

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Adonis Pellin

ESTUDO DO PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO POR
SOLDAGEM DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM DO AÇO
VF800AT

Passo Fundo
2018

Adonis Pellin

**ESTUDO DO PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO POR
SOLDAGEM DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM DO AÇO
VF800AT**

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2018

Adonis Pellin

**ESTUDO DO PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO POR
SOLDAGEM DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM DO AÇO
VF800AT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 09 de julho de 2018.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Orientador

Professor Doutor José Antonio Portella
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Gil Eduardo Guimarães
Universidade de Cruz Alta

Professor Doutor Valdir Bolico Araújo
Universidade Federal de Santa Maria

*Dedico este trabalho a minha esposa Sara
Cristina Lopes Pellin e minha filha Manuela
Lopes Pellin.*

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Sara e minha filha Manuela, pela compreensão durante estes dois anos de mestrado, quando muitas vezes precisamos abrir mão do nosso tempo juntos.

Ao professor orientador Doutor Charles Leonardo Israel pelo conhecimento compartilhado e pelos conselhos que foram fundamentais para que eu pudesse ter sucesso nesta caminhada.

À empresa GERTEC, por conceder o tempo necessário para as aulas e o auxílio nas despesas, como também os materiais e mão-de-obra para a soldagem dos corpos de prova.

À empresa Joscil – Equipamentos para Cereais Ltda., por conceder o ambiente fabril para realizar o ensaio de desempenho.

Aos colegas de Mestrado Herbert Tunnermann e Tiago Alexandre Führ pelo apoio durante o mestrado.

A toda a equipe dos laboratórios da Universidade de Passo Fundo, pelo auxílio na execução dos ensaios, em especial Emerson Braz Ribeiro, Cassiane dos Santos Rosa Nunes e Luiz Eduardo da Silva.

Ao Professor José Antonio Portella pelo auxílio na realização da análise estatística.

A educação é o único caminho para emancipar o homem. Desenvolvimento sem educação é a criação de riquezas apenas para alguns privilegiados.

Leonel de Moura Brizola.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um procedimento para recuperar componentes de ferramentas de estampagem por soldagem com o processo GMAW – MAG fabricadas em aço VF800AT e avaliado o desempenho na indústria, comparado entre punções novos e recuperados por solda. Na soldagem dos corpos de prova e punções o arame utilizado para a deposição da liga martensítica é classificado pela norma DIN 8555 como MF6-GF-60-GP, com diâmetro nominal de 1,2 mm. Os corpos de prova foram processados nas seguintes condições: condição 1 (temperatura de preaquecimento de 450 °C), condição 2 (temperatura de preaquecimento de 500 °C) e condição 3 (temperatura de preaquecimento 550 °C), todas com um revenimento e condição 4 (temperatura de preaquecimento 450 °C) com dois revenimentos. A qualidade das soldas foram determinadas por ensaios não destrutivos, macrografia, micrografia e microdureza Vickers HV 0,1 kgf. Os resultados dos ensaios não destrutivos foram aprovados para todas as condições. As macrografias mostram a extensão da ZAC e evidenciam uma trinca de cratera para os corpos de prova da condição 4. As micrografias mostram as microestruturas formadas nas regiões da solda e os perfis de microdureza comprovam que o metal de solda das condições 1, 2 e 3 atendem os valores especificados pelo fornecedor do consumível. Para a ZAC, as condições 1 e 2, atendem os valores especificados para o material de base temperado e revenido, já para a condição 3 o resultado encontra-se acima do valor especificado e para o material de base os valores não atendem os especificados. Os valores para a condição 4, o metal de solda ZAC e material de base não atendem o especificado, mas a dureza do material de base é igual às condições 1, 2 e 3. O ensaio de desempenho na indústria com punções reparados por solda demonstrou-se satisfatório, sendo o raio da aresta de corte Δr 4,8% e o desvio máximo R_z 5,5% maiores que os valores encontrados para os punções novos, comprovando que os punções reparados por solda tem o mesmo desempenho que os punções novos. Verificou-se que a principal conclusão desta pesquisa é que a condição 1 apresentou os melhores resultados, sendo a mais adequada para recuperar componentes de ferramentas de estampagem fabricadas em aço VF800AT por soldagem, seguida das condições 2 e 3.

Palavras-chave: Soldagem de Revestimento. Aço para Trabalho a Frio VF800AT. Ensaio de Desempenho. Temperatura de Preaquecimento. Revenimento.

ABSTRACT

In this work a procedure was developed to recover components of welding stamping tools with the GMAW - MAG process made of VF800AT steel and evaluated the performance in the industry, compared between new punches and recovered by welding. In welding of specimens and punches, the wire used for the deposition of the martensitic alloy is classified by DIN 8555 as MF6-GF-60-GP, with a nominal diameter of 1.2 mm. The specimens were processed under the following conditions: condition 1 (preheating temperature 450 °C), condition 2 (preheating temperature 500 °C) and condition 3 (preheating temperature 550 °C), all with a tempering and condition 4 (preheat temperature 450 °C) with two tempering. The quality of the welds was determined by non-destructive tests, macrography, micrography and microhardness Vickers HV 0.1 kgf. The results of non-destructive tests were approved for all conditions. The micrographs show the microstructures formed in the regions of the weld and the microhardness profiles show that the solder metal of conditions 1, 2 and 3 the values specified by the consumable supplier. For ZAC, conditions 1 and 2 meet the values specified for tempered and tempered base material, and for condition 3 the result is above the specified value and for the base material the values do not meet those specified. The values for condition 4, the solder metal ZAC and base material do not meet the specifications, but the hardness of the base material is equal to conditions 1, 2 and 3. The performance test in the industry with weld repaired punches was satisfactory, with the cutting edge radius Δr 4.8% and the maximum deviation Rz 5.5% higher than the values found for the new punches, proving that the punches repaired by welding have the same performance as new punches. It was verified that the main conclusion of this research is that condition 1 presented the best results, being the most suitable to recover components of stamping tools made of VF800AT steel by welding, followed by conditions 2 and 3.

Keywords: Welding Coating. Cold Working Steel VF800AT. Performance Test. Pre Heating Temperature. Tempering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - O mercado para a produção de peças metálicas em várias indústrias na Alemanha em bilhões de US \$	18
Figura 2 - Microestrutura do aço VF800AT, resultante do tratamento térmico, aumento 350x, ataque Villela, por 10s	24
Figura 3 - Curva de revenimento	27
Figura 4 - Tensão de ruptura em flexão do aço VF800AT	27
Figura 5 - Princípio do processo GMAW	30
Figura 6 - Modos de transferência	31
Figura 7 - Zonas de uma solda com passe único	32
Figura 8 - Regiões da ZAC e respectivas temperaturas	33
Figura 9 - Macrografia de uma solda de reparo em corpos de prova temperados e revenidos	34
Figura 10 - Perfil de dureza (HV) através da solda de reparo em corpos de prova temperados e revenidos	34
Figura 11 - Macrografia de uma solda de um aço ferramenta temperado e revenido.....	35
Figura 12 - Microestrutura da solda no metal de base das interfaces / ZAC e ZAC - parte quente / solda	35
Figura 13 - Microestrutura das interfaces da ZAC - parte quente / solda	36
Figura 14 - Microestrutura da a) seção transversal do revestimento depositado e b) a região central do revestimento depositado	36
Figura 15 - Micrografia mostrando a variação da microestrutura do revestimento Stellite da superfície para a interface A - C	37
Figura 16 - Caracterização da microgeometria de um inserto	40
Figura 17 - Fluxograma do planejamento para a realização da soldagem e dos ensaios	41
Figura 18- Material de base do corpo de prova \varnothing 31,7 mm por 23,0 mm de comprimento.	43
Figura 19 - Punção 11 mm e matriz \varnothing 11 ^{+0,4} mm	43
Figura 20 - Configuração para isolar termicamente os corpos de prova e punções	45
Figura 21 - Configuração dos corpos de prova soldados;	47
Figura 22 - Gráfico do revenimento para as condições 1, 2 e 3	49
Figura 23 - Gráfico do duplo revenimento para a condição 4	50

Figura 24 - Plano de corte e retirada das amostras	51
Figura 25 - Configuração para medir o perfil de dureza	52
Figura 26 - Conjunto punção e matriz	53
Figura 27 - Plano de estampagem	53
Figura 28 - Configuração da estampagem	54
Figura 29 - Configuração do desgaste do punção	55
Figura 30 - Local das medições do raio da aresta de corte.....	55
Figura 31 - Local das medições da rugosidade.....	56
Figura 32 - Deposição do metal de solda nos punções	57
Figura 33 - Micrografia do material de base (ataque Villela's, aumento 200X)	60
Figura 34 - Micrografia do material de base (ataque Villela's, aumento 1000X)	60
Figura 35 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 1.1 e 1.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)	62
Figura 36 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 2.1 e 2.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)	62
Figura 37 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 3.1 e 3.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)	63
Figura 38 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 4.1 e 4.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)	63
Figura 39 - Micrografia do metal de solda da condição 3 do corpo de prova 3.2. (ataque Villela's, aumento 200X)	64
Figura 40 - Micrografia da zona de ligação entre o metal solda e ZAC da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Villela's, aumento 500X)	65
Figura 41 - Micrografia do material de base na ZAC-GF da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Villela's, aumento 500X)	65
Figura 42 - Micrografia do material de base na ZAC-IC da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Villela's, aumento 500X)	66
Figura 43 - Micrografia do material de base da condição 2 do corpo de prova 2.1 (ataque Villela's)	67
Figura 44 - Micrografia do metal de solda da condição 4 do corpo de prova 4.2. (ataque Villela's, aumento 200X)	67
Figura 45 - Micrografia do metal de solda e ZAC da condição 4 do corpo de prova 4.2 (ataque Villela's).....	68

Figura 46 - Perfil de microdureza da solda da condição 1 do corpo de prova 1.1	69
Figura 47 - Perfil de microdureza da solda da condição 2 do corpo de prova 2.1	69
Figura 48 - Perfil de microdureza da solda da condição 3 do corpo de prova 3.1	70
Figura 49 - Perfil de microdureza da solda da condição 4 do corpo de prova 4.1	70
Figura 50 - Raio da aresta de corte dos punções novos e reparados por solda	75
Figura 51 - Rugosidade do desvio máximo R_z dos punções novos e reparados por solda .	76
Figura 52 - Aspecto superficial da região desgastada dos punções novos (aumento 1400X).....	77
Figura 53 - Aspecto superficial da região desgastada dos punções reparados por solda (aumento 1400X)	77
Figura 54 - Local da análise química do punção 1 novo	78
Figura 55 - Espectro (EDS) da composição química do punção 1 novo	78
Figura 56 - Local da análise química do punção 3 reparado	79
Figura 57 - Espectro (EDS) da composição química do punção 3 reparado	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do VF800AT	23
Tabela 2 - Resumo dos ensaios realizados	42
Tabela 3 - Composição química do arame Tube-Alloy 260-G	46
Tabela 4 - Resumo das condições de estudo e variáveis	47
Tabela 5 - Parâmetros de soldagem	48
Tabela 6 - Composição química do material de base	58
Tabela 7 - Dureza Vickers HV10 do material de base	59
Tabela 8 - Microdureza Vickers HV [0,1] dos corpos de prova soldados das condições 1, 2, 3 e 4.....	71
Tabela 9 - Análise de variância das durezas	73
Tabela 10 - Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções novos	74
Tabela 11 - Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções reparados por solda	74
Tabela 12 - Dimensionamento da rugosidade do desvio máximo R_z dos punções novos	75
Tabela 13 - Dimensionamento da rugosidade do desvio máximo R_z dos punções reparados por solda	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[A]	Tipo de Aço Designado pela AISI
AISI	American Iron and Steel Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
C	Elemento Químico Carbono
[D]	Tipo de Aço Designado pela AISI
Cr	Elemento Químico Cromo
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDS	Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios - X
EVS	Ensaio Visual de Solda
END	Ensaio Não Destrutivo
GMAW-	Gas Metal Arc Welding – Metal Inert Gas / Metal Active Gas
MIG / MAG	
HB	Hardness Brinell
HRC	Hardness Rockwell C
HV	Hardness Vickers
L _m	Percurso Médio
LP	Ensaio por Líquido Penetrante
MB	Material de Base
Mn	Elemento Químico Manganês
Mo	Elemento Químico Molibdênio
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MS	Metal de Solda
M ₇ C ₃	Carboneto de Cromo
Nb	Elemento Químico Nióbio
NBR	Norma Brasileira
[O]	Tipo de Aço Designado pela AISI
R _z	Parâmetro de Rugosidade Máxima
Si	Elemento Químico Silício

TTAT	Tratamento Térmico de Alívio de Tensões
TTT	Temperatura – Transformação - Tempo
V	Elemento Químico Vanádio
W	Elemento Químico Tungstênio
US	Ensaio por Ultrassom
VF800AT	Classificação de Aço para Trabalho a Frio do Fabricante Villares Metals
ZAC	Zona Afetada pelo Calor
ZAC-GF	Zona Afetada pelo Calor de Grãos Finos
ZAC-GG	Zona Afetada pelo Calor de Grãos Grossos
ZAC-IC	Zona Afetada pelo Calor Intercrítica
ZAC-SC	Zona Afetada pelo Calor Subcrítica
ZF	Zona Fundida
ZL	Zona de Ligação
ø	Diâmetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 O problema de pesquisa	20
1.2 Justificativa	20
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo geral	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Aços para trabalho a frio	22
2.2 Caracterização do aço VF800AT	23
2.3 Substituição dos aços tradicionais pelo VF800AT	25
2.4 Tratamento térmico de alívio de tensões – TTAT, Têmpera e Revenimento do Aço VF800AT	26
2.5 Influência dos elementos de liga	27
2.6 Processo de soldagem GMAW – MIG/MAG	29
2.7 Metalurgia da soldagem	31
2.8 Temperatura de preaquecimento	37
2.9 Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 Materiais	42
3.1.1 Certificados e caracterização do material de base	43
3.2 Soldagem dos corpos de prova	44
3.2.1 Consumíveis	45
3.2.2 Procedimento de soldagem	46
3.2.3 Condição 1	47
3.2.4 Condição 2	48
3.2.5 Condição 3	48
3.2.6 Condição 4	49
3.2.7 Revenimento	49
3.3 Avaliação não destrutiva	50
3.4 Corte dos corpos de prova e preparação para metalografia	51
3.5 Macrografia e micrografia.....	51

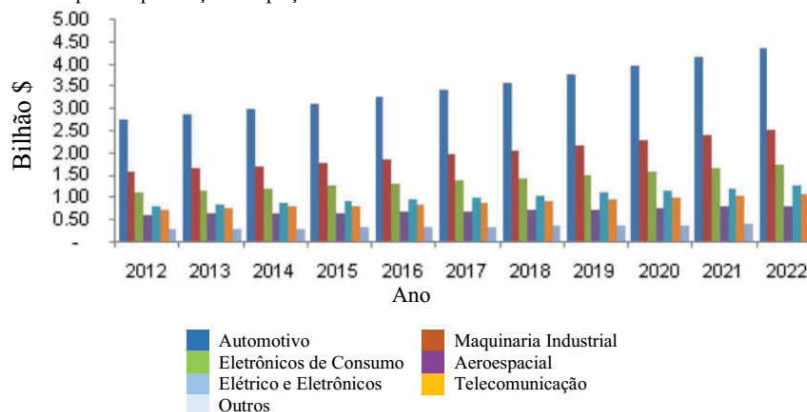
3.6 Ensaio de microdureza vickers	52
3.7 Ensaio experimental de desempenho na indústria	52
3.7.1 Ensaio com punções novos	54
3.7.2 Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções novos	55
3.7.3 Medição da rugosidade e análise da superfície de desgaste dos punções novos	56
3.7.4 Soldagem dos punções para o ensaio de desempenho na indústria	57
3.7.5 Ensaio com punções reparados por solda	57
3.8 Análise estatística	57
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
4.1 Caracterização do material de base	58
4.2 Análise não destrutiva dos corpos de prova soldados	61
4.3 Análise macrográfica dos corpos de prova soldados	61
4.4 Análise micrográfica dos corpos de prova soldados	63
4.5 Análise da microdureza vickers	68
4.6 Análise do ensaio de desempenho na indústria	73
5 CONCLUSÕES	80
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	86
ANEXOS	100

1 INTRODUÇÃO

Nas Indústrias as ferramentas de estampagem são essenciais para a produção de peças metálicas dos mais variados segmentos. Por exemplo, a indústria automotiva em 2015, teve uma participação de quase 44% das peças metálicas em escala global. O aumento da produção de automóveis em países como os Estados Unidos, China, Japão e Alemanha significou uma demanda crescente de ferramentas de estampagem (TOBOLA et al., 2017).

Juntamente com o aumento da demanda da indústria automotiva, o mercado global de estampagem de metais está crescendo a um ritmo constante. Espera-se que o mercado global de produção de peças metálicas cresça com uma taxa anual de 3% até 2019. Com o aumento do uso de metais em vários campos, tais como as indústrias de transporte, aeroespacial, automotiva e de precisão, como mostrado no exemplo do mercado alemão de produção de peças metálicas na Figura 1, a demanda por ferramentas de estampagem para trabalho a frio também aumentará (TOBOLA et al., 2017).

Figura 1 - O mercado para a produção de peças metálicas em várias indústrias na Alemanha em bilhões de US \$



Fonte: TOBOLA et al., 2017.

As ferramentas de estampagem para linha automobilística, dependendo do modelo do automóvel, produzem em torno de mil e quinhentas peças por dia, já para as linhas agrícola, infraestrutura e setor rodoviário este número é menos significativo. É conhecido que os desgastes das ferramentas de estampagem aumentam significativamente e estes se dão principalmente nos locais de maior concentração de tensões e atrito.

O processo de manutenção de ferramentas de estampagem para trabalho a frio é de substituição das partes comprometidas decorrentes de trincas, quebras, desgaste, defeitos

superficiais, deformação, etc., que levam ao não atendimento dos requisitos de qualidade do produto final. Estas substituições acontecem basicamente de duas maneiras, sendo a primeira por componentes padronizados utilizados em corte, repuxo e conformação como punções e matrizes de pequenas dimensões e a segunda, quando os punções e matrizes são de dimensões maiores, trabalha-se com partes postiças (insertos) que é definido no momento do projeto e fabricação. Entretanto, existem casos em que ferramentas de conformação de grandes dimensões ou em casos em que a peça é o produto final, por exemplo, um capô de um automóvel, esta parte postiça pode comprometer o acabamento superficial.

Neste contexto, a presente pesquisa foi concebida para desenvolver um procedimento para recuperar componentes de ferramentas de estampagem por soldagem fabricadas em aço VF800AT, avaliando o comportamento mecânico de quatro condições de estudo, variando a temperatura de preaquecimento e quantidade de revenimentos, bem como realizar um estudo de desempenho na indústria com punções novos e recuperados por solda. O procedimento foi desenvolvido na empresa GERTEC, os ensaios realizados na Universidade de Passo Fundo - UPF e o ensaio de desempenho na empresa Joscil – Equipamentos para Cereais Ltda., na cidade de Condor – RS.

1.1 O problema de pesquisa

É frequente durante o trabalho das ferramentas de estampagem as mesmas falharem, sendo que em torno de 52% das falhas em função de trincamento, defeitos superficiais, desgaste, quebra e porosidade (GONÇALVES, 2016). Na maioria das vezes estas falhas são solucionadas com a substituição das partes danificadas elevando os custos de manutenção, além da demora para fabricação e atraso na produção.

Alguns fabricantes de metais de adição usados em soldagem desenvolveram procedimentos para reparo de ferramentas, outros desenvolveram somente os metais de adição, mas não disponibilizam muitas informações, e quando estão disponíveis, são para aços específicos.

O desempenho mecânico e industrial das ferramentas de estampagem recuperadas é afetado pelo procedimento de soldagem de recuperação?

1.2 Justificativa

A GERTEC é uma empresa de engenharia, inspeção e treinamentos voltada à área de soldagem, um dos seus objetivos é a prestação de serviços de soldas especiais, sendo um deles a recuperação por soldagem de ferramentas de estampagem. A demanda para este tipo de serviço está aumentando, tendo em vista, por exemplo que as ferramentas de estampagem para linha automobilística, dependendo do modelo, produzem em torno de mil e quinhentas peças por dia. A técnica de recuperar por soldagem estas ferramentas diminui o tempo de parada, custo em relação à fabricação de uma nova, estoque, etc.

Esta pesquisa, visa contribuir com informações referentes à análise de parâmetros utilizados na soldagem, permitindo definir um procedimento para soldagem do aço VF800AT bem como resultados do ensaio de desempenho em ambiente industrial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver e avaliar um procedimento para recuperar componentes de ferramentas de estampagem por soldagem fabricadas em aço VF800AT.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo de desempenho comparativo na indústria com punções novos e recuperados pelo procedimento desenvolvido;
- Analisar as alterações microestruturais causadas pelas diferentes condições de estudo e correlacionar com o resultado das propriedades mecânicas;
- Avaliar o comportamento mecânico dos corpos de prova soldados em cada condição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aços para trabalho a frio

Além de um bom projeto das ferramentas de estampagem, deve-se fazer uma boa escolha dos seus materiais. Para isso, é necessário ter conhecimento acerca dos mecanismos de falha associados, dos mecanismos dominantes, do ambiente em que se vai trabalhar e do número de peças a serem produzidas (CORDEIRO, 2016).

Dependendo da chapa a estampar e das propriedades do seu material, são utilizados diferentes tipos de materiais para as ferramentas de estampagem. Para estampagem de chapas de aço macio (*low and medium-strength steel sheets*), o ferro fundido nodular é bastante utilizado. A grafita presente nos ferros fundidos, com a sua estrutura hexagonal, concede propriedades autolubrificantes, havendo uma redução do atrito, facilitando o escorregamento entre superfícies (CORDEIRO, 2016).

Para estampagem de aços mais resistentes (*medium and high-strength sheet materials*) são usadas ferramentas de aços para trabalho a frio e a quente. Os aços mais comuns para ferramentas de estampagem contêm alto teor de carbono e são distinguidos em três tipos, dependendo dos elementos de liga que contêm. De acordo com a AISI são:

- [O] – Tem uma quantidade relativamente baixa de elementos de liga. A alta resistência ao desgaste e a dureza são dados pela martensita de alto teor em carbono, conseguida através de têmpera a baixa temperatura, que resulta numa boa dispersão de carbonetos na matriz metálica (GÅÅRD, 2008).

- [A] – Tem propriedades comparáveis aos aços de tipo [O], mas, devido à maior taxa de elementos de liga, a formação de martensita pode ser conseguida através de um resfriamento ao ar. O resfriamento mais lento diminui a possibilidade de distorção e promove estabilidade dimensional durante o tratamento térmico (GÅÅRD, 2008).

- [D] – A resistência ao desgaste e a abrasão são bastante altas. Isto é atingido pelo teor muito alto de carbonetos, alguns produzidos durante a solidificação (carbonetos primários) que coexistem com a austenita durante a austenização, outros produzidos durante a têmpera (carbonetos secundários). Estes aços são endurecíveis ao ar (GÅÅRD, 2008).

Os aços mais utilizados para ferramentas de corte e conformação de chapa são o AISI A2 com 5% Cr e o AISI D2 com 12% Cr, embora não sejam sempre as melhores soluções (HILLSKOG, 2015). Em certas situações, por exemplo, quando se fala de chapas de maior

resistência, estes aços podem não apresentar a ductilidade e a resistência à fadiga suficientes. O que se procura nas ferramentas é a combinação correta de resistência ao desgaste abrasivo, ductilidade (para prevenir a iniciação de fissuras) e tenacidade (de forma a prevenir a propagação das fissuras) (CORDEIRO, 2016).

Aços ferramenta são empregados numa vasta variedade de outras aplicações, que necessitem de propriedades como alta resistência mecânica, ao desgaste ou tenacidade. A composição química desses materiais pode variar muito, desde aço baixa liga até aço altamente ligado. Contudo, o que difere tal classe de materiais dos aços convencionais são o processo de manufatura especial e a significativa modificação de propriedades após os tratamentos térmicos (MESQUITA; LEIVA; BARBOSA, 2001).

2.2 Caracterização do aço VF800AT

O aço VF800AT é desenvolvido pela fabricante e não se enquadra no sistema de classificação das normas. A sua composição química ilustrada na Tabela 1 foi desenvolvida especialmente para proporcionar boa resistência ao desgaste associada à elevada tenacidade. Esta última propriedade é que o diferencia dos demais aços para trabalho a frio. Possui elevada temperabilidade, podendo ser temperado ao ar, ou em óleo, inclusive com aquecimento em forno a vácuo, com reduzida susceptibilidade a trincas, durante e após a usinagem por eletroerosão em comparação aos aços da série D. O estado de fornecimento é recozido, com dureza máxima de 250 HB (VILLARES METALS, 2003).

Tabela 1 - Composição química do VF800AT

Elemento	Composição (% em peso)
C	0,85
Si	1,00
Mn	0,40
Cr	8,50
Mo	2,00
V	0,50
Nb	0,15

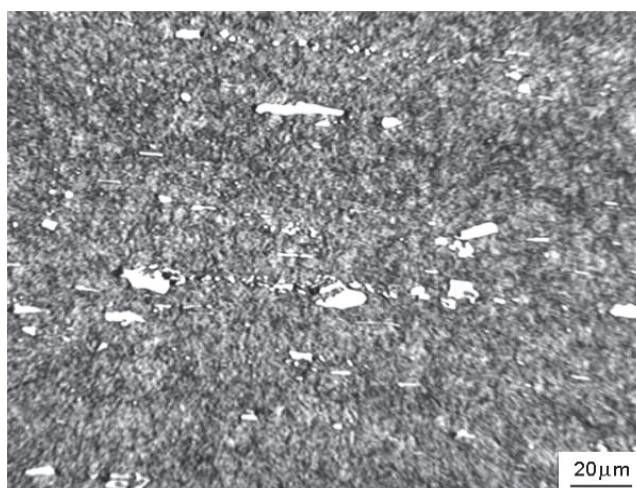
Fonte: Adaptado de MESQUITA; BARBOSA, 2005.

O aço VF800AT é mais tenaz quando revenido acima de 500 °C. Nessas temperaturas, o endurecimento é gerado por uma fina precipitação de carbonetos e a fração de austenita retida é removida. Esses fenômenos metalúrgicos são os responsáveis pela maior tenacidade (VILLARES METALS, 2001).

O aço VF800AT se caracteriza como um aço tipicamente martensítico. Para o material tratado corretamente, com têmpera de 1030 °C e revenimento duplo a 530 °C, observa-se uma microestrutura com matriz martensítica e carbonetos primários não dissolvidos, conforme ilustrado na Figura 2. No aumento apresentado, a identificação dos contornos de grão austeníticos não é clara, pois estes são finos, devido à temperatura de austenitização ter sido adequada. Observa-se também uma matriz escurecida pelo ataque metalográfico resultante do revenimento em alta temperatura, com precipitação de carbonetos secundários, retirando elementos de liga da matriz e proporcionando maior susceptibilidade ao ataque. As propriedades mecânicas, neste caso, são superiores porque as tensões da matriz, geradas na transformação martensítica, são aliviadas, a dureza é promovida por precipitação secundária, melhorando as propriedades mecânicas (MESQUITA; LEIVA; BARBOSA, 2001).

O aço VF800AT possui alta resistência ao desgaste abrasivo e adesivo em função de dois fatores. Primeiro o fato de possuir, além dos carbonetos M_7C_3 ricos em Cr, também carbonetos tipo MC, ricos em V e Nb. Em segundo lugar, pela maior tenacidade, evitando micro lascamentos e micro trincas durante o desgaste (MESQUITA; BARBOSA, 2005).

Figura 2 - Microestrutura do aço VF800AT, resultante do tratamento térmico, aumento 350X, ataque Villela's, por 10s



Fonte: Adaptado de MESQUITA; LEIVA; BARBOSA, 2001.

2.3 Substituição dos aços tradicionais pelo VF800AT

O aço VF800AT foi desenvolvido e entrou no mercado substituindo os aços tradicionais como o VND, VC 131 (D6), D2, M2, etc., por possuir uma maior tenacidade.

A introdução de componentes estruturais muito duros nas ferramentas de trabalho a frio, como punções e matrizes, é conhecida por aumentar a resistência à ação abrasiva de materiais conformados e/ou estampados. No entanto, a dureza não é o único critério que reflete a resistência ao desgaste dos materiais da ferramenta (TOBOLA et al., 2017).

A dureza, apesar de importante, não é a única propriedade relevante ao desempenho dos aços ferramentas para trabalho a frio. A tenacidade mostra-se como outra importante propriedade. Aços com maior tenacidade evitam possíveis falhas por lascamentos, trincamentos ou rupturas catastróficas. A vantagem e o ganho de desempenho das ferramentas feitas de VF800AT ocorrem, justamente, pela sua maior tenacidade (VILLARES METALS, 2001).

Trabalhar em metais à temperatura ambiente é uma das formas mais comuns de fabricar peças metálicas nas indústrias de manufatura. Nesse contexto, a melhoria dos materiais das ferramentas de trabalho a frio pode contribuir significativamente para a eficiência e confiabilidade na fabricação industrial. Entre vários materiais para ferramentas de trabalho a frio, o aço AISI-D2 tem sido a escolha convencional para as inserções em matrizes. Esta liga ledeburítica contém uma grande fração de carbonetos duros em matriz de martensita revenida e apresenta excelente resistência ao desgaste, considerando que sofre de baixa tenacidade devido aos carbonetos grosseiros e quebradiços. Aços com 8% de Cr foram introduzidos como a versão modificada do AISI-D2. Enquanto o AISI-D2 convencional contém cerca de 12% em peso de Cr e 1,5% em peso de C, os aços com 8% de Cr contém cerca de 8% em peso de Cr (como o nome indica) e tem um teor de C de 0,8 a 1,2% em peso. Apesar disso, eles ainda são ledeburíticos e o conteúdo reduzido de C e Cr levam a redução, fração e tamanho de carbonetos primários frágeis, resultando em uma resistência muito melhorada. Os aços com 8% de Cr têm melhor resistência à têmpera devido à adição de Mo, W ou V, assim eles mantêm maior dureza após têmpera apesar do menor teor de C e Cr. Isso é mais notável após revenido a altas temperaturas em torno de 500 °C devido ao endurecimento secundário reforçado (KIM et al., 2015).

Portanto, aços com 8% de Cr são geralmente mais duros e tenazes do que o aço AISI-D2. A tendência atual de materiais de trabalho mais resistentes e demanda severa de precisão dimensional é incentivar o uso de aços avançados de ferramentas de trabalho a frio, como

aços com % de Cr. Assim sendo, vários aços com 8% de Cr estão sendo introduzidos e estão substituindo o aço AISI-D2 em algumas aplicações devido ao seu desempenho superior (KIM et al., 2015).

2.4 Tratamento térmico de alívio de tensões - TTAT, têmpera e revenimento do aço VF800AT

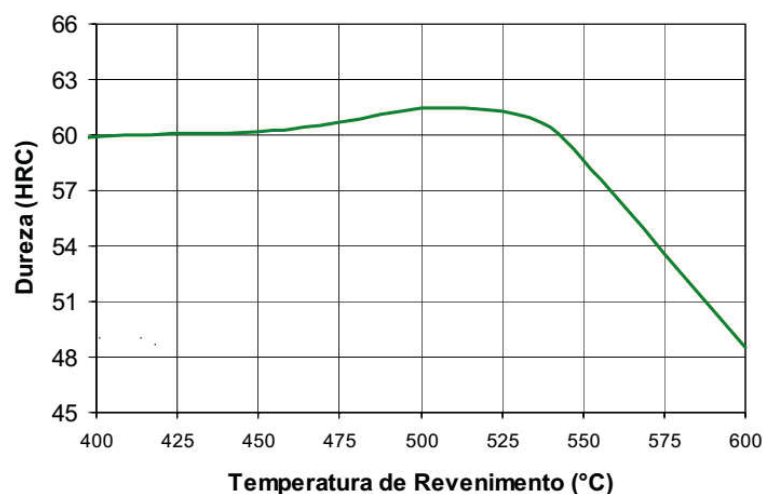
Tratamento Térmico de Alívio de Tensões - TTAT: Deve ser realizado após usinagem e antes da têmpera. O alívio de tensões é necessário em peças com gravuras e perfis, nas quais a retirada de material tenha sido superior a 30%, a fim de minimizar as distorções durante a têmpera. O procedimento de alívio deve envolver aquecimento lento até temperaturas entre 500 e 600 °C e resfriamento em forno até a temperatura de 200 °C. Se aplicado após o trabalho, o alívio de tensões deve ser realizado em uma temperatura 50 °C inferior a temperatura do último revenimento (VILLARES METALS, 2001; VILLARES METALS, 2003).

Têmpera: O aquecimento para têmpera deve ser entre 1.020 e 1.040 °C. Recomenda-se pré-aquecer as ferramentas e resfriar em óleo apropriado, com agitação e aquecido entre 40 e 70 °C ou banho de sal fundido, mantido entre 500 e 550 °C ou ar calmo (VILLARES METALS, 2003).

Revenimento: As ferramentas devem ser revenidas imediatamente após a têmpera, tão logo atinjam 60 °C. Fazer, no mínimo, 2 revenimentos e entre cada revenimento as peças devem resfriar lentamente até a temperatura ambiente. Recomenda-se temperaturas de revenimento entre 520 e 600 °C, conforme a dureza desejada, de acordo com a curva de revenimento ilustrada na Figura 3, obtida após tratamento térmico em corpos de prova de 20 x 20 mm². O tempo de cada revenimento deve ser, de no mínimo, 2 horas. Para peças maiores que 70 mm, deve-se calcular o tempo em função de sua dimensão. Considerar 1 hora para cada polegada de espessura (VILLARES METALS, 2003).

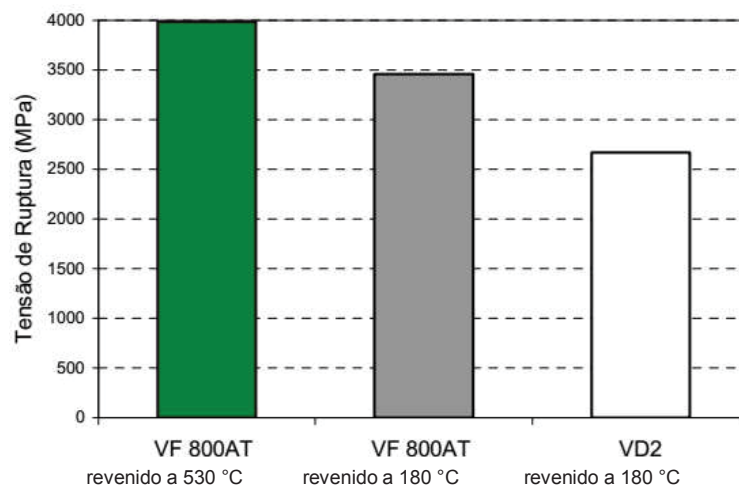
Revenimento em alta temperatura: As temperaturas de revenimento devem estar acima de 520 °C, para que a máxima tenacidade seja promovida. O gráfico ilustrado na Figura 4 permite verificar este ganho, apresentando resultados dos ensaios de flexão a quatro pontos com dureza de 60 HRC, os quais estão diretamente relacionados a tenacidade do material, ficando claro que o VF800AT é consideravelmente mais tenaz quando revenido acima de 500 °C (VILLARES METALS, 2001; VILLARES METALS, 2003; GOBBI, 2009).

Figura 3 - Curva de revenimento



Fonte: Adaptado de MESQUITA; BARBOSA, 2005; VILLARES METALS, 2003.

Figura 4 - Tensão de ruptura em flexão do aço VF800AT



Fonte: Adaptado de VILLARES METALS, 2001.

2.5 Influência dos elementos de liga

A adição de elementos de liga tem o objetivo de promover mudanças na microestrutura do material, o que se reflete nas suas propriedades macroscópicas, físicas e mecânicas, permitindo ao material desempenhar funções específicas. A influência de alguns elementos é descrita como segue, segundo GOBBI, 2009:

Carbono: é o mais importante, considerando a necessidade de formação de carbonetos nesta classe de materiais para conferir a dureza e resistência ao desgaste. Geralmente o teor de

carbono nos aços ferramentas é elevado, em torno do eutetóide ou acima situando-se entre 0,8 e 2%. Quando a tenacidade é um fator importante para a aplicação emprega-se teores de carbono mais baixos entre 0,5 e 0,7% (GOBBI, 2009).

Silício: Também é utilizado na fabricação do aço como desoxidante. Normalmente situa-se entre 0,10 e 0,30%, pois teores mais elevados tendem a favorecer a grafitação. Em aços resistentes ao choque emprega-se silício elevado entre 1 e 2% para se ter aumento de temperabilidade e da resistência ao revenido sem que haja redução da temperatura das linhas de início e final de transformação martensítica (favorecida pela austenita retida). Para combinações de médio carbono entre 0,5 e 0,7% e alto silício entre 1 e 2%, a tendência a grafitação é reduzida devido a presença de elementos formadores de carbonetos como Mo, Cr e V (GOBBI, 2009).

Manganês: atua também como desoxidante e dessulfurante. É empregado em teores inferiores a 0,6%. O manganês tem forte efeito na temperabilidade, porém a partir de teores mais elevados 1,5%, forma carbonetos menos estáveis que o ferro, não contribuindo para a resistência ao revenido. Em grandes quantidades e em presença de carbono, aumenta de forma considerável a resistência a abrasão. Juntamente com o cromo e o molibdênio, é usado para a fabricação de aços ferramentas temperáveis ao ar ou ao óleo (GOBBI, 2009).

Cromo: é o elemento adicionado com função principal de elevar a temperabilidade, pois é o que apresenta melhor relação custo/benefício. Além disso, o cromo forma carbonetos endurecedores que são facilmente solúveis no tratamento de austenitização que precede a têmpera. O efeito de aumento de temperabilidade pelo cromo geralmente é máximo para teores de 4%, sendo este o valor tipicamente empregado em aços ferramentas para trabalho a quente e em aços rápidos. No caso de aços para trabalho a frio, o teor de cromo pode atingir 12% quando se deseja alta temperabilidade. Neste caso o teor de cromo é mais elevado a fim de gerar maior quantidade de carbonetos de cromo na matriz. O cromo tem ainda o efeito (em teores acima de 4%) de elevar a resistência a quente por aumentar a resistência à oxidação e por contribuir para a formação do limite superficial de dureza secundária. A principal desvantagem da presença do cromo é a sua tendência em promover o crescimento de grão austenítico. Deve-se ter o cuidado em evitar a austenitização em temperaturas mais altas ou durante tempos mais longos do que o estritamente necessário. Para se contrabalançar este efeito desfavorável, geralmente se especifica um certo teor de vanádio (GOBBI, 2009).

Molibdênio: tem efeito similar ao tungstênio, sendo usado para substituí-lo. O custo do molibdênio é maior, porém a quantidade empregada é menor (normalmente o teor de molibdênio substitui duas vezes a quantidade de tungstênio). O molibdênio aumenta a

resistência à quente e quando em presença de níquel e de cromo, aumenta o limite de resistência a tração e de escoamento. Parte do molibdênio se dissolve na ferrita e parte se combina com o carbono formando carbonetos complexos, se assemelha ao vanádio aumentando a resistência do aço ao revenido e a ocorrência do endurecimento secundário (GOBBI, 2009).

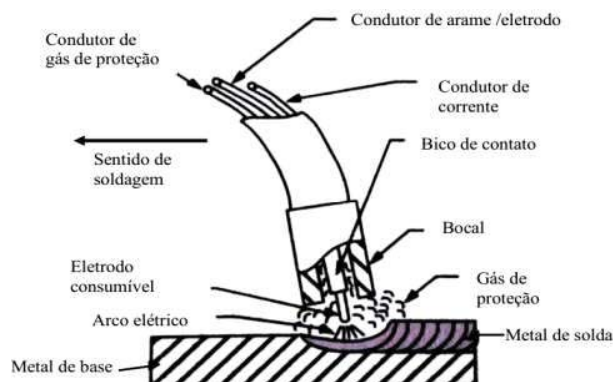
Vanádio: atua como desoxidante e tem efeito sobre a temperabilidade quando dissolvido na austenita. Entretanto, a sua função principal é de atuar como refinador de grão. Pois o seu respectivo carboneto é de difícil solubilização na austenita no tratamento de têmpera, evitando que haja o crescimento de grão por ocasião da austenitização. Outro fenômeno de grande importância prática nos aços ferramentas é o chamado endurecimento secundário (GOBBI, 2009).

2.6 Processo de soldagem GMAW – MIG/MAG

O processo de soldagem GMAW, popularmente conhecido como MIG / MAG, utiliza um eletrodo contínuo como metal de adição e uma fonte externa para suprimento de gás ou mistura de gases para proteção. O gás de proteção pode ser hélio, argônio, oxigênio, dióxido de carbono ou mistura destes, protegem o metal fundido da reação com constituintes da atmosfera. Apesar do gás ser efetivo na proteção do metal fundido do ar atmosférico, desoxidantes são usualmente adicionados como ligas nos eletrodos. As vezes recobrimentos leves são aplicados no arame para estabilizar o arco elétrico ou outros fins. Filmes lubrificantes também podem ser aplicados para aumentar a eficiência na alimentação do eletrodo para equipamentos de soldagem semiautomáticos. A Figura 5 ilustra o método do qual gás de proteção e eletrodo contínuo são fornecidos para a soldagem a arco (LINCOLN, 2000; KOU, 2003).

O modo de transferência do metal fundido no arco depende principalmente da natureza do gás usado, dimensões de eletrodos e composição, velocidade de alimentação do arame e a densidade de corrente de soldagem. Os três modos em que a transferência de metal pode ocorrer, de acordo com corrente de arco e misturas de gases são por curto circuito, transferência globular e pulverização (*spray*). Estes modos envolvem comportamentos particulares de arco elétrico de acordo com a estabilidade, qualidade de soldagem e poder de penetração, consumo de gás e partículas emitidas (ZIELIŃSKA et al., 2009).

Figura 5 - Princípio do processo GMAW



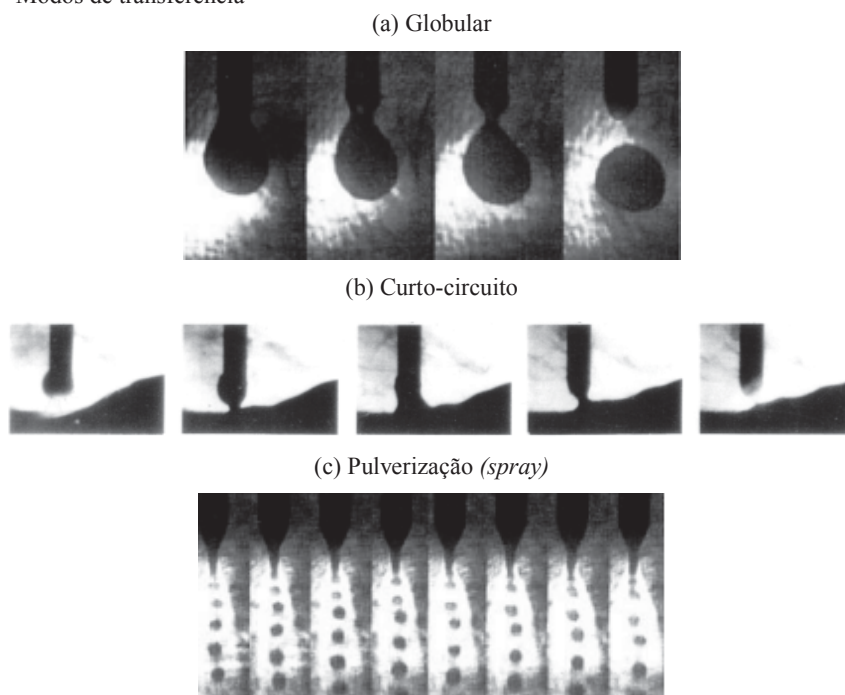
Fonte: Adaptado de LINCOLN, 2000.

A transferência globular ocorre em baixas densidades de corrente e em qualquer tipo de gás de proteção, especialmente para CO_2 e Hélio e a gota que se forma na ponta do eletrodo nu tem o diâmetro maior que o eletrodo. A transferência por curto-circuito, por sua vez, ocorre para eletrodos nus de diâmetros menores, para valores inferiores de corrente utilizadas na transferência globular e para qualquer tipo de gás de proteção e a gota que se forma na ponta do eletrodo nu toca a poça de fusão formando um curto-circuito, sendo puxada pela tensão superficial da poça. A transferência por pulverização (*spray*) ocorre para elevada densidade de corrente e quando se usa argônio ou misturas ricas em argônio como gás de proteção e a gota que se forma na ponta do eletrodo nu tem o diâmetro menor que o próprio eletrodo e é axialmente direcionada para a poça de fusão (KOU, 2003). Na Figura 6 está ilustrado os modos de transferência.

O processo GMAW pode ser eficientemente utilizado para unir ou revestir vários tipos de metais ferrosos e não ferrosos. O uso de um gás de proteção em vez de um fluxo que pode ser contaminado, pode reduzir a possibilidade de hidrogênio ser introduzido na zona de solda. Portanto, GMAW, pode ser usado com sucesso em uma situação onde a presença de hidrogênio pode causar problemas. Devido à falta de um revestimento de escória que deve ser removido após a soldagem, GMAW é adequado para soldagem automática e robótica ou alta produção. Uma vez que há pouca ou nenhuma limpeza necessária após a soldagem, a produtividade geral do operador é grandemente melhorada. O GMAW é um processo limpo, por que não tem a presença de fluxo e quando não há escória presente, o soldador/operador pode observar mais facilmente a ação do arco e a poça de fusão para melhorar o controle (AWS, 2000).

Dos processos de soldagem a arco desenvolvidos nos últimos anos o GMAW é o processo que tem uma maior produtividade e uma boa qualidade (IBRAHIM et al., 2012).

Figura 6 - Modos de transferência



Fonte: Adaptado de KOU, 2003.

2.7 Metalurgia da soldagem

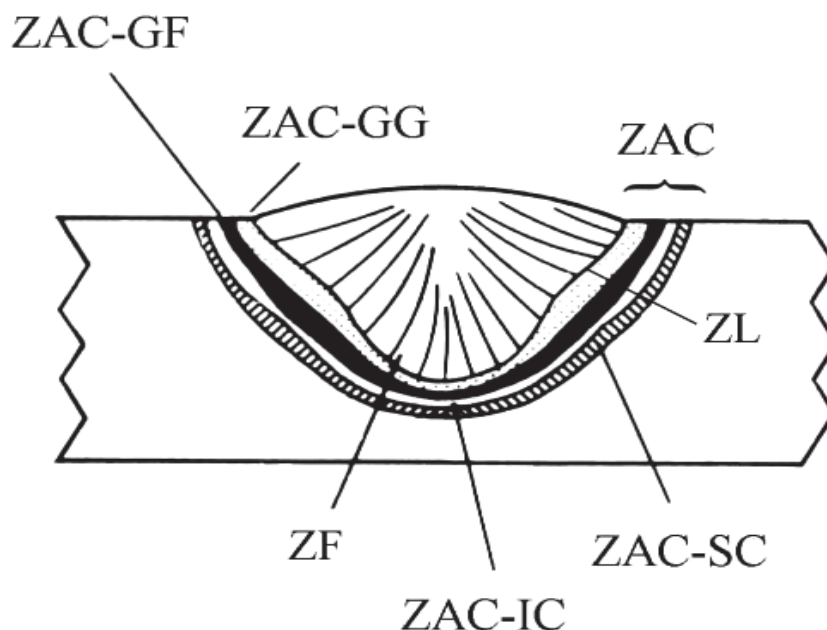
O calor da soldagem traz certas mudanças sobre a estrutura do aço que está sendo soldado e ao metal de solda. Algumas destas mudanças ocorrem durante a soldagem, outras depois do metal resfriado (AWS, 2000).

Durante a soldagem, a temperatura do metal de solda fundido atinge 1650 °C ou maior. A uma pequena distância da solda, a temperatura do metal de base pode ser 300 °C. Quando o aço atinge ou excede certas temperaturas críticas entre estes valores, mudanças ocorrem afetando a estrutura do grão, dureza e propriedades mecânicas (AWS, 2000).

Para compreender a soldabilidade dos aços é necessário conhecer as várias transformações microestruturais que ocorrem nas diversas regiões da solda. No caso da soldagem com passe único, a solda é geralmente dividida em três regiões: zona fundida (ZF) constituída pelo metal fundido, zona de ligação (ZL), constituída por uma estreita região onde ocorre uma fusão parcial do metal de base junto à zona fundida e zona afetada pelo calor

(ZAC), região do metal de base que sofreu alterações microestruturais causadas pelo calor da soldagem. A ZAC é ainda subdividida em ZAC de grãos grossos (ZAC-GG), ZAC de grãos finos (ZAC-GF), ZAC intercrítica (ZAC-IC) e ZAC subcrítica (ZAC-SC) como será visto mais adiante. A Figura 7 ilustra estas diversas regiões da solda (AGUIAR, 2001).

Figura 7 - Zonas de uma solda com passe único



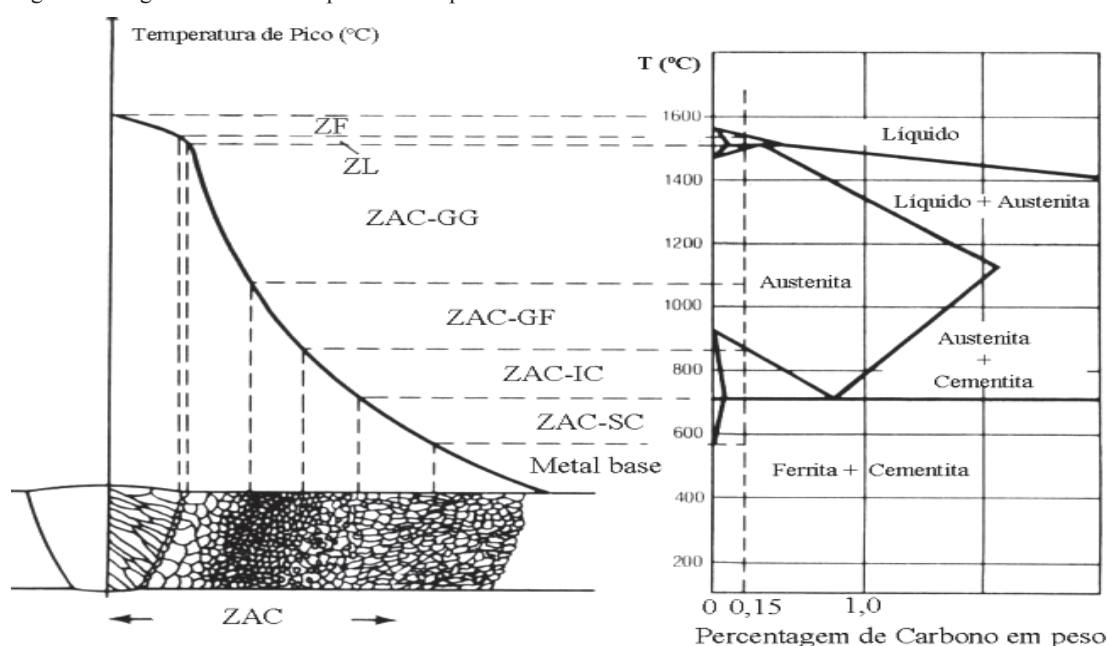
Fonte: AGUIAR, 2001.

Dentro da zona fundida o pico de temperatura excede o ponto de fusão do metal de base e a composição química do metal de solda dependerá da escolha dos consumíveis, da taxa de diluição do metal de base e das condições de soldagem. Com a alta velocidade de resfriamento e de solidificação da soldagem, os elementos de liga e as impurezas podem segregar para as regiões interdendríticas ou intercelulares e para o centro da solda, resultando numa composição química localmente heterogênea. Com isso, o comportamento da transformação do metal de solda pode ser bastante diferente do metal de base (ASM, 1993).

A composição química da ZAC permanece inalterada por uma larga faixa onde o pico de temperatura não atingiu o ponto de fusão do metal de base. Todavia, ocorre uma mudança considerável na microestrutura durante a soldagem devido ao severo ciclo térmico. O metal imediatamente vizinho a zona fundida é aquecido dentro do campo austenítico onde, os precipitados que se formaram em processos anteriores, são geralmente dissolvidos. Desta forma, o papel de evitar o crescimento do grão da austenita em temperaturas elevadas (efeito

cinturão), exercidos por eles, deixa de existir e a austenita experimenta um substancial crescimento de grão, produzindo a região grosseira da ZAC. O tamanho médio do grão austenítico, que é função do pico de temperatura atingido, decresce com o aumento da distância da zona fundida. Devido à variação das condições térmicas com a distância da zona de ligação, a ZAC, como foi dito, é composta da ZAC-GG, da ZAC-GF, da ZAC-IC e da ZAC-SC. A Figura 8, ilustra a relação entre as temperaturas atingidas na peça soldada e as microestruturas produzidas para um aço carbono com 0,15% C (ASM, 1993).

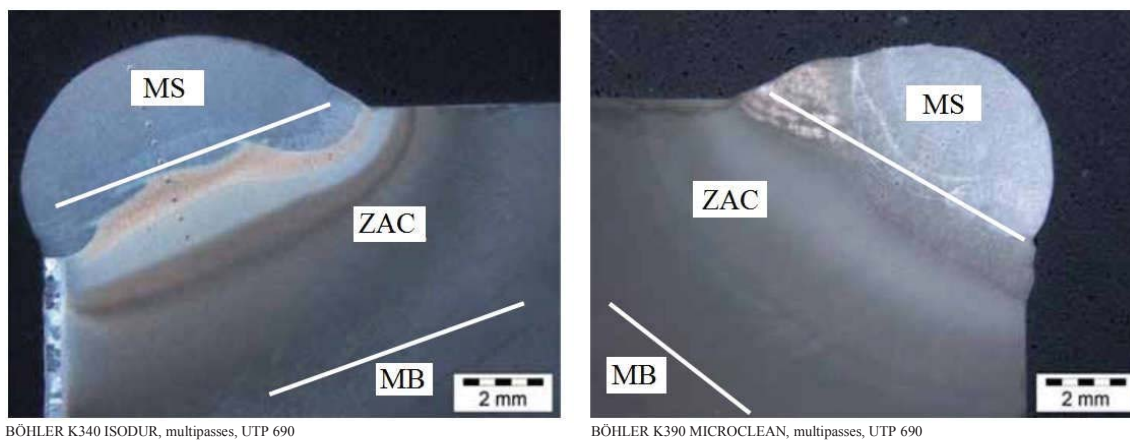
Figura 8 - Regiões da ZAC e respectivas temperaturas



Fonte: AGUIAR, 2001.

A soldagem de recuperação de ferramentas nos aços K340 ISODUR (aço para trabalho a frio refundido de alta tenacidade com 8% Cr) e K390 MICROCLEAN (produzido por metalurgia do pó), foram recuperadas com eletrodos revestidos do tipo UTP 73 G2 e UTP 690, com diâmetro de 2,5 mm e corrente de 50 A. Os corpos de prova foram pré aquecidos em um forno a 600 °C e durante a soldagem a temperatura foi mantida entre 550 – 600 °C. Na Figura 9 está ilustrada a macrografia para os dois corpos de prova demonstrando as regiões da solda como metal de solda depositado - MS, zona afetada pelo calor - ZAC e material de base - MB (BÖHLER, 2008).

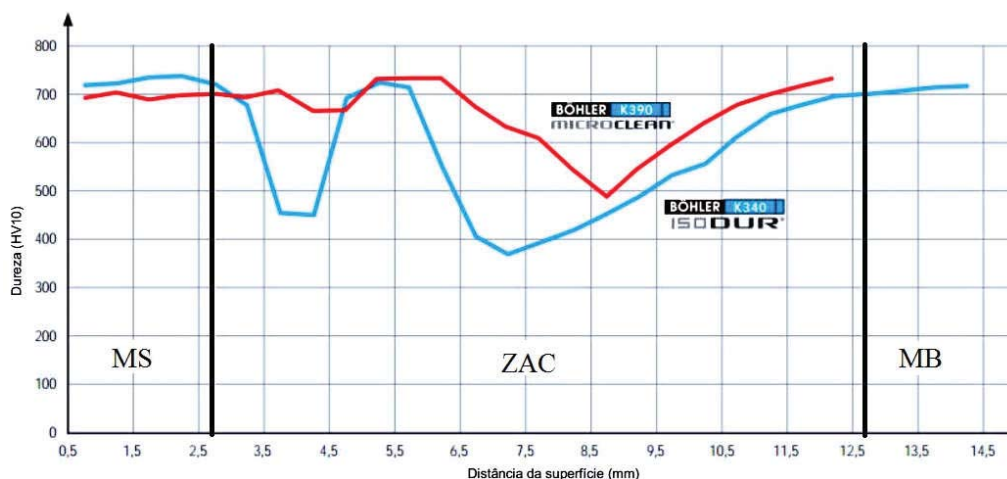
Figura 9 - Macrografia de uma solda de reparo em corpos de prova temperados e revenidos



Fonte: Adaptado de BÖHLER, 2008.

Conforme ilustrado na Figura 10 a dureza no metal de solda depositado atinge a magnitude da dureza do material de base. Na zona afetada pelo calor, o efeito do revenimento causa uma queda na dureza devido ao fato de que os depósitos de solda afetam altamente a temperatura. O material de base não apresenta redução na dureza após a soldagem (BÖHLER, 2008).

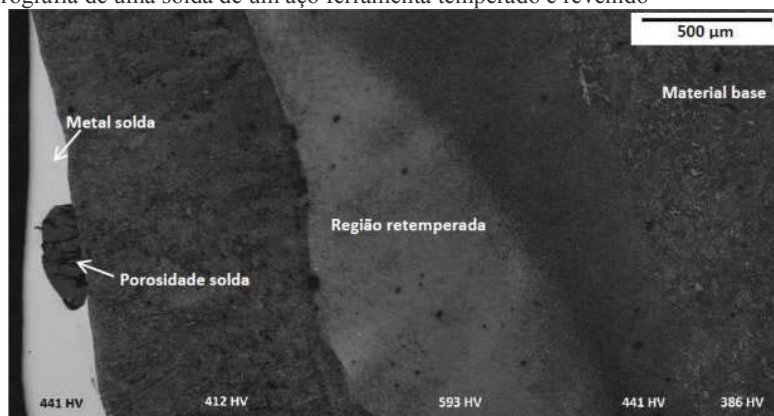
Figura 10 - Perfil de dureza (HV) através da solda de reparo em corpos de prova temperados e revenidos



Fonte: Adaptado de BÖHLER, 2008.

As regiões de uma solda em um aço ferramenta temperado e revenido apresentam microestruturas e propriedades mecânicas diferentes dependendo da temperatura de preaquecimento e energia de soldagem. A Figura 11 ilustra a solda de reparo realizada e um aço ferramenta com suas regiões e durezas (GONÇALVES, 2016).

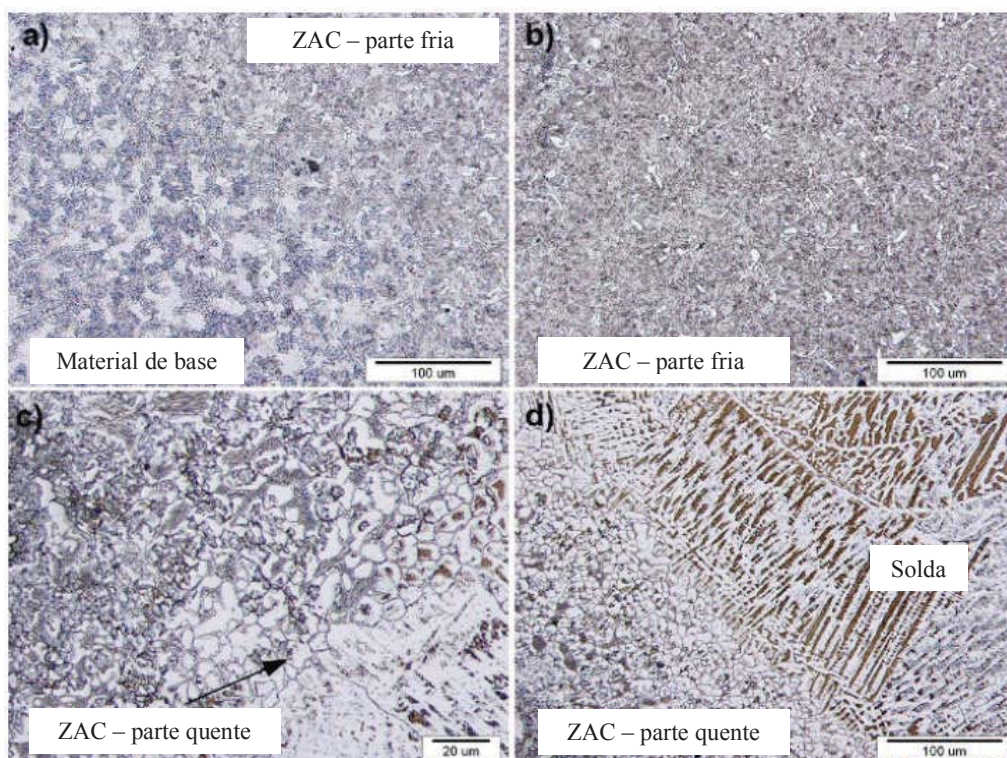
Figura 11 - Macrografia de uma solda de um aço ferramenta temperado e revenido



Fonte: GONÇALVES, 2016.

A Figura 12a mostra a microestrutura do aço OCR VM (W. Nr. 1.2739), com 1,50% C, 0,4% Si, 0,4% Mn, 11,5% Cr, 0,8% Mo e 0,85% V, na interface do material de base e parte fria da ZAC, microestrutura da Figura 12b na parte fria da ZAC e microestrutura da Figura 12c na parte quente da ZAC. A Figura 12d e a Figura 13 apresentam a microestrutura na interface entre ZAC - parte quente e solda (TONKOVIČ et al., 2015).

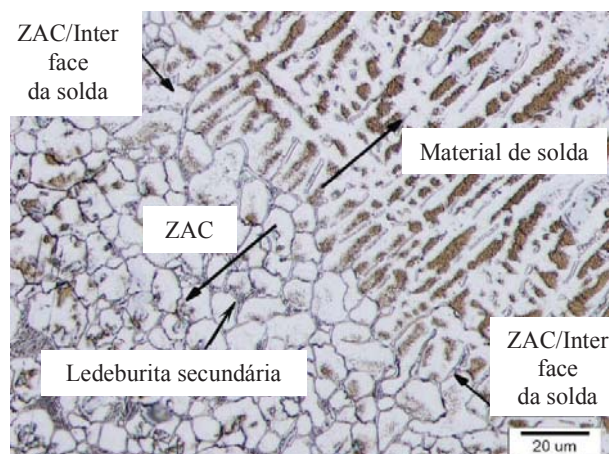
Figura 12 - Microestrutura da solda no material de base das interfaces / ZAC e ZAC - parte quente / solda



Fonte: Adaptado de TONKOVIČ et al., 2015.

Nas Figuras 12d e 13 a microestrutura do material de base é composta de matriz martensítica e ledeburita primária ($\gamma_{Fe} + M_7C_3$).

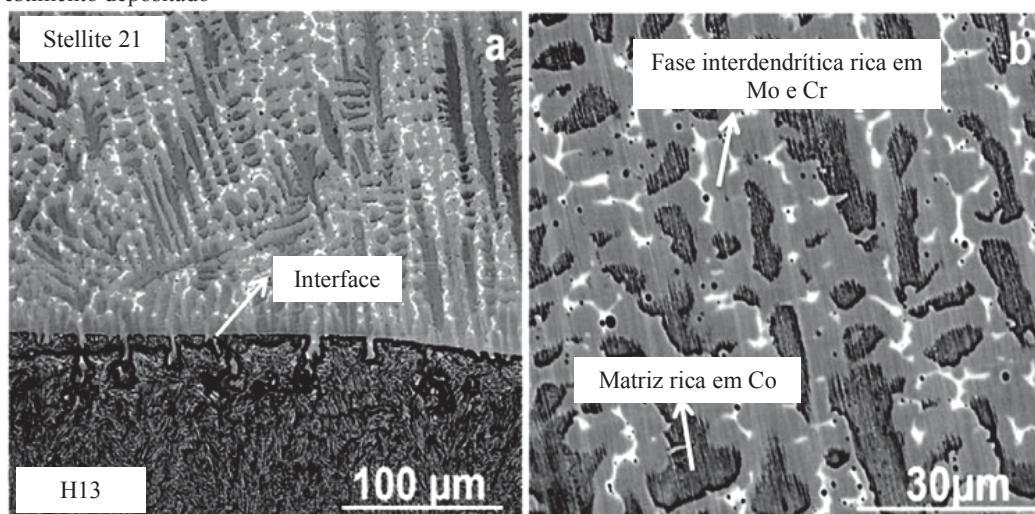
Figura 13 - Microestrutura das interfaces da ZAC - parte quente / solda



Fonte: Adaptado de TONKOVIČ et al., 2015.

A Figura 14 ilustra a microestrutura do revestimento depositado Stellite 21 no material de base H13. A microestrutura consiste na matriz primária rica em Co (contraste escuro) juntamente com a fase rica Mo e Cr e carbonetos na região interdendrítica (RAJEEV; KAMARAJ; SRINIVASA, 2017).

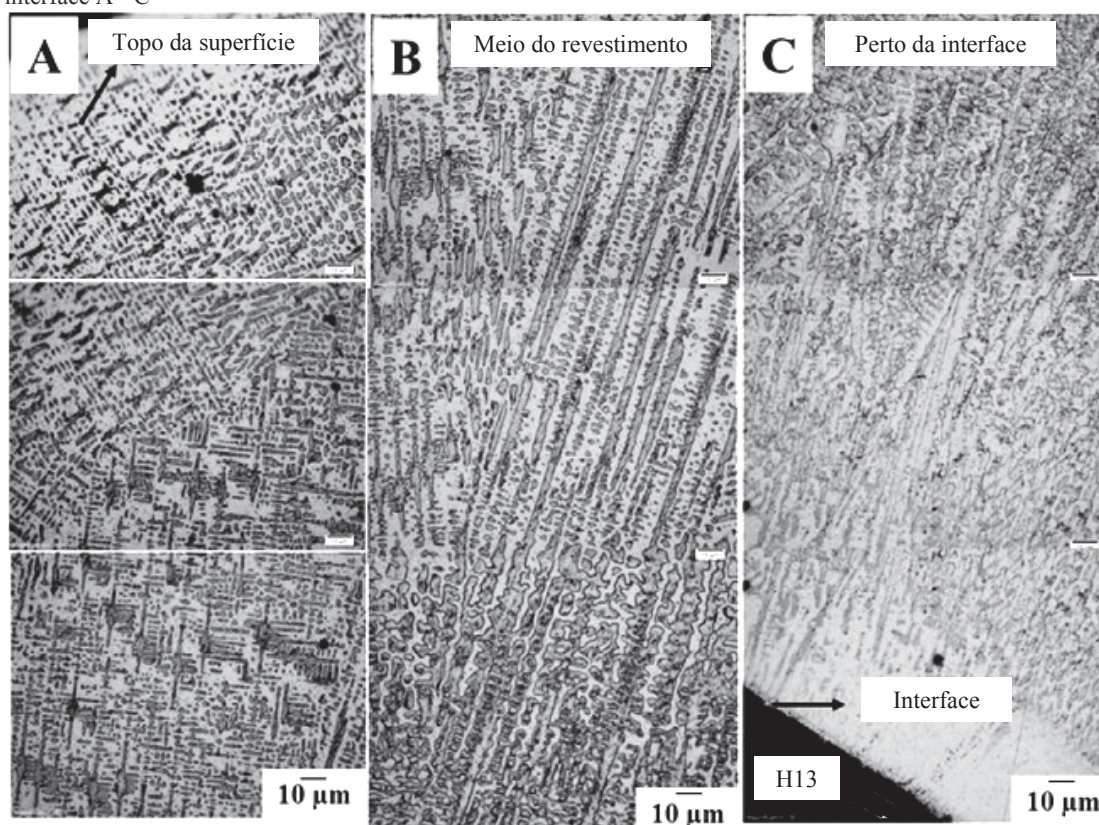
Figura 14 - Microestrutura da a) seção transversal do revestimento depositado e b) a região central do revestimento depositado



Fonte: Adaptado de RAJEEV; KAMARAJ; SRINIVASA, 2017.

A variação na microestrutura da região superior para a interface do revestimento é ilustrada na Figura 15 (A-topo, B-meio, C-perto/interface). As dendritas podem ser vistas crescer perpendicularmente à interface e tornam-se mais finas em direção à superfície (RAJEEV; KAMARAJ; SRINIVASA, 2017).

Figura 15 - Micrografia mostrando a variação da microestrutura do revestimento Stellite da superfície para a interface A - C



Fonte: Adaptado de RAJEEV; KAMARAJ; SRINIVASA, 2017.

2.8 Temperatura de preaquecimento

Quando um aço é soldado, este tem uma região aquecida com microestrutura diferente daquela do metal de base, chamada de ZAC zona afetada pelo calor. Usualmente aquecimentos e resfriamentos rápidos característicos da soldagem, produzem uma microestrutura dura na ZAC. A microestrutura dura da ZAC é um fator responsável pela deterioração das propriedades da solda. Susceptibilidade a trincas a frio é outro indicador de

soldabilidade, aumentam com o aumento da dureza (KASUYA; YURIOKA; OKUMURA, 1995).

Trincas a frio na ZAC são também chamadas de trincas induzidas por hidrogenio. Nos processos de soldagem, a soldagem a arco decompõe o vapor de água da atmosfera e a umidade nos consumíveis de soldagem e introduz o hidrogenio na solda. O metal de base pode ser preaquecido para prevenir a trinca a frio. A soldabilidade dos aços tem sido tradicionalmente definida pelo conceito carbono equivalente (C_{eq}), definido inicialmente na década de 1940. Desde então foram desenvolvidas várias fórmulas para o cálculo deste parâmetro em função das aplicações específicas (KASUYA; YURIOKA; OKUMURA, 1995).

A soldabilidade do aço representa quão preferível um aço pode ser soldado sem apresentar defeitos e quão satisfatório é uma junta soldada com relevante desempenho durante o serviço. A soldabilidade significa que aços podem ser soldados com zonas afetadas pelo calor menos endurecidas e sem o risco de trincas induzidas pelo hidrogenio. A soldabilidade dos aços foram avaliadas longamente na base empírica das práticas de soldagem (YURIOKA, 2001).

A equação 1 foi desenvolvida pelo (IIW) *International Institute of Welding* (YURIOKA, 2001).

$$CE(IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (1)$$

Um aço ferrítico é completamente austenetizado na ZAC durante a soldagem. A ZAC austenetizada transforma-se em ferrita, perlita, bainita, martensita ou mistura destas dependendo da taxa de resfriamento após a soldagem. Os grãos austeníticos são mais grosseiros e mais endurecidos na ZAC perto do limite de fusão da solda (YURIOKA, 2001).

Aços ferramentas não são facilmente soldados, por apresentarem tendência ao trincamento, necessitando de preaquecimento e resfriamento lento após a soldagem (TONKOVIČ et al., 2015).

A temperatura ideal de preaquecimento para evitar a formação de martensita é cerca de 25 °C acima da temperatura de início de formação da martensita. Após a soldagem, o material permanecendo um certo tempo nessa temperatura possibilita a transformação da austenita em bainita resultando num menor nível de tensões internas (AGUIAR, 2001).

No presente trabalho o metal de base utilizado é temperado e revenido, portanto a martensita já está presente, não sendo gerada durante a soldagem.

Materiais de aços ferramentas tendo alto conteúdo de cromo e tungstênio devem ser preaquecidos lentamente para evitar trincas derivadas das tensões causadas pela baixa condução de calor (BÖHLER, 2008).

A razão básica para soldagem de aços ferramentas em elevadas temperaturas derivam da alta capacidade de endurecimento, portanto, há susceptibilidade de trincar o metal de solda e a ZAC. A soldagem de uma ferramenta a frio causará rápido resfriamento do metal de solda e da ZAC, resultando em uma martensita frágil e conduzindo a um alto risco de trinca. Trincas geradas na solda poderão se propagar através da ferramenta. Durante a soldagem multipasses e um preaquecimento adequado da ferramenta e a manutenção da temperatura correta, a solda permanecerá austenítica sob toda a operação de soldagem e vai se transformar lentamente à medida que a ferramenta esfria. Isto garante uma dureza e microestrutura uniforme em toda a solda (BÖHLER, 2008).

Consequentemente a ferramenta deve ser mantida, durante toda a soldagem, de 50 a 100 °C acima da temperatura de início de formação da martensita, para o aço em questão, consultando o diagrama TTT (BÖHLER, 2008).

Em pequenos defeitos ou trincas que não afetam o metal de base é necessário um preaquecimento de aproximadamente 150 °C. Se grandes defeitos necessitam ser reparados, uma temperatura de preaquecimento entre 450 e 600 °C é requerida. Aços cromo molibdênio devem ser preaquecidos a 400 °C, aços Ni Cr Mo requerem preaquecimento de 300 °C (BÖHLER, 2008).

O preaquecimento oferece várias vantagens, como redução de taxas de resfriamento, redução de gradientes de temperatura e diminuição das tensões residuais de tração. Uma vez que a resistência ao escoamento do material se reduz a temperaturas mais elevadas, o acúmulo de tensões residuais máximas também é menor. Para o aço H13 é utilizada uma temperatura de preaquecimento de 400 °C que está acima da temperatura de início da transformação martensítica (RAJEEV; KAMARAJ; SRINIVASA, 2017).

2.9 Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte

Qualquer que seja a teoria aplicada, sempre se tem o desgaste da ferramenta associado a um raio ou arredondamento formado na aresta de corte. Este raio ótimo obtido é o item de controle para a obtenção de planos otimizados de afiações das ferramentas. A partir de

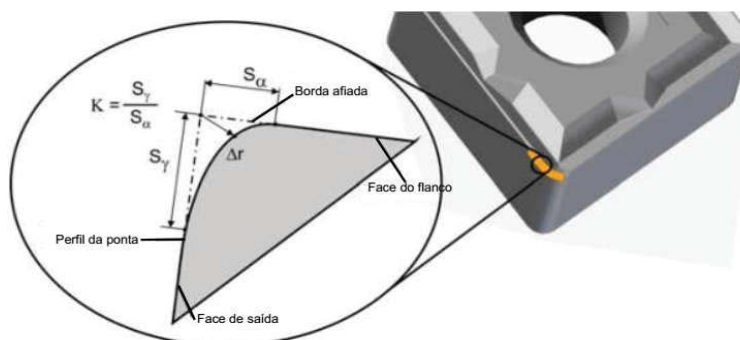
experimentos práticos obtêm-se a quantidade de ciclos de estampagens (ou puncionamentos) necessários para a formação do raio máximo tolerável na aresta de corte (BIANCO, 2003).

A forma sugerida para a medição do desgaste da ferramenta, ou raio de arredondamento da aresta de corte, é através da verificação da quantidade de material removido durante a afiação da ferramenta. Isto somente é possível quando dispõe-se de máquina afiadora ou retífica, onde tem-se o controle dimensional do avanço do abrasivo sobre a ferramenta que está sendo afiada. Logicamente este modo de verificação passa a ser subjetivo e passível de erro, com a remoção de maior quantidade de material que o necessário, reduzindo a vida útil da ferramenta. Uma das formas de reduzir este erro, é através da utilização de um projetor de perfis, dimensionando o raio de arredondamento da aresta de corte (BIANCO, 2003).

O dimensionamento geométrico do raio que é gerado na aresta de corte do punção durante o ensaio de desempenho é realizado adaptando o método utilizado para determinar a microgeometria do gume de inserto.

A forma da microgeometria pode ser consistentemente caracterizada usando os parâmetros Δr , S_y e S_α , conforme ilustra a Figura 16 (DENKENA; LEÓN; BASSETT, 2008).

Figura 16- Caracterização da microgeometria de um inserto

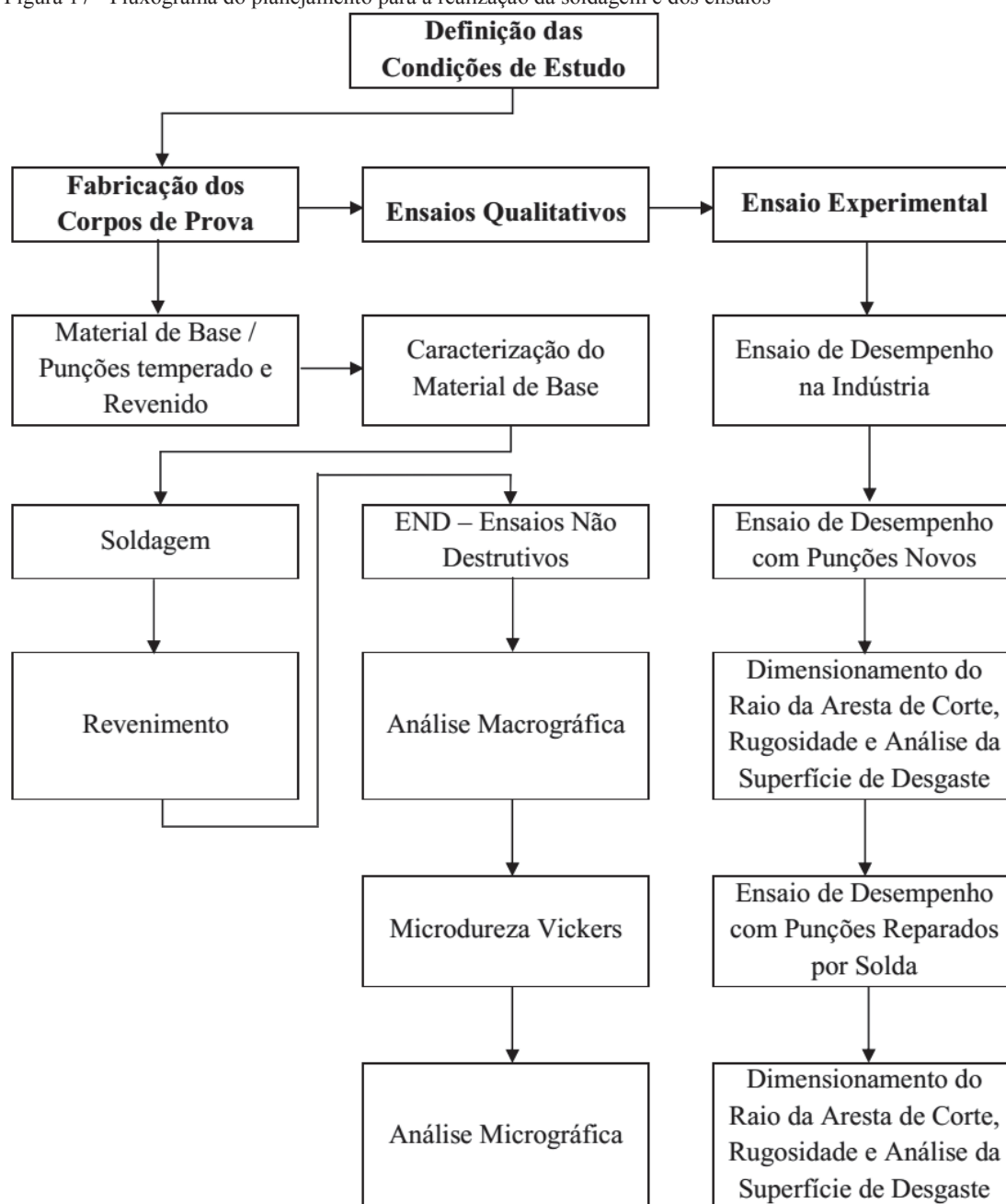


Fonte: Adaptado de DENKENA; LEÓN; BASSETT, 2008.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma da Figura 17 apresenta a sequência de trabalho planejada para a realização da soldagem e dos ensaios. A Tabela 2 apresenta o resumo dos ensaios realizados com o propósito de avaliar a condição adequada de soldagem e desempenho dos punções.

Figura 17 - Fluxograma do planejamento para a realização da soldagem e dos ensaios



Fonte: O Autor, 2017.

Tabela 2 - Resumo dos ensaios realizados

	Estado	Análise Química	Micrografia	Dureza Vickers	EVS	LP	US	Macrografia	Ensaio de Desempenho	Dimensionamento do Raio	Rugosidade	Análise da superfície de Desgaste
Corpo de Prova \varnothing 31,7 x 23 mm	Temperado e Revenido	3	1	3	-	10	-	-	-	-	-	
Corpo de Prova Condição 1	Soldado e Revenido	-	1	2	1	1	1	1	-	-	-	
Corpo de Prova Condição 2	Soldado e Revenido	-	1	2	1	1	1	1	-	-	-	
Corpo de Prova Condição 3	Soldado e Revenido	-	1	2	1	1	1	1	-	-	-	
Corpo de Prova Condição 4	Soldado e Revenido	-	1	2	1	1	1	1	-	-	-	
Punção e Matriz 1	Novo	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1
Punção e Matriz 2	Novo	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1
Punção e Matriz 3	Novo	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1
Punção e Matriz 1	Reparado por Solda	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1
Punção e Matriz 2	Reparado por Solda	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1
Punção e Matriz 3	Reparado por Solda	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1

Fonte: O Autor, 2017.

3.1 Materiais

O aço utilizado neste trabalho foi VF800AT elaborado pela Villares Metals. Os corpos de prova para realizar a soldagem de revestimento e ensaios nas condições em estudo e o conjunto de 3 punções e matrizes para o ensaio experimental de estampagem na indústria foram adquiridos da empresa Milling Ferramentas para Puncionadeiras Ltda. Os corpos de prova, punções e matrizes são da mesma corrida do material e tiveram o seguinte tratamento térmico: alívio de tensões antes da têmpera com temperatura entre 500 e 600 °C e resfriamento em forno até a temperatura de 200 °C; têmpera com temperatura entre 1020 e 1040 °C; e revenimento duplo com temperatura entre 520 e 600 °C com tempo de 2 horas, atendendo as recomendações do fabricante do aço.

Os materiais de base dos corpos de prova com as dimensões de \varnothing 31,7 mm por 23,0 mm de comprimento, como ilustrado na Figura 18, e os punções 11 mm e as matrizes \varnothing 11 +^{0,4} mm como ilustrado na Figura 19, foram usinados pela empresa Milling e tratados

termicamente pela empresa Villares Metals. As dimensões dos corpos de prova foram definidas levando em consideração o diâmetro do corpo do punção utilizado nas puncionadeiras.

Figura 18 - Material de base do corpo de prova \varnothing 31,7 mm por 23,0 mm de comprimento



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 19 - Punção 11 mm e matriz \varnothing 11 $^{+0,4}$ mm



Fonte: O Autor, 2017.

3.1.1 Certificados e caracterização do material de base

Os certificados e relatórios de tratamentos térmicos do material de base, punções e matrizes fornecidos pela fabricante do aço constam nos ANEXOS de A a B.

Após o recebimento dos corpos de prova, punções e matrizes, foi realizado ensaio por líquido penetrante com o objetivo de garantir a inexistência de trincas ou outros defeitos superficiais conforme Figura A.1 do APÊNDICE.

- Ensaio de análise química do material de base

Para análise da composição química do material de base dos corpos de prova foi utilizado um espectrômetro de emissão ótica da marca OXFORD INSTRUMENTS, disponível no Laboratório de Materiais da Universidade de Passo Fundo (UPF).

- Ensaio de dureza HV 10 do material de base

As medições de dureza nos corpos de prova e punções foram realizadas de acordo com a norma ASTM E384 (2016) e obtidas por meio do durômetro universal da marca HECKERT. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UPF.

- Análise microscópica do material de base

Para o ensaio e registro da micrografia foi utilizado o microscópio óptico da marca ZEISS, modelo Axio Scope A1, com capacidade de aumento de 50 a 1000X. O reagente utilizado para revelar a microestrutura foi o Vilella's por 10 s. O ensaio foi realizado no Laboratório de Metalografia da UPF.

3.2 Soldagem dos corpos de prova

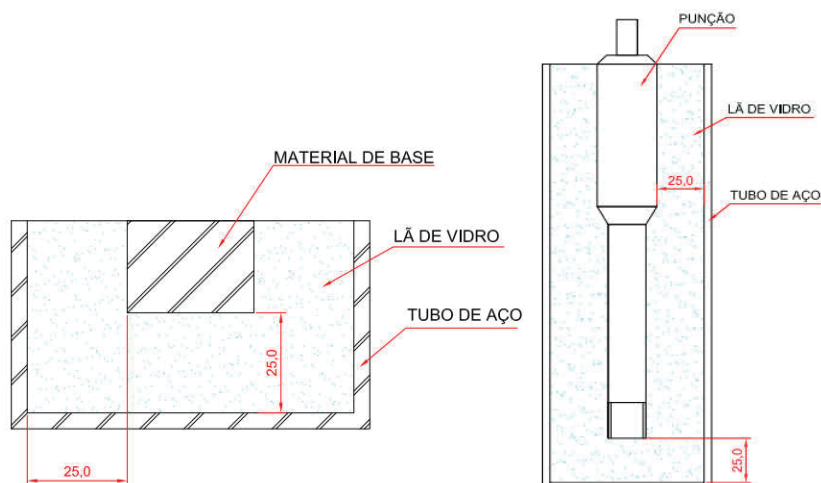
A soldagem dos corpos de prova e punções foi realizada pelo processo GMAW – MAG nas instalações da empresa GERTEC na cidade de Condor – RS. A fonte de soldagem utilizada é da marca Merkle / Balmer modelo MB 250 MK e o soldador que realizou a soldagem dos corpos de prova é qualificado para o processo e a soldagem foi acompanhada por um inspetor de soldagem nível II. O forno mufla utilizado para o preaquecimento e revenimento dos corpos de prova e punções é da marca ZEZIMAQ modelo 2000G.

A temperatura de preaquecimento e de revenimento foi verificada utilizando o termômetro do forno e auxiliado por um termômetro digital sem contato por radiação da marca minipa modelo MT-350.

Os parâmetros de corrente e tensão foram verificados durante toda a operação de soldagem com o auxílio de um alicate amperímetro marca minipa modelo ET-3367.

Para isolar termicamente os corpos de prova e punções durante a soldagem, foi utilizado um tubo metálico revestido internamente com uma manta de lã de vidro com espessura de 25 mm e no centro foram colocados os corpos de prova e punções conforme a Figura 20.

Figura 20 - Configuração para isolar termicamente os corpos de prova e punções



Fonte: O Autor, 2017.

3.2.1 Consumíveis

São os materiais empregados na deposição ou proteção da solda e neste estudo foi o arame de solda e o gás de proteção.

- Metal de adição

Na soldagem foi utilizado um arame do tipo *metal cored* que deposita uma liga martensítica com dureza entre 55 e 60 HRC, apresentando uma resistência muito boa ao desgaste, boa resistência à abrasão e ao impacto e uma boa aderência entre metal de base e metal de adição. A escolha deste metal de adição, foi com o objetivo de alcançar as propriedades mecânicas compatíveis com as do material de base realizando somente o revenimento após a soldagem.

O arame de solda utilizado para a deposição da liga martensítica é classificado pela norma DIN 8555 como MF6-GF-60-GP, com diâmetro nominal de 1,2 mm, denominado comercialmente como *Tube-Alloy 260-G* produzido pelo fabricante Hobart Brothers. O certificado encontra-se no ANEXO C e a composição química apresentada pelo fabricante está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química do arame *Tube-Alloy 260-G*

Elemento	Composição (% em peso)
C	0,70
Mn	2,00
Si	1,00
Cr	8,00
Fe	Restante

Fonte: O Autor, 2017.

- Gás de proteção

O gás de proteção utilizado na soldagem é classificado pela AWS 5.32 como SG – AC 25 que é uma mistura com 25% CO₂ + 75% Argônio. Esta mistura é recomendada pelo fabricante do arame. O gás de proteção utilizado foi fornecido pela empresa White Martins e o certificado encontra-se no ANEXO D.

3.2.2 Procedimento de soldagem

As soldagens dos corpos de prova foram realizadas em quatro condições diferentes, sendo a avaliação do desempenho mecânico o objeto deste trabalho. Os critérios para definir as condições foram:

1. Avaliar o desempenho dos corpos de prova com deposição do metal de adição martensítico;
2. Avaliar a influência da temperatura de preaquecimento;
3. Avaliar a influência da temperatura do revenimento;
4. Avaliar a influência do duplo revenimento.

A definição da temperatura de preaquecimento para a quarta condição com o objetivo de avaliar o duplo revenimento, foi após realizados os ensaios de microdureza e macrografia nas condições 1, 2 e 3.

A Tabela 4 apresenta o resumo das quatro condições propostas e suas variáveis:

Tabela 4 - Resumo das condições de estudo e variáveis

Condição	Material de Base	Metal de Adição	Temperatura de preaquecimento (°C)	Temperatura de revenimento (°C)	Tempo de revenimento (horas)	Quantidade de revenimentos
1	VF800AT temperado e revenido	Tube Alloy 260-G	450	525	2	1
2			500	525	2	1
3			550	525	2	1
4			450	525	2	2

Fonte: O Autor, 2017.

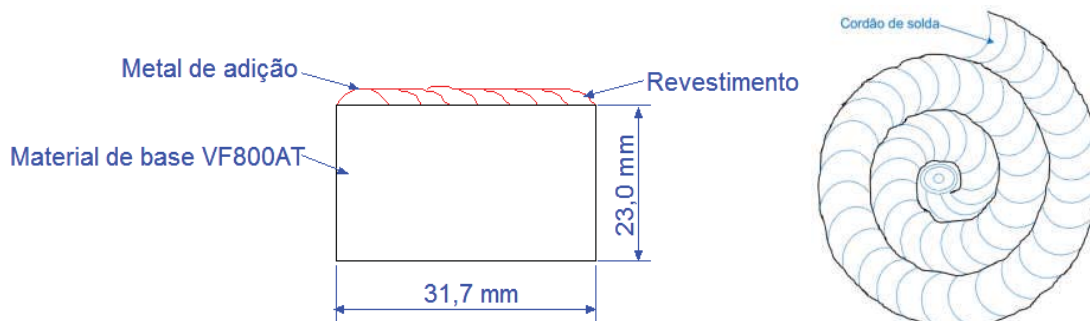
3.2.3 Condição 1

O procedimento de soldagem de revestimento foi realizado em dois corpos de prova, sendo realizado o depósito na seção transversal do corpo de prova cilíndrico iniciando pela periferia e soldando em espiral até o centro. O processo de soldagem dos corpos de prova seguiu as seguintes etapas:

1. Realizado o preaquecimento a 450 °C no forno mufla;
2. Soldagem;
3. Realizado o revenimento no forno mufla imediatamente após a soldagem e o corpo de prova atingir 60 °C com temperatura de 525 °C durante duas horas e resfriamento em forno fechado até 200 °C e ao ar livre até a temperatura ambiente;
4. Realizado ensaios não destrutivos de EVS, LP e US nos corpos de prova soldados.

O corpo de prova soldado obtido está ilustrado na Figura 21 e na Tabela 5 estão descritos os parâmetros de soldagem utilizados.

Figura 21 - Configuração do corpo de prova soldado



Fonte: O Autor, 2017.

Tabela 5 - Parâmetros de soldagem

Processo de soldagem	GMAW – MAG
Tipo	Semi-Automático
Tipo de solda	Revestimento
Gás de proteção	SG-AC 25
Composição	75% Argônio + 25% CO ₂
Vazão (l/min)	12
Ø do bocal (mm)	16
Posição de soldagem	Plana
Modo de transferência	Curto Circuito
Tipo de corrente	Contínua
Polaridade	Inversa
Características da fonte	Tensão Constante
Corrente (A)	90 - 100
Tensão (V)	16,8 – 17,5
Velocidade de soldagem (mm/minuto)	232,7
Energia de soldagem (J/mm)	451
Passe retilíneo ou oscilado	Retilíneo
Distância bico-peça (mm)	15 - 20
Limpeza inicial	Escovamento

Fonte: O Autor, 2017.

3.2.4 Condição 2

Nesta condição o procedimento seguiu a mesma concepção e parâmetros de soldagem da condição 1, com exceção da temperatura de preaquecimento que foi de 500 °C, a fim de avaliar o efeito desta no desempenho da solda.

3.2.5 Condição 3

Nesta condição o procedimento seguiu a mesma concepção e parâmetros de soldagem da condição 1, com exceção da temperatura de preaquecimento que foi de 550 °C, a fim de avaliar o efeito desta no desempenho da solda.

3.2.6 Condição 4

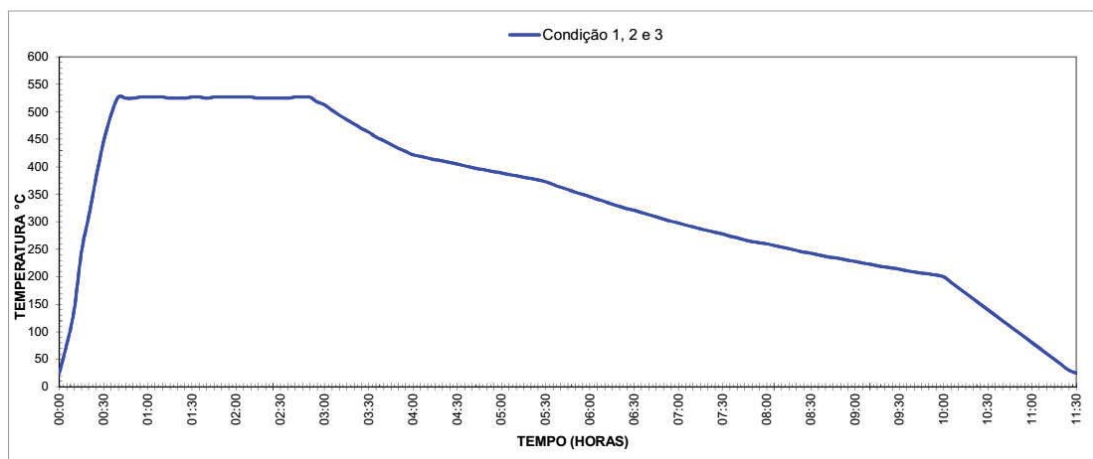
Nesta condição o procedimento seguiu a mesma concepção e parâmetros de soldagem da condição 1, variando a quantidade de revenimentos, a fim de avaliar o efeito no desempenho da solda.

3.2.7 Revenimento

O revenimento realizado após a soldagem nas condições 1, 2 e 3 foi com o objetivo de reverter a martensita. Os corpos de prova foram revenidos todos em uma única vez para eliminar possíveis variações, utilizando os seguintes parâmetros: temperatura de revenimento de 525 °C; tempo de revenimento de 2 horas; resfriamento em forno fechado até 200 °C e ao ar livre até a temperatura ambiente. A Figura 22 ilustra o gráfico do revenimento.

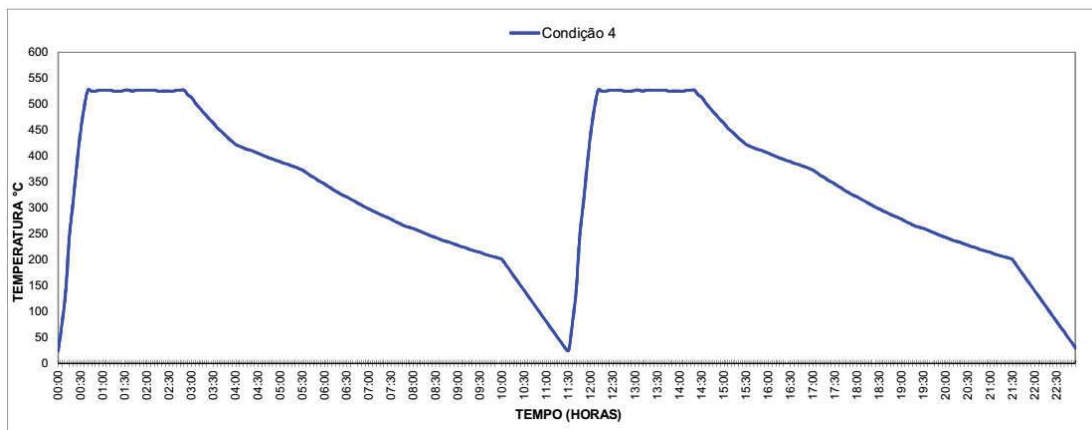
Na condição 4 foram realizados dois revenimentos com os mesmos parâmetros das condições 1, 2 e 3, sendo que entre cada revenimento os corpos de prova resfriaram até a temperatura ambiente. A Figura 23 ilustra o gráfico do duplo revenimento.

Figura 22 - Gráfico do revenimento para a condição 1, 2 e 3.



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 23 - Gráfico do duplo revenimento para a condição 4



Fonte: O Autor, 2017.

3.3 Avaliação não destrutiva

Com o objetivo de avaliar os corpos de prova soldados quanto a descontinuidades abertas na superfície e internas foram realizados ensaios não destrutivos – END.

- Ensaio visual de solda

O ensaio visual de solda foi feito com o GER – 09 Técnico: Procedimento de Ensaio Visual de Soldas, Fundidos, Laminados, Forjados e Dimensional de Soldas, nos corpos de prova soldados antes e após o revenimento. O critério de aceitação utilizado foi do código ASME VIII Div. 1 e o relatório encontra-se na Figura A.2 do APÊNDICE.

- Ensaio por líquido penetrante

O ensaio por líquido penetrante foi feito com o GER – 14 Técnico: Procedimento para ensaio por líquido penetrante, nos corpos de prova soldados após o revenimento. O critério de aceitação utilizado foi do código ASME VIII Div. 1 Apêndice 8 e o relatório encontra-se na Figura A.3 do APÊNDICE.

- Ensaio por ultrassom

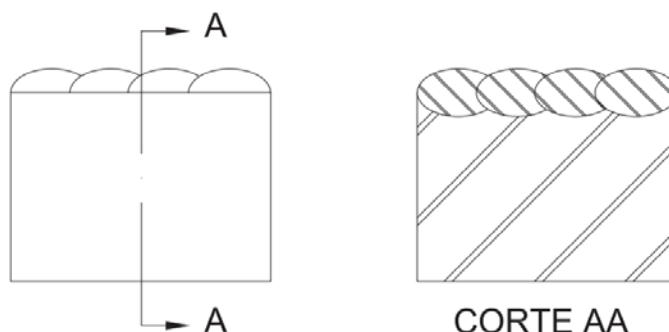
O ensaio por ultrassom *phased array* foi realizado com o aparelho da marca GE, modelo PHASOR XS, utilizando o GER – 17 Técnico Procedimento Para Ensaio por Ultrassom *Phased Array*, nos corpos de prova soldados após o revenimento. O critério de aceitação utilizado foi do código ASME VIII Div. 1 Apêndice 12 e o relatório encontra-se na Figura A.4 do APÊNDICE.

3.4 Corte dos corpos de prova e preparação para metalografia

O corte dos corpos de prova foi feito em uma policorte com refrigeração utilizando disco abrasivo para dureza maior que 45 HRC. O plano de corte e retirada das amostras foi conforme mostra a Figura 24.

A preparação dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Metalografia da UPF utilizando o procedimento operacional técnico para preparação de metalografica.

Figura 24 - Plano de corte e retirada das amostras



Fonte: O Autor, 2017.

3.5 Macrografia e micrografia

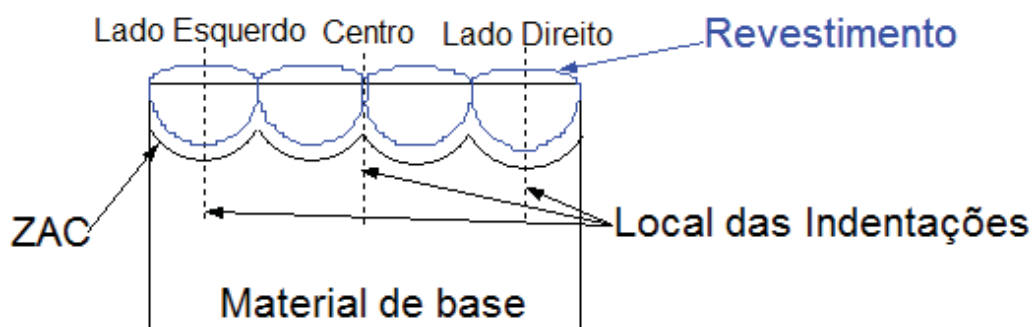
Para o registro das macrografias, foi utilizado o estereomicroscópio binocular, da marca ZEISS, modelo STEMI 2000-C com aumento de 6,5 a 50x.

A documentação para as micrografias foi utilizada o microscópio óptico da marca ZEISS, modelo Axio Scope A1, com capacidade de aumento de 50 a 1000X. O reagente utilizado para revelar a macro e microestrutura foi o Villela's por 10 s. O ensaio foi realizado no Laboratório de Metalografia da UPF.

3.6 Ensaio de microdureza vickers

As medições de microdureza foram realizadas conforme a norma ASTM E384 (2016) e obtidas por meio de um microdurômetro da marca SHIMADZU, modelo HVM-G 20ST. A carga aplicada foi de 0,1 kgf, tempo de aplicação da carga de 15 segundos com distância de 0,3 mm entre indentações. Foram levantados os perfis de microdureza na seção transversal da ZAC, numa direção perpendicular à superfície do corpo de prova, conforme mostra a Figura 25, com o objetivo de se determinar as durezas no material de base, ZAC e Metal de adição. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos da UPF.

Figura 25 - Configuração para medir o perfil de dureza



Fonte: O Autor, 2017.

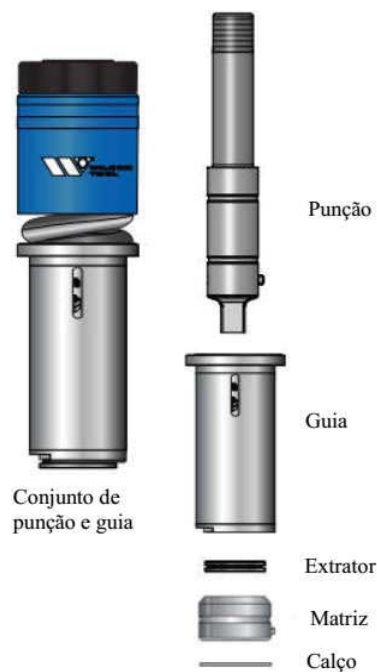
3.7 Ensaio experimental de desempenho na indústria

Após realizada a soldagem dos corpos de prova e os ensaios para as quatro condições em estudo, concluiu-se que os melhores parâmetros e técnicas de soldagem foram os da condição 1. Com o objetivo de validar experimentalmente esta condição foi realizado o ensaio de desempenho na empresa Joscil – Equipamentos para Cereais Ltda., na cidade de Condor – RS. Foi escolhida a estampagem por corte porque o desgaste do punção e matriz de corte ocorrem em uma velocidade maior do que por conformação, além da velocidade dos ensaios ser mais rápida do que em conformação.

Os ensaios foram realizados em uma puncionadeira da marca AMADA, modelo EMZ 3610 NT, utilizando o conjunto de punção e matriz de \varnothing 11 mm conforme Figura 26. O material de base utilizado para o ensaio foi uma chapa de aço carbono especificada como

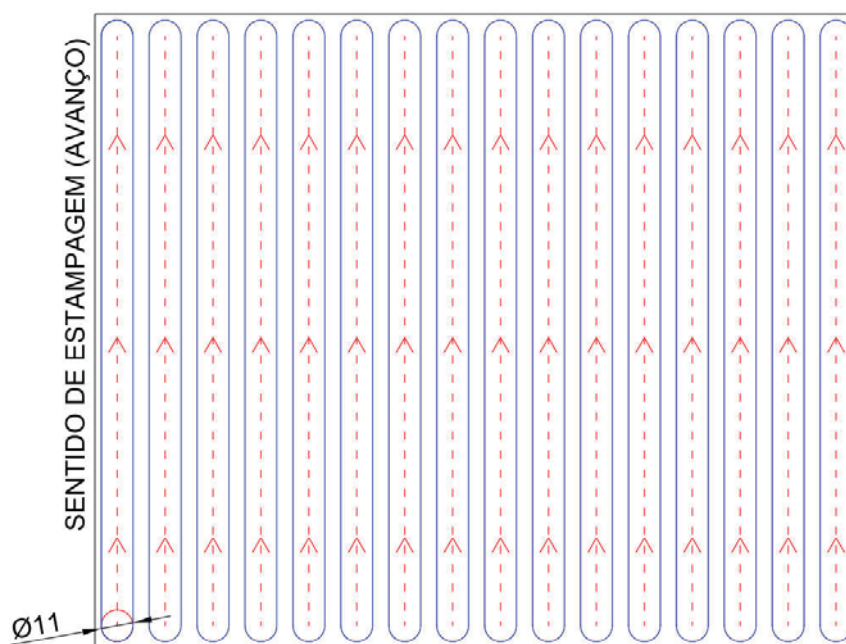
NBR 6658 com espessura de 1,50 mm e o seu certificado encontra-se no ANEXO E. O plano de estampagem está ilustrado na Figura 27.

Figura 26 - Conjunto punção e matriz



Fonte: Wilson Tools, 2017.

Figura 27 - Plano de estampagem



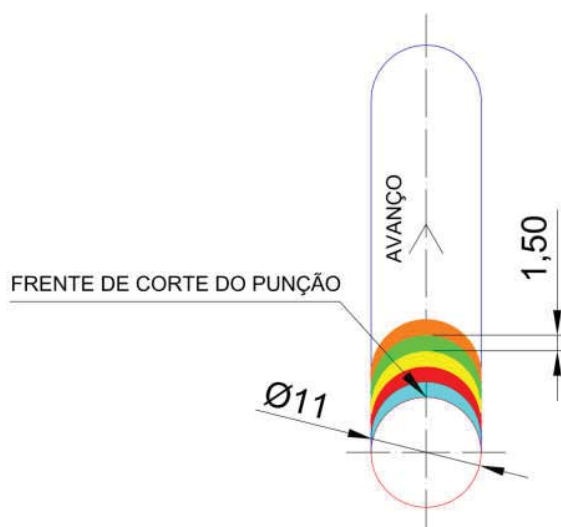
Fonte: O Autor, 2017.

3.7.1 Ensaio com punções novos

Foi realizado o ensaio com três conjuntos de punções e matriz novos com o objetivo de se obter um valor médio do desgaste da aresta de corte do punção. Foram realizadas 50.000 estampagens para cada punção. Este valor é uma orientação do fabricante (MILLING PUNÇONADEIRAS, 2008) para se fazer a primeira afiação.

Para otimizar o ensaio foi utilizado uma velocidade de seis golpes (puncionamentos) por segundo e estampagem contínua, ou seja, o punção fez o primeiro estampo e depois avançou 1,50 mm e assim por diante até atingir as 50.000 estampagens. Com este método de estampagem o punção desgastou a metade de seu perímetro mais 0,75 mm conforme mostra a Figura 28 e, como pode ser visto no plano de estampagem na Figura 27, a chapa se deslocou estampando no sentido de avanço e quando chegou ao final da chapa retornou sem estampar para a posição inicial e começou a estampar novamente desgastando somente uma frente de corte do punção.

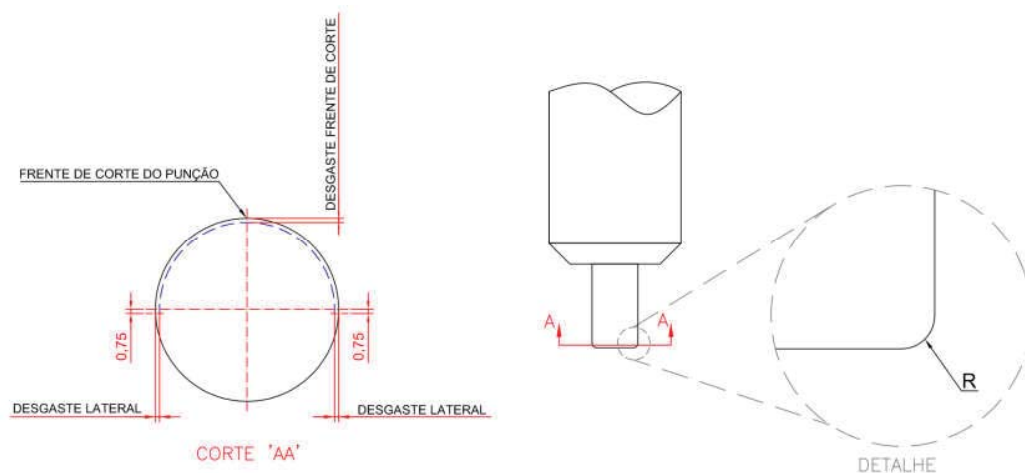
Figura 28 - Configuração da estampagem



Fonte: O Autor, 2017.

Após as 50.000 estampagens, o punção teve desgaste somente em uma frente de corte e nas laterais conforme mostra a Figura 29. De acordo com o fabricante este desgaste é em forma de raio de aproximadamente 0,1 mm.

Figura 29 - Configuração do desgaste do punção

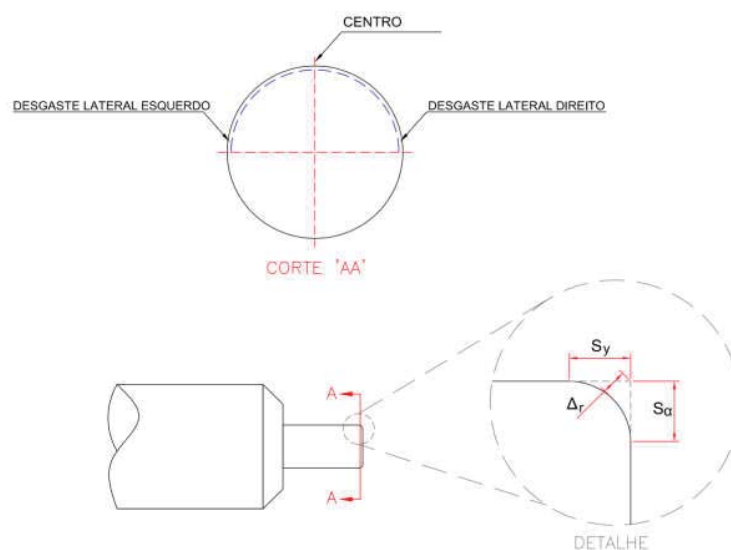


Fonte: O Autor, 2017.

3.7.2 Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções novos

Após a estampagem com os punções novos foi realizada a medição da forma geométrica do raio da aresta de corte dos três punções para quantificar o desgaste dos mesmos após 50.000 estampagens utilizando o estereomicroscópio binocular, da marca ZEISS, modelo STEMI 2000-C com aumento de 6,5 a 50x. A forma geométrica foi determinada utilizando os parâmetros Δr , S_y e S_a propostos por (DENKENA; LEÓN; BASSETT, 2008), e realizado três medições conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Local das medições do raio da aresta de corte



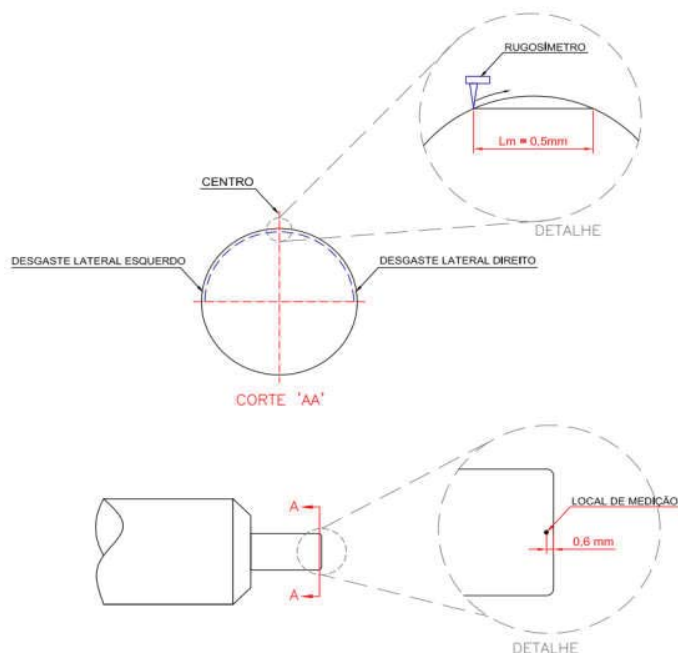
Fonte: O Autor, 2017.

3.7.3 Medição da rugosidade e análise da superfície de desgaste dos punções novos

Foi realizada a medição da rugosidade para os três punções novos após a estampagem, determinando o desvio máximo (R_z) conforme a norma ISO 4287. As medições foram feitas em três locais a uma distância da ponta do punção de 0,6 mm e o percurso de medição (L_m) de 0,5 mm conforme ilustrado na Figura 31. Entretanto, o rugosímetro apresenta uma limitação de realizar medição em superfícies convexas que é o caso dos punções. Portanto, foi realizado a medição com a configuração para superfície plana conforme ilustrado na Figura 31, pois os valores serão comparativos entre os punções novos e reparados por solda.

Esta rugosidade foi analisada em um rugosímetro Mitutoyo modelo SJ-410, com resolução 0,01 μm (range 800 μm), 0,001 μm (range 80 μm) e 0,0001 μm (range 8 μm), com raio de ponta do apalpador de diamante de 5 μm . O ensaio foi realizado no Laboratório de Metrologia da UPF.

Figura 31 - Local das medições da rugosidade



Fonte: O Autor, 2017.

Foi realizada a análise da superfície de desgaste dos três punções, no mesmo local de medição da rugosidade, sendo escolhido o centro do punção, através de microscopia óptica e eletrônica de varredura, com a finalidade de determinar o tipo de desgaste atuante, com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) TESCAN modelo VEJA LM3, com

capacidade de ampliações, na ordem de 300000X. O ensaio foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UPF.

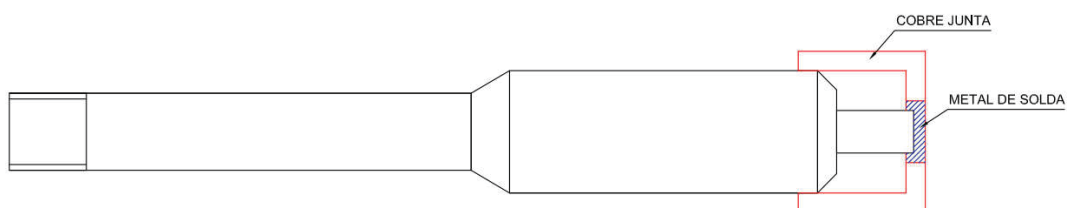
3.7.4 Soldagem dos punções para o ensaio de desempenho na indústria

Após realizada a estampagem, dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte, rugosidade e análise da superfície de desgaste com os punções novos, foram cortados, na ponta de trabalho, um comprimento de 3,0 mm com o auxílio de uma eletro erosão a fio. Esta porção foi cortada para depositar o metal de solda com o objetivo de simular um reparo.

Foram utilizados os parâmetros e técnicas da condição 1 com o auxílio de um cobre junta confeccionado em cobre para conter o metal de solda líquido conforme Figura 32 e realizado o revenimento após a soldagem.

Foi utilizado uma retífica cilíndrica para caracterizar os punções no seu diâmetro original de 11 mm.

Figura 32 - Deposição do metal de solda nos punções



Fonte: O Autor, 2017.

3.7.5 Ensaio com punções reparados por solda

Com o objetivo de validar o reparo por soldagem foram realizados ensaios com os três punções na mesma concepção do item 3.7.1, realizado o dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte na mesma concepção do item 3.7.2 e a medição da rugosidade e da análise da superfície de desgaste foi realizada na mesma concepção do item 3.7.3.

3.8 Análise estatística

A análise estatística dos experimentos foi realizada por meio do *software* livre estatístico SISVAR, aplicando a análise de variância (ANOVA) com o método de Tukey, a um nível de 5% de significância.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização do material de base

- Análise não destrutiva do material de base

Com a finalidade de verificar o material de base dos corpos de prova, os punções e matrizes utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizados ensaios por líquido penetrante e, através da análise dos relatórios de ensaio apresentados na Figura A1 do APÊNDICE, os materiais foram aprovados, não apresentando descontinuidades.

- Análise química

Os resultados da análise química de três corpos de prova do material de base, iguais aos da Figura 18, foram comparados com o especificado pela fabricante Villares Metals e com o certificado do material de base fornecido pelo fabricante dos corpos de prova, conforme ilustrado na Tabela 6. A fabricante Villares Metals não estabelece tolerâncias para os valores da composição química, sendo os valores especificados, para os teores dos elementos, estimativas médias. Já as médias dos valores encontrados, quando comparadas com o especificado pelo fabricante Villares Metals, para o Si e Nb, encontram-se abaixo do valor especificado.

Tabela 6 - Composição química do material de base

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb
Especificado pelo Fabricante (%)	0,85	1,00	0,40	8,50	2,00	0,50	0,15
Certificado (%)	0,83	0,90	0,36	8,26	2,14	0,47	0,13
Amostra 1 (%)	0,895	0,812	0,355	8,51	2,16	0,464	0,102
Amostra 2 (%)	0,853	0,814	0,353	8,44	2,12	0,431	0,098
Amostra 3 (%)	0,836	0,814	0,351	8,47	2,11	0,410	0,106
Média (%)	0,861	0,813	0,353	8,47	2,13	0,435	0,102
Desvio Padrão (%)	0,030	0,001	0,002	0,03	0,02	0,027	0,004

Fonte: O Autor, 2017.

- Dureza

Os resultados de dureza HV 10 de três corpos de prova do material de base, iguais os da Figura 18, foram comparados com o especificado pelo fabricante Villares Metals e com o certificado do material de base fornecido pelo fabricante dos corpos de prova, conforme ilustrado na Tabela 7. Os valores de dureza especificados pelo fabricante Villares Metals e no certificado do material de base estão expressos em HRC e, na Tabela 7, os mesmos foram convertidos para HV de acordo com a ASTM E140 (2007). O desvio padrão encontrado para as durezas foram baixos, mas os valores ficaram abaixo do valor especificado pelo fabricante Villares Metals.

Tabela 7 - Dureza Vickers HV10 do material de base

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Especificado pelo Fabricante (HRC)	59 (674 HV) – 61 (720 HV)		
Certificado (HRC)	59 (674 HV) – 60 (697 HV)		
Medição 1 (HV)	653	633	653
Medição 2 (HV)	653	653	674
Medição 3 (HV)	653	653	653
Média (HV)	653	646	660
Desvio Padrão (HV)	0	11	12

Fonte: O Autor, 2017.

- Micrografia do material de base

A análise micrográfica do material de base apresenta uma microestrutura martensítica com morfologia mista entre ripas e placas que se cruzam formando uma estrutura martensítica complexa em rede, conforme ilustrado na Figura 33. Observa-se carbonetos primários não dissolvidos destacados em amarelo na matriz martensítica e inclusões destacadas nos círculos em vermelho. Estes carbonetos são menores que os do aço D2, aumentando a tenacidade. Resultado semelhante foi citado por Mesquita e Barbosa (2005) na Figura 2 e por Kim et al. (2015).

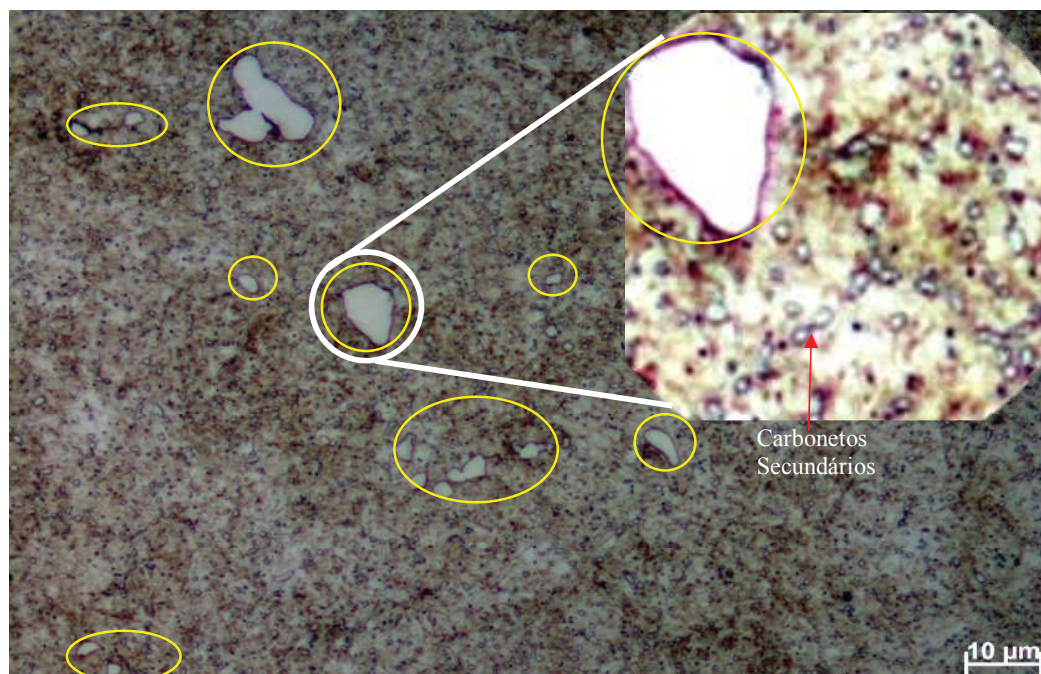
Na Figura 34, com aumento de 1000X, observa-se em círculos amarelos os carbonetos primários não dissolvidos e uma fina precipitação de carbonetos secundários formados durante o revenimento a alta temperatura, provocando um endurecimento reforçado. Resultado semelhante foi citado por Kim et al. (2015).

Figura 33 - Micrografia do material de base (ataque Vilela's, aumento 200X)



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 34 - Micrografia do material de base (ataque Vilela's, aumento 1000X)



Fonte: O Autor, 2017.

4.2 Análise não destrutiva dos corpos de prova soldados

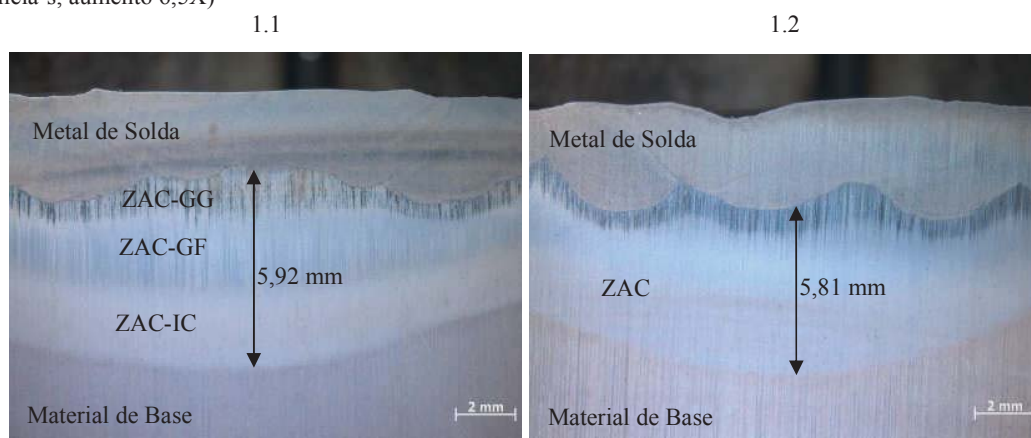
Com o objetivo de avaliar os corpos de prova soldados, para as quatro condições propostas, foram realizados ensaios visual e líquido penetrante para verificar a existência de descontinuidades abertas a superfície e ultrassom para internas, sendo que para ultrassom e visual não foram detectadas descontinuidades, conforme relatórios nas Figuras A2 e A4 do APÊNDICE. No entanto, o ensaio de líquido penetrante apresentou um pequeno manchamento na cratera de um corpo de prova de cada condição, conforme relatório na Figura A3 do APÊNDICE.

4.3 Análise macrográfica dos corpos de prova soldados

Por meio da análise macrográfica foi possível verificar as regiões da solda dos corpos de prova para as quatro condições de estudo e para cada condição foram soldados dois corpos de prova. Observa-se que em todos os corpos de prova houve fusão total entre material de base e metal de solda, a inexistência de poros, trincas e outros defeitos internos, somente para os corpos de prova 4.1 e 4.2, ilustrados na Figura 38, apresentam trinca de cratera e a causa foi a falta de enchimento da cratera no final do cordão de solda.

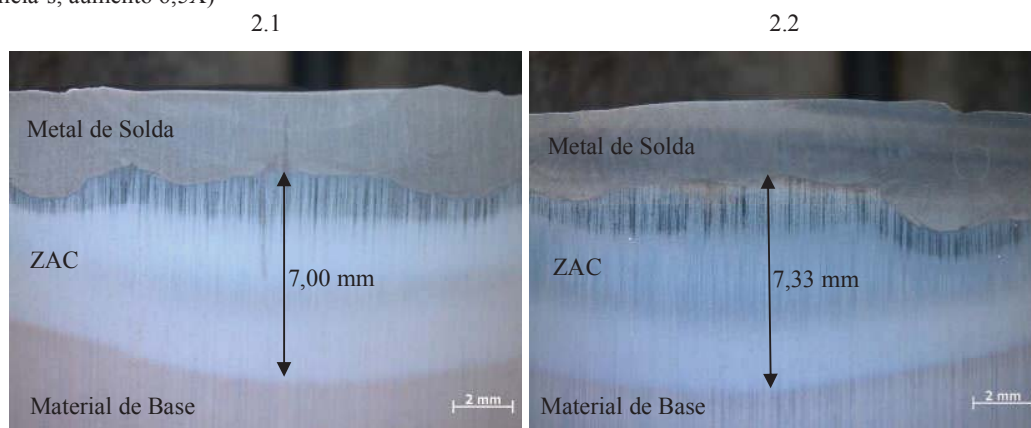
Na Figura 35 estão ilustradas as macrografias da condição 1, que apresentam o metal de solda homogêneo, a ZAC com suas subdivisões de ZAC-GG, ZAC-GF e ZAC-IC e o metal de base. Estas subdivisões da ZAC também se apresentaram para as condições 2 e 3, como pode ser visto nas Figuras 36 e 37. Resultado semelhante foi citado por Aguiar (2001) e ASM (1993). Outro ponto observado para as condições 1, 2 e 3 é na geometria da ZAC-GG, que acompanha a linha de fusão entre o metal de solda e material de base, no entanto, para a ZAC-GF e ZAC-IC a geometria não acompanha a linha de fusão, formando uma geometria côncava. Esta geometria é em função de que as soldas dos corpos de prova foram executadas em espiral da periferia para o centro concentrando uma maior energia de soldagem no centro. Resultado semelhante foi citado por Böhler (2008) na Figura 9.

Figura 35 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 1.1 e 1.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)



Fonte: O Autor, 2017.

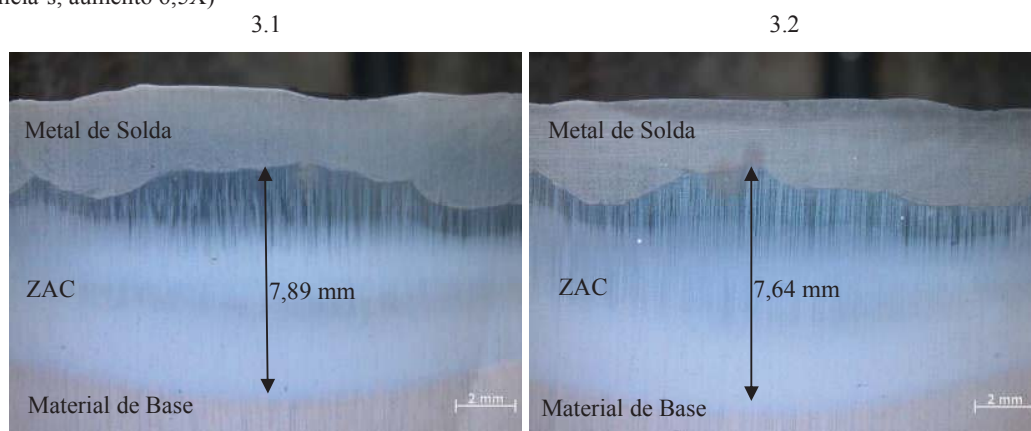
Figura 36 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 2.1 e 2.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)



Fonte: O Autor, 2017.

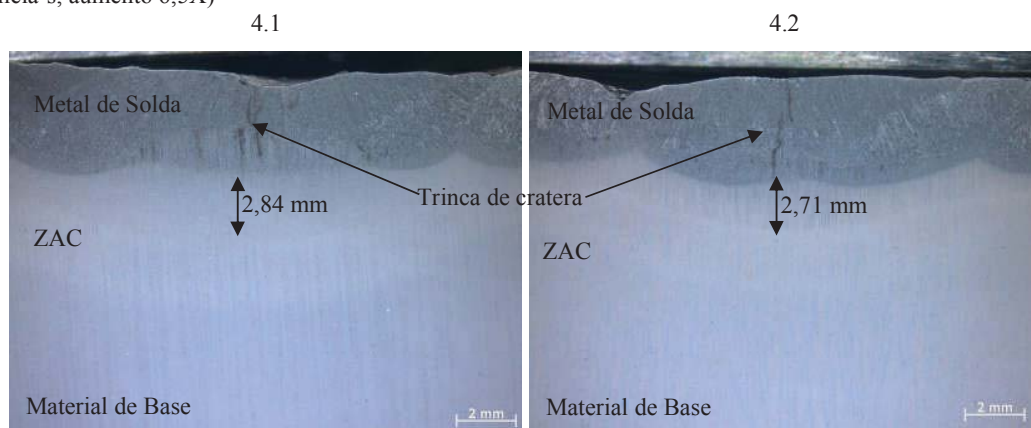
Para as condições 1, 2, 3 e 4 foi determinada a extensão da ZAC conforme ilustrado nas Figuras 35, 36, 37 e 38. Observa-se que, conforme foi aumentando a energia de soldagem, através do aumento da temperatura de preaquecimento para as condições 1, 2 e 3, a extensão da ZAC também aumentou. Para a condição 4 que foi soldada com os mesmos parâmetros da condição 1, com duplo revenimento observa-se uma ZAC menor do que as condições anteriores, a inexistência das subdivisões da ZAC com ZAC-GG e ZAC-GF, apresentando uma ZAC e material de base super revenido em função do duplo revenimento.

Figura 37 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 3.1 e 3.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 38 - Macrografia do material de base soldado da região central dos corpos de prova 4.1 e 4.2 (ataque Villela's, aumento 6,5X)



Fonte: O Autