	Rockwell C	ND	ND	ND
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado		<input type="checkbox"/> Reprovado		
Recebido em: 18/09/18		Realizado em: 24/09/18		
Analista C.Q: Emerson Beato		Visto C.Q: Leandro Aparecido Pereira		



CP2

## FUNDAÇÃO BATATAIS LTDA.

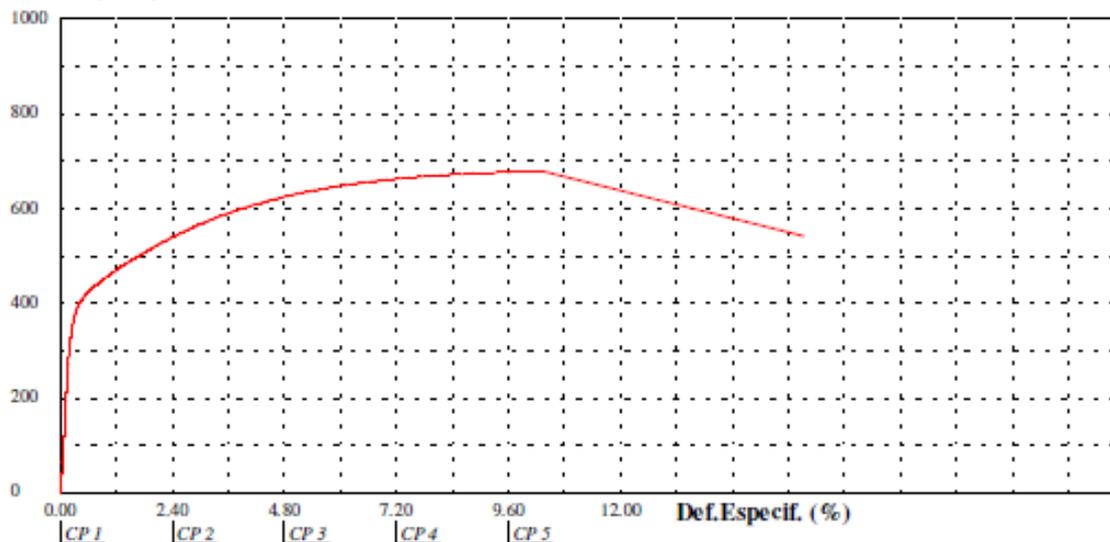
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **13:59:30** Trabalho nº **1518**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**  
 Ident. Amostra: >>>>>>> Material: **D5506** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C53 - Painel 4 - Cp.2 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estirção (%)
CP 1	9,00	25,00	678,39	404,0	10,30	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9,000	25,00	678,4	404,0	10,30	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9,000	25,00	678,4	404,0	10,30	*
Máximo	9,000	25,00	678,4	404,0	10,30	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

CP3

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

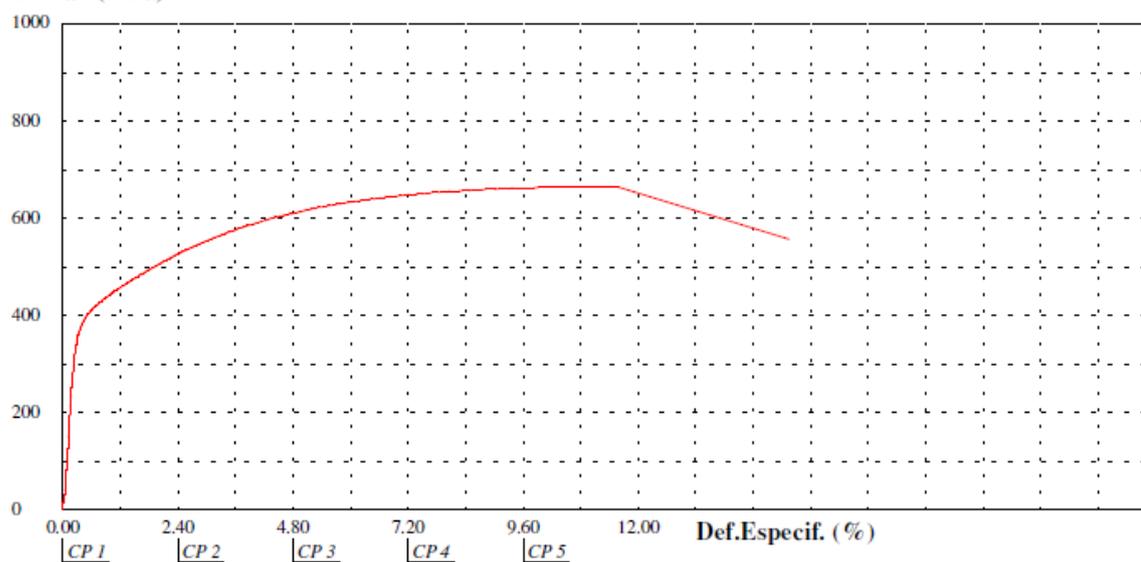
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 05/09/2018 Hora: 14:08:03 Trabalho n° **1519**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: FF NODULAR  
 Ident. Amostra: >>>> Material: D5506 Cliente: Projeto de mestrado ADI Identificação: C53 - Panela 4 - Cp. 3 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.10	25.00	665.30	395.4	11.52	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.100	25.00	665.3	395.4	11.52	*
Desv.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.100	25.00	665.3	395.4	11.52	*
Máximo	9.100	25.00	665.3	395.4	11.52	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP4

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

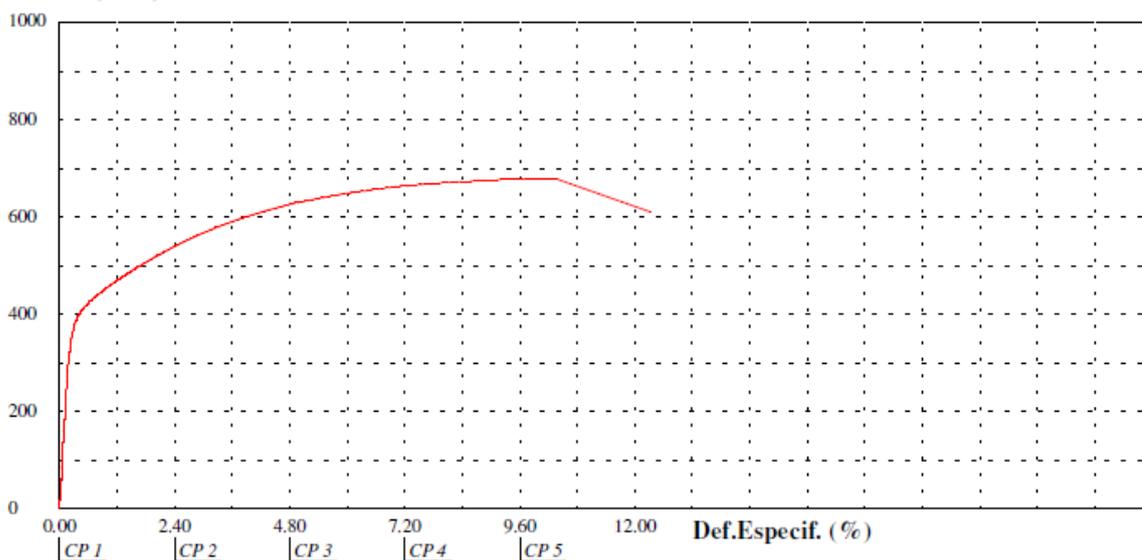
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 05/09/2018 Hora: 14:14:26 Trabalho n° **1520**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: FF NODULAR  
 Ident. Amostra: >>>>Material: D5506 Cliente: Projeto de mestrado ADI Identificação: C53 - panela 4 - Cp. 4 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	679.54	402.8	10.29	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	679.5	402.8	10.29	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	679.5	402.8	10.29	*
Máximo	9.000	25.00	679.5	402.8	10.29	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP9

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

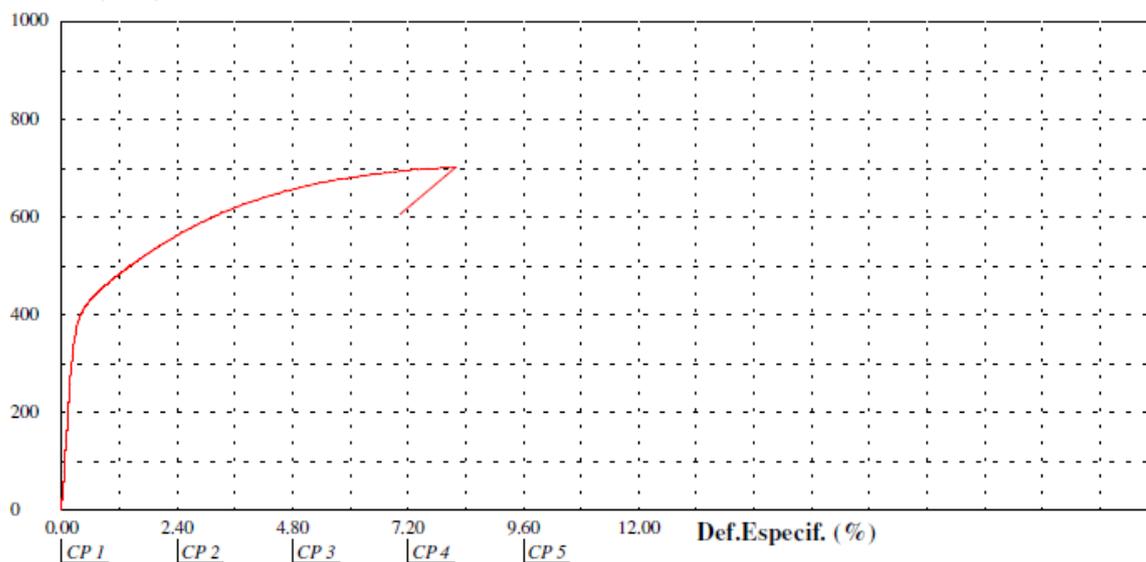
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **14:20:57** Trabalho n° **1521**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**  
 Ident. Amostra: >>>>Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - Cp. 9 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	703.10	414.7	8.14	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	703.1	414.7	8.143	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	703.1	414.7	8.143	*
Máximo	9.000	25.00	703.1	414.7	8.143	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

CP10

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

Departamento Metalúrgico

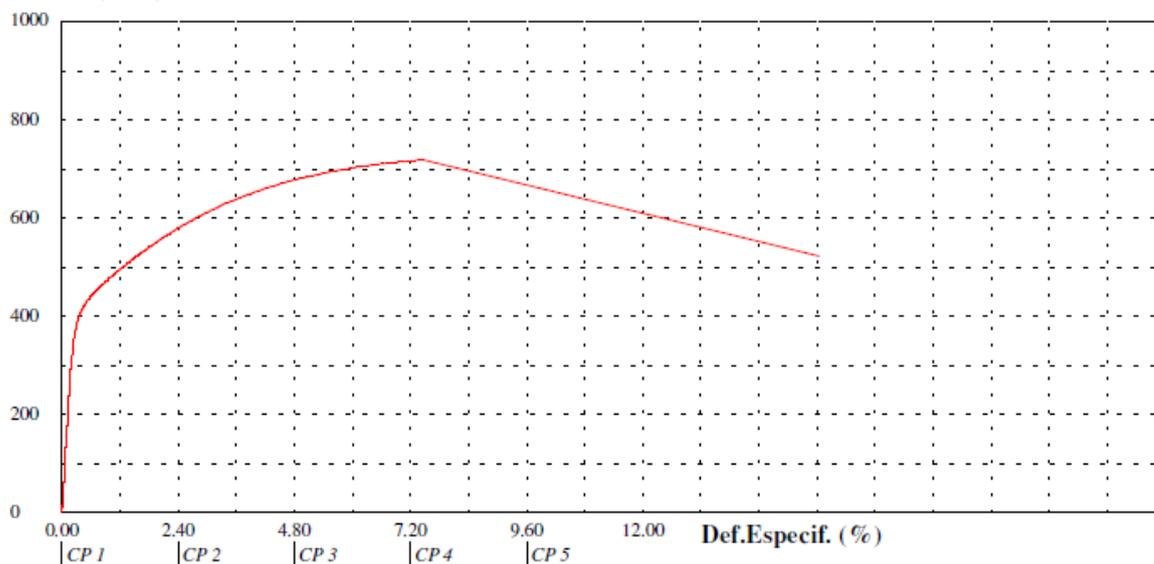
### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **14:29:07** Trabalho n° **1522**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**

Ident. Amostra: >>> Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - Cp. 10 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.20	25.00	719.27	418.4	7.42	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.200	25.00	719.3	418.4	7.417	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.200	25.00	719.3	418.4	7.417	*
Máximo	9.200	25.00	719.3	418.4	7.417	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

CP11

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

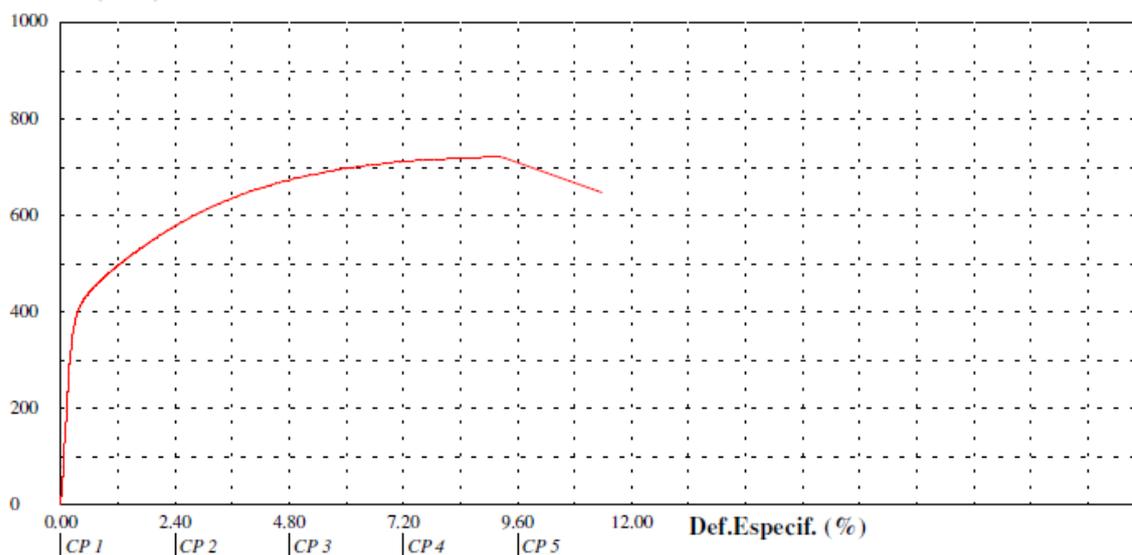
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **14:40:25** Trabalho n° **1524**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**  
 Ident. Amostra: >>>>Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - Cp.11 - 23/0818**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	721.64	420.5	9.25	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	721.6	420.5	9.250	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	721.6	420.5	9.250	*
Máximo	9.000	25.00	721.6	420.5	9.250	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

CP12

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

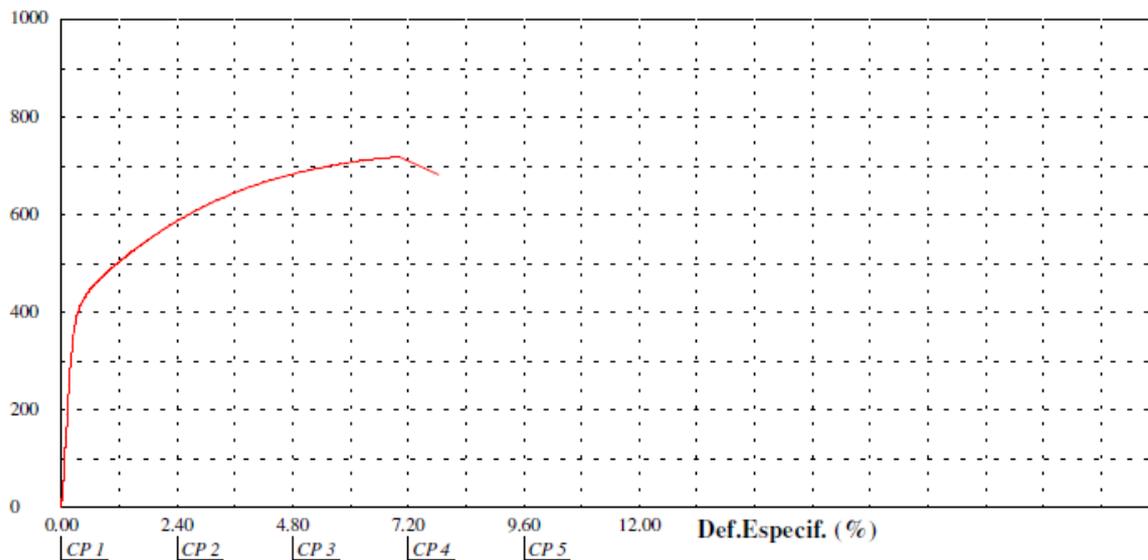
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **14:47:39** Trabalho n° **1525**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**  
 Ident. Amostra: >>>> Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - Cp.12 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	719.97	427.6	6.98	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	720.0	427.6	6.979	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	720.0	427.6	6.979	*
Máximo	9.000	25.00	720.0	427.6	6.979	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP17

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **15:02:52** Trabalho n° **1527**

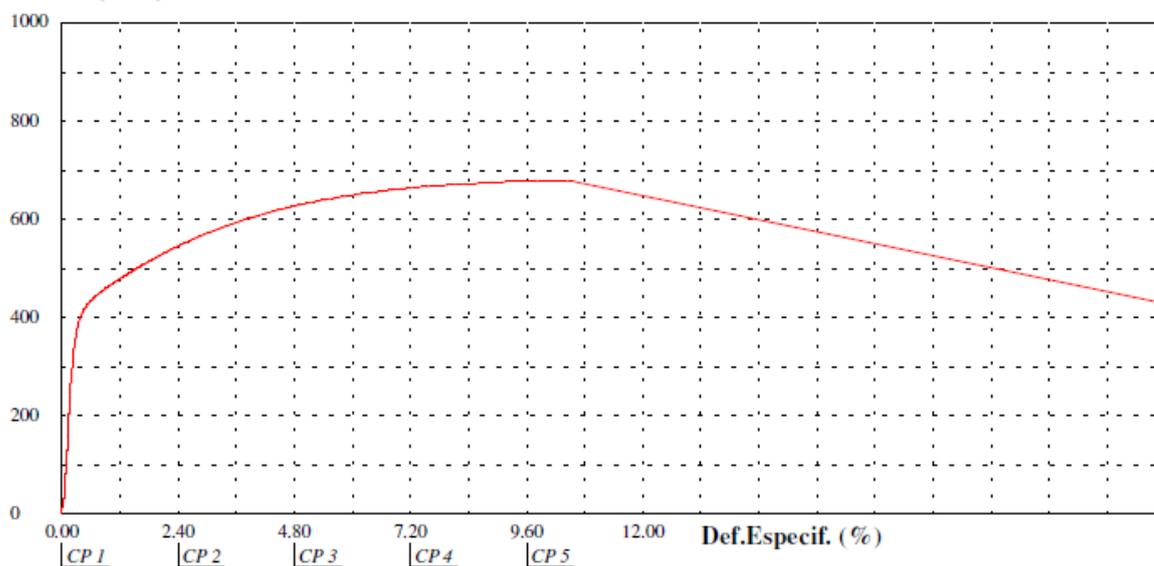
Programa: **Tesc versão 1.10**

Método de Ensaio: **FF NODULAR**

Ident. Amostra: >>> Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C57 - panela 3 - Cp. 17 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	<b>9.00</b>	<b>25.00</b>	<b>679.01</b>	<b>417.0</b>	<b>10.50</b>	
Número CPs	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Média	<b>9.000</b>	<b>25.000</b>	<b>679.0</b>	<b>417.0</b>	<b>10.50</b>	*
Desv.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	<b>9.000</b>	<b>25.000</b>	<b>679.0</b>	<b>417.0</b>	<b>10.50</b>	*
Máximo	<b>9.000</b>	<b>25.000</b>	<b>679.0</b>	<b>417.0</b>	<b>10.50</b>	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

CP18

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

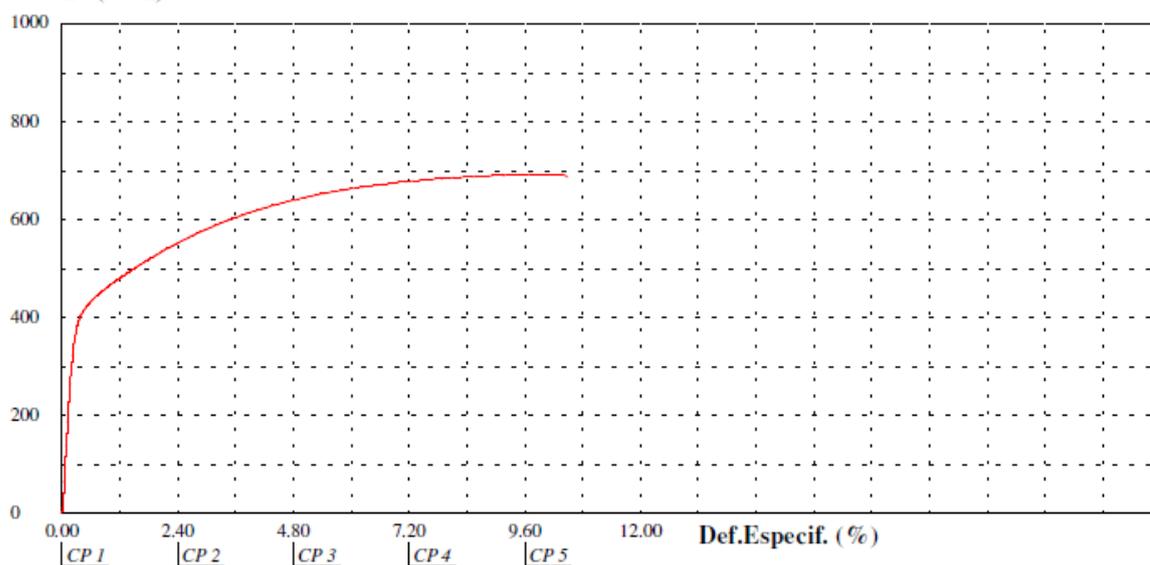
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 05/09/2018 Hora: 15:20:32 Trabalho n° 1530  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: FF NODULAR  
 Ident. Amostra: >>>> Material: D5506 Cliente: Projeto de mestrado ADI Identificação: C57 - panela 3 - Cp.18 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	693.89	413.6	10.39	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	693.9	413.6	10.39	*
Desv.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	693.9	413.6	10.39	*
Máximo	9.000	25.00	693.9	413.6	10.39	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP19

## FUNDAÇÃO BATATAIS LTDA.

Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 05/09/2018 Hora: 15:31:35 Trabalho nº **1532**

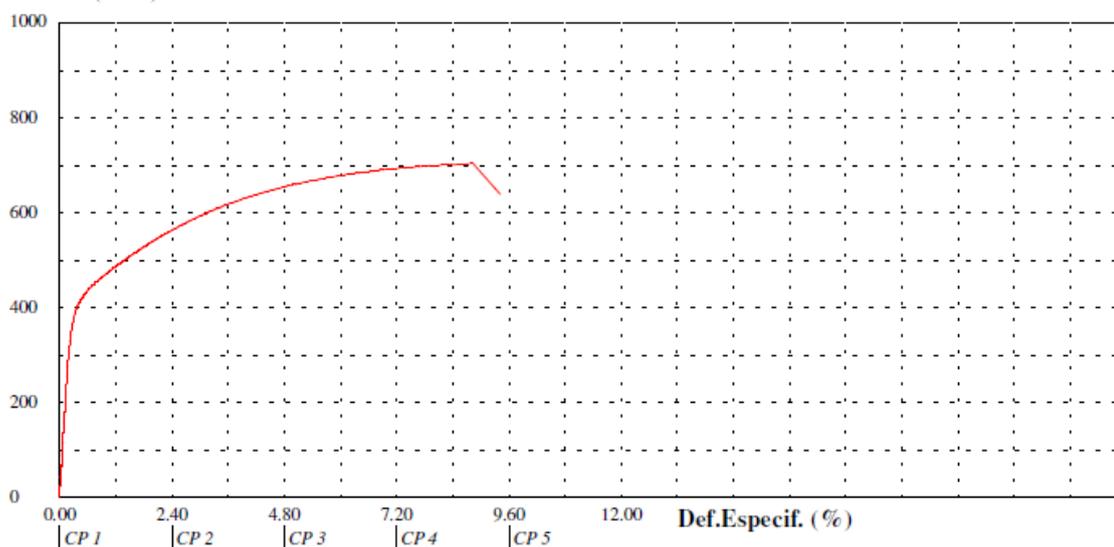
Programa: Tesc versão 1.10

Método de Ensaio: FF NODULAR

Ident. Amostra: >>>> Material: D5506 Cliente: Projeto de mestrado ADI Identificação: C57 - panela 3 - Cp.19 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	704.57	417.4	8.77	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	704.6	417.4	8.771	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	704.6	417.4	8.771	*
Máximo	9.000	25.00	704.6	417.4	8.771	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP20

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

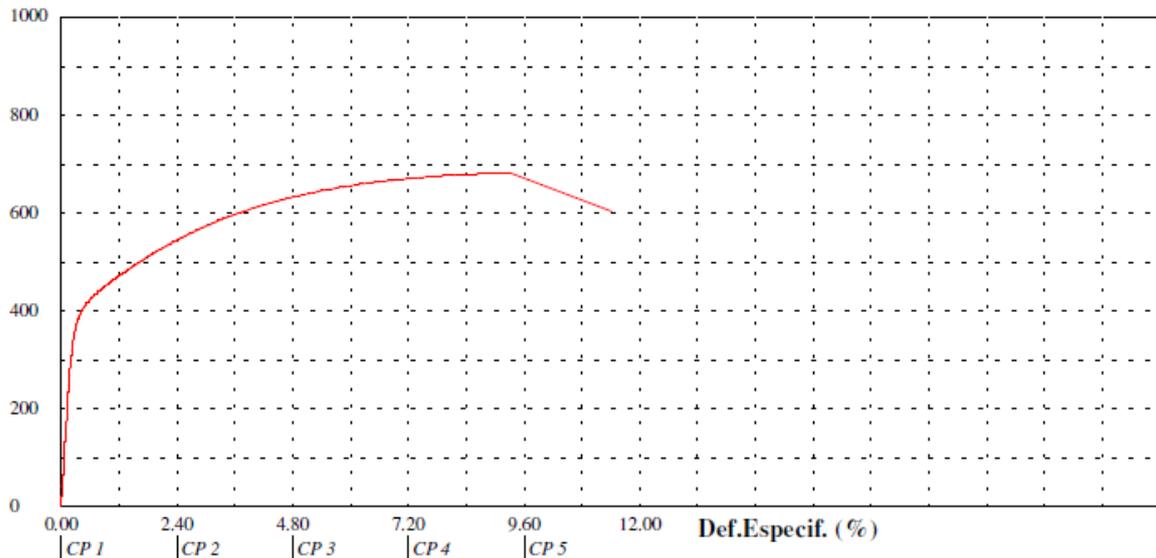
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **05/09/2018** Hora: **15:39:13** Trabalho nº **1533**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **FF NODULAR**  
 Ident. Amostra: >>>> Material: **D5506** Cliente: **Projeto de mestrado ADI** Identificação: **C57 - panela 3 - Cp.20 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	683.10	404.5	9.24	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	683.1	404.5	9.242	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	683.1	404.5	9.242	*
Máximo	9.000	25.00	683.1	404.5	9.242	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: **Leandro Aparecido Pereira**

## ANEXO 10 – RELATÓRIOS DE ENSAIO DE TRAÇÃO – COM TRATAMENTO TÉRMICO

CP5

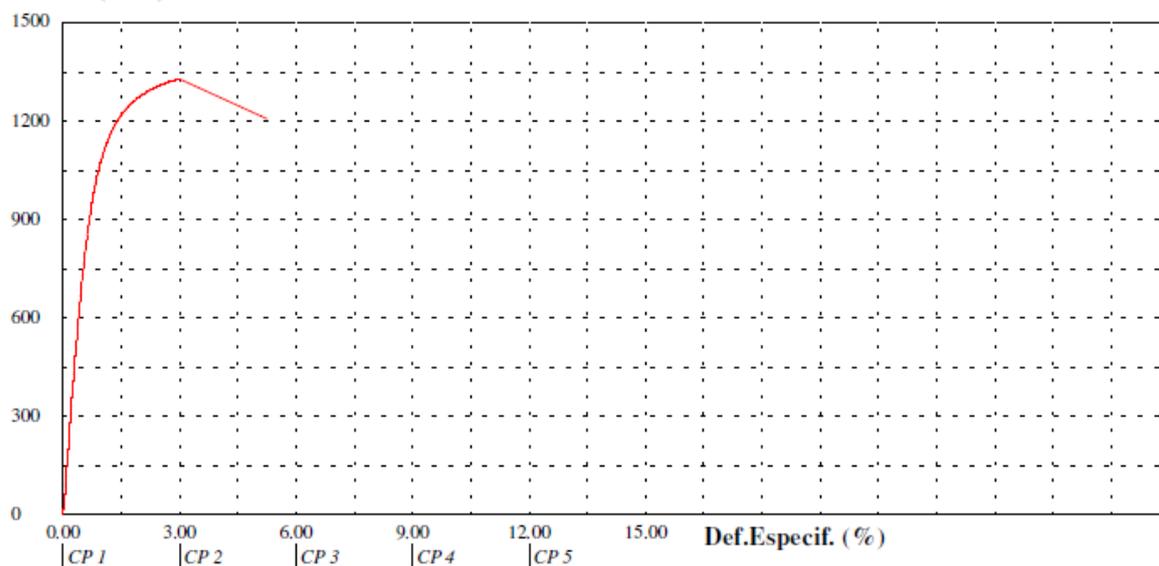
### FUNDAÇÃO BATATAIS LTDA. Departamento Metalúrgico

#### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 08:03:23 Trabalho n° **1536**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: ADI  
 Ident. Amostra: >>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto de mestrado ADI Identificação: C53 - panela 4 - Cp.5 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.20	25.00	1329.70	1022.0	3.01	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.200	25.00	1330	1022	3.008	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.200	25.00	1330	1022	3.008	*
Máximo	9.200	25.00	1330	1022	3.008	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Leandro Aparecido Pereira

CP6

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

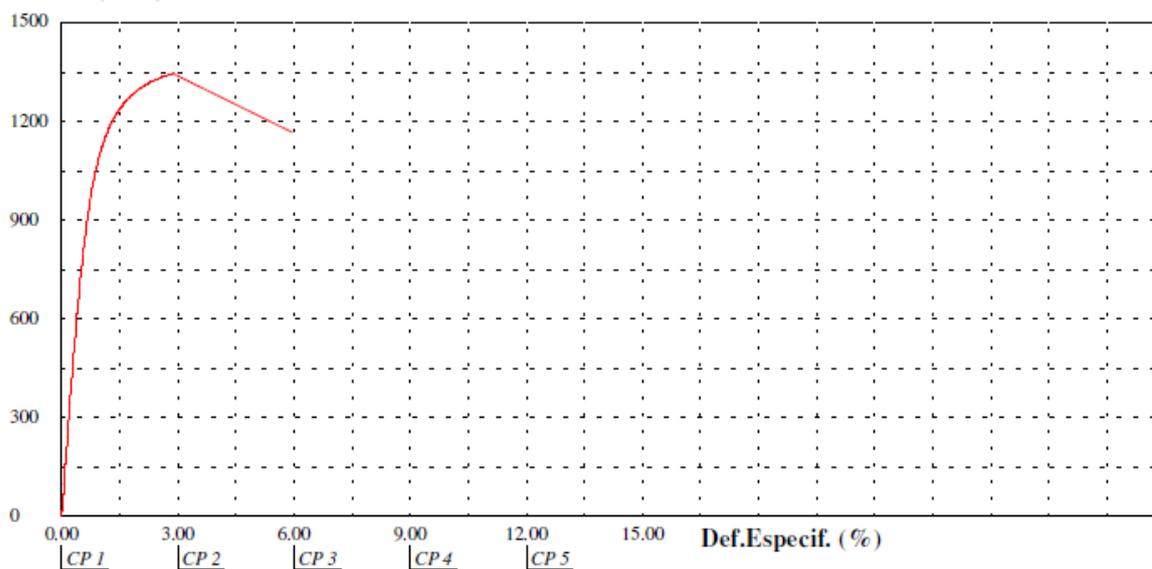
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **08:14:14** Trabalho n° **1538**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C53 - panela 4 - cp.6 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	8.80	25.00	1346.07	1010.3	2.86	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	8.800	25.00	1346	1010	2.865	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	8.800	25.00	1346	1010	2.865	*
Máximo	8.800	25.00	1346	1010	2.865	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP7

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

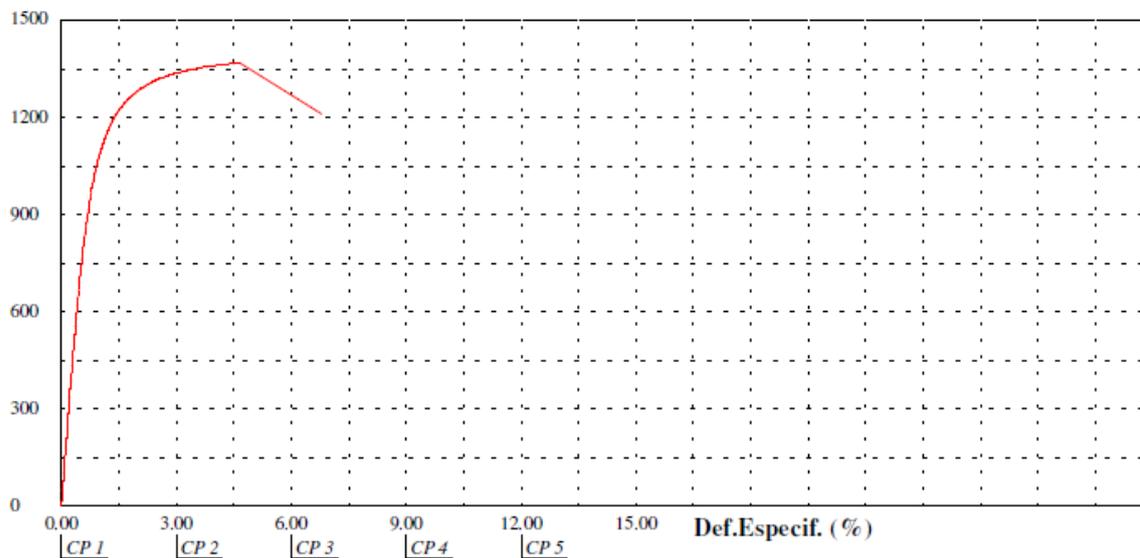
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **08:25:53** Trabalho nº **1539**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C53 - panela 4 - cp.7 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.10	25.00	1369.22	1011.9	4.64	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.100	25.00	1369	1012	4.643	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.100	25.00	1369	1012	4.643	*
Máximo	9.100	25.00	1369	1012	4.643	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP8

## FUNDAÇÃO BATATAIS LTDA.

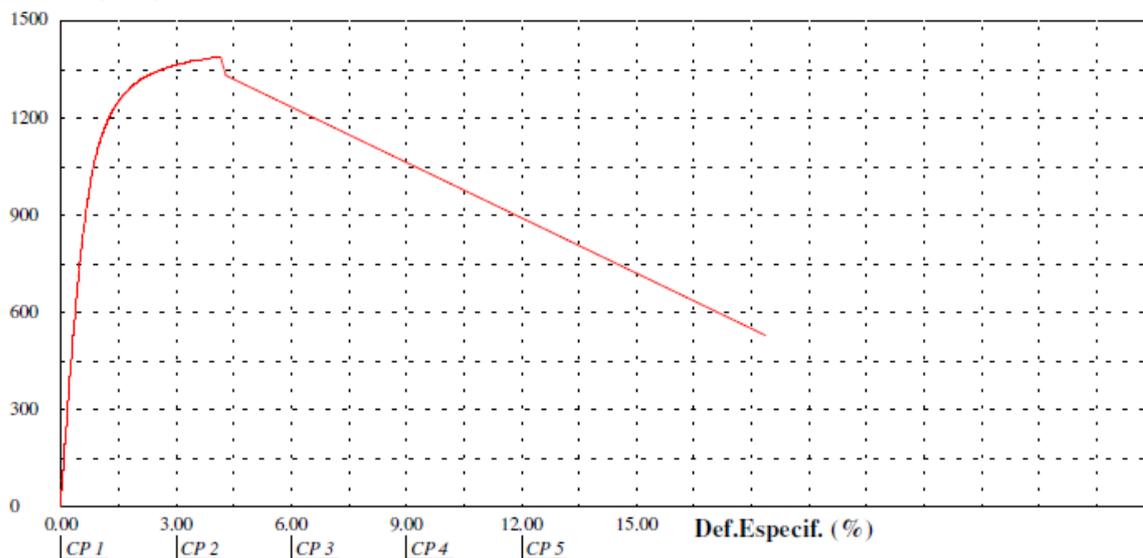
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 08:35:07 Trabalho n° **1540**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: ADI  
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto mestrado ADI Identificação: C53 - panela 4 - cp.8 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.20	25.00	1389.23	946.2	0.00	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.200	25.00	1389	946.2	0.003772	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.200	25.00	1389	946.2	0.003772	*
Máximo	9.200	25.00	1389	946.2	0.003772	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP13

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

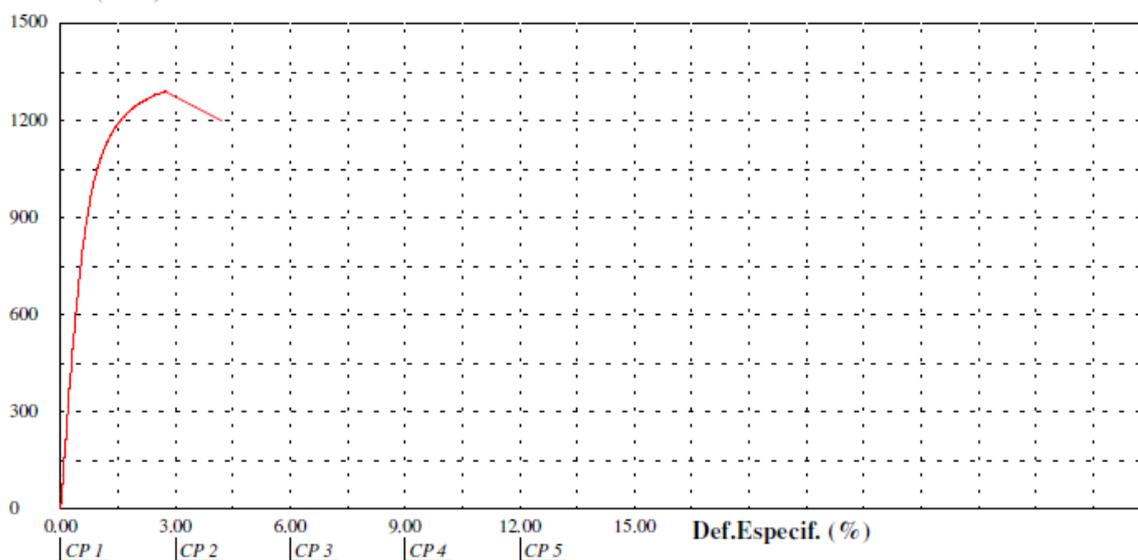
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **08:46:00** Trabalho n° **1541**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - cp.13 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	8.90	25.00	1290.50	971.7	2.73	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	8.900	25.00	1291	971.7	2.729	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	8.900	25.00	1291	971.7	2.729	*
Máximo	8.900	25.00	1291	971.7	2.729	*

**Tensão (MPa)**



Observação: Analista: Emerson Beato

CP14

**FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.**

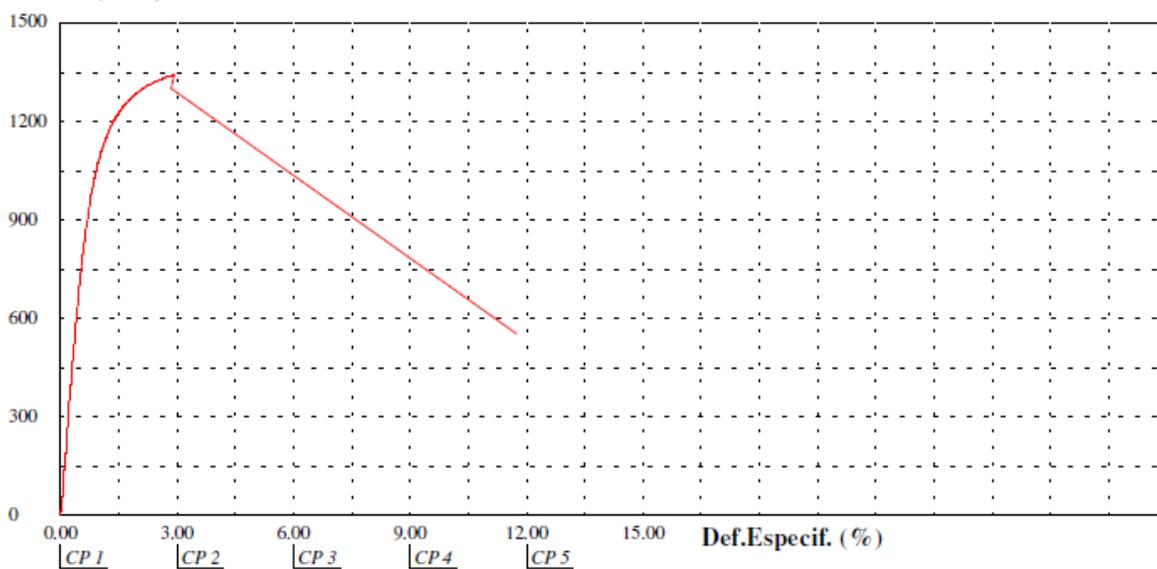
Departamento Metalúrgico

## Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 08:51:17 Trabalho n° **1542**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: ADI  
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto mestrado ADI Identificação: C54 - panela 3 - cp.14 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.10	25.00	1344.02	1024.9	2.94	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.100	25.00	1344	1025	2.944	*
Desv.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.100	25.00	1344	1025	2.944	*
Máximo	9.100	25.00	1344	1025	2.944	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP15

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 09:02:58 Trabalho n° **1543**

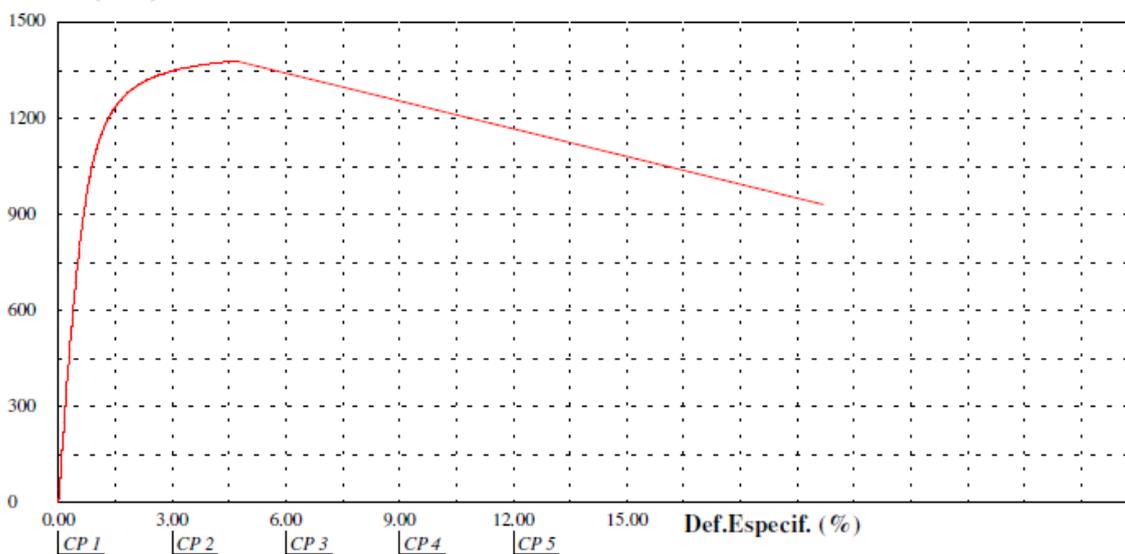
Programa: Tesc versão 1.10

Método de Ensaio: ADI

Ident. Amostra: >>>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto mestrado ADI Identificação: C54 - panela 3 - cp.15 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estrição (%)
CP 1	8,90	25,00	1379,29	965,2	4,73	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	8,900	25,00	1379	965,2	4,730	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	8,900	25,00	1379	965,2	4,730	*
Máximo	8,900	25,00	1379	965,2	4,730	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP16

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

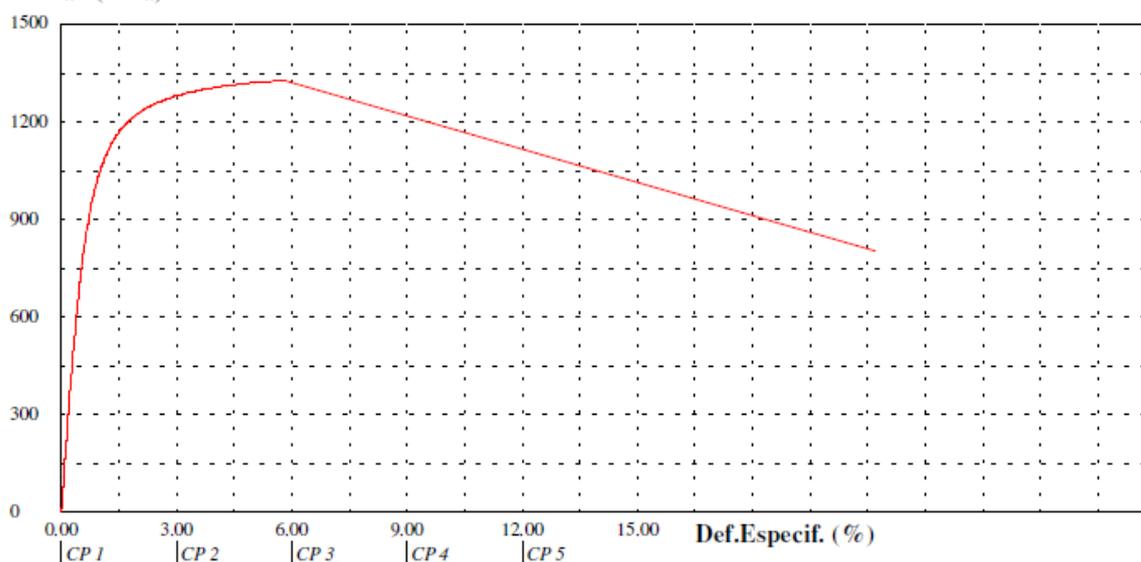
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **09:10:00** Trabalho n° **1544**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C54 - panela 3 - cp.16 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.10	25.00	1328.14	898.2	5.78	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.100	25.00	1328	898.2	5.780	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.100	25.00	1328	898.2	5.780	*
Máximo	9.100	25.00	1328	898.2	5.780	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP21

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

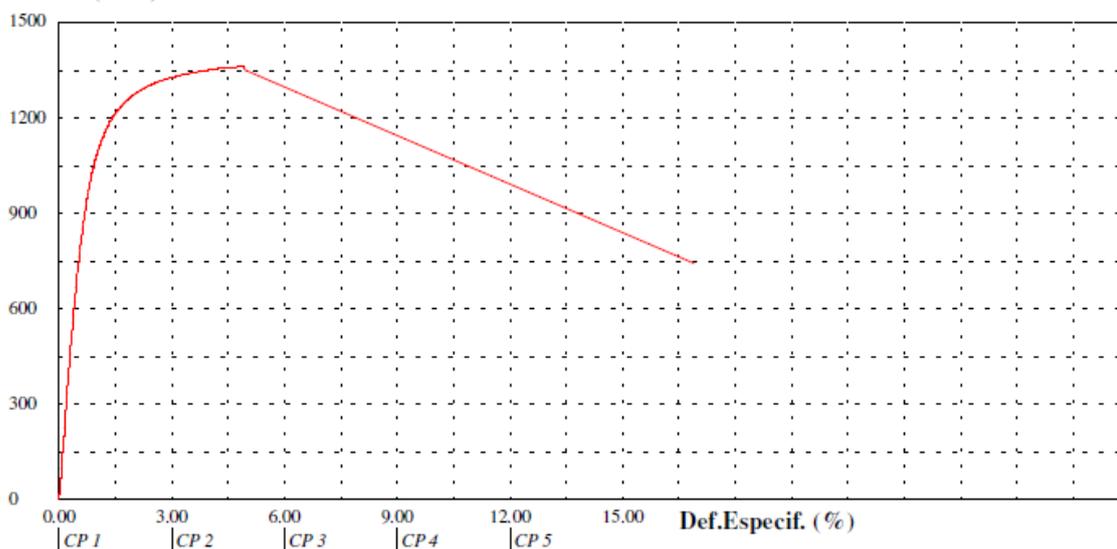
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **09:44:01** Trabalho n° **1546**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C57 - panela 3 - cp.21 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	8.90	25.00	1363.12	1015.2	4.92	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	8.900	25.00	1363	1015	4.920	*
Desv.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	8.900	25.00	1363	1015	4.920	*
Máximo	8.900	25.00	1363	1015	4.920	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP22

## FUNDAÇÃO BATATAIS LTDA.

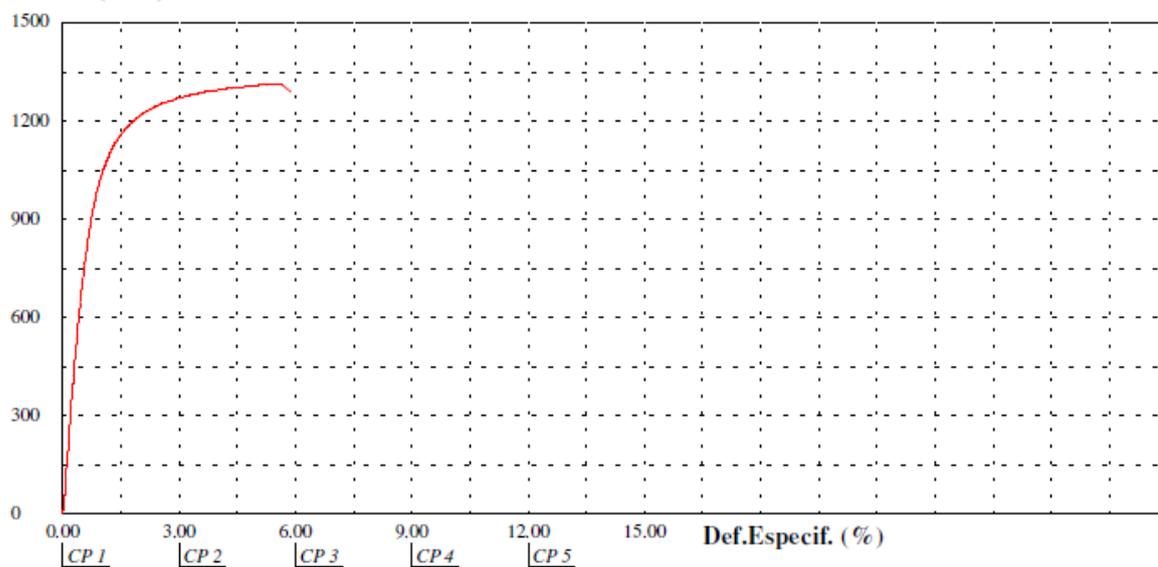
### Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 09:48:58 Trabalho n° **1547**  
 Programa: Tesc versão 1.10 Método de Ensaio: ADI  
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto mestrado ADI Identificação: C57 - panela 3 - cp.22 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	1313.93	948.0	5.65	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	1314	948.0	5.654	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	1314	948.0	5.654	*
Máximo	9.000	25.00	1314	948.0	5.654	*

Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP23

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 12 Extensômetro: Trd 1 Data: 22/09/2018 Hora: 09:56:21 Trabalho n° **1548**

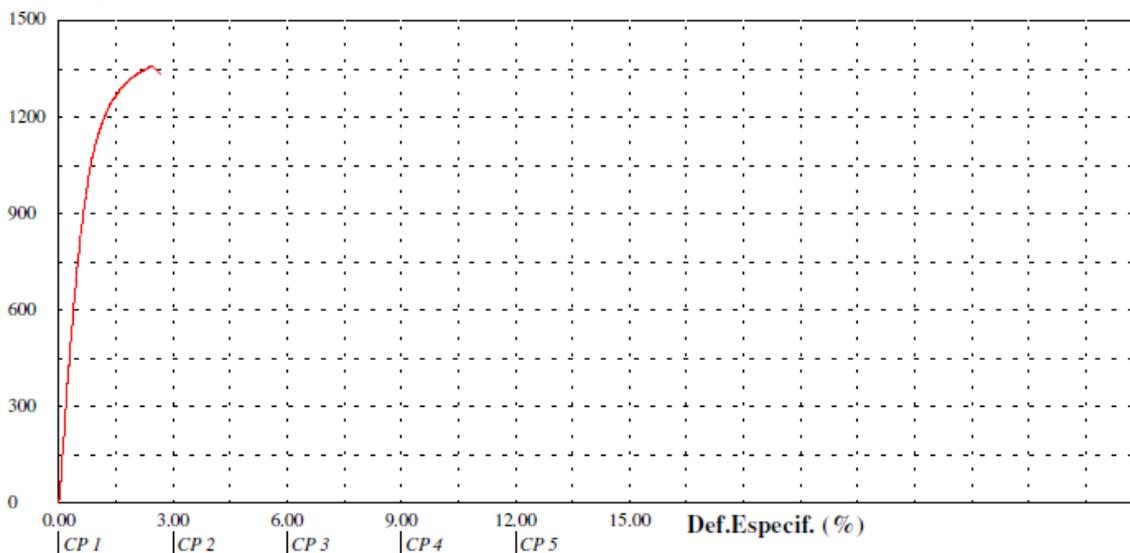
Programa: Tesc versão 1.10

Método de Ensaio: ADI

Ident. Amostra: >>>>>>>> Material: ADI Cliente: Projeto mestrado ADI Identificação: C57 - panela 3 - cp.23 - 23/08/18

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Tensão Esc. Conv. 0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9.00	25.00	1359.39	1054.6	2.47	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9.000	25.00	1359	1055	2.474	*
Desv. Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9.000	25.00	1359	1055	2.474	*
Máximo	9.000	25.00	1359	1055	2.474	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato

CP24

## FUNDIÇÃO BATATAIS LTDA.

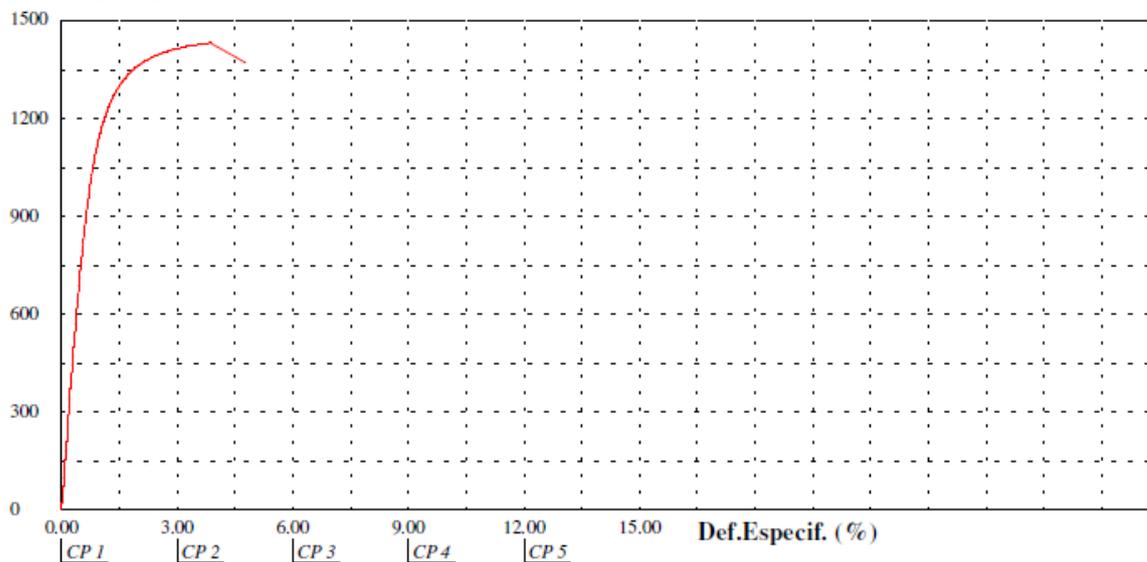
Departamento Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 1** Data: **22/09/2018** Hora: **09:59:28** Trabalho n° **1549**  
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **ADI**  
 Ident. Amostra: >>>>>>> Material: **ADI** Cliente: **Projeto mestrado ADI** Identificação: **C57 - panela 3 - cp.24 - 23/08/18**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Resistência à Tração (MPa)	TensãoEsc. Conv.0.2% (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
CP 1	9,00	25,00	1432,18	1098,6	3,84	
Número CPs	1	1	1	1	1	0
Média	9,000	25,00	1432	1099	3,843	*
Dev.Padrão	*	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*	*
Mínimo	9,000	25,00	1432	1099	3,843	*
Máximo	9,000	25,00	1432	1099	3,843	*

#### Tensão (MPa)



Observação: Analista: Emerson Beato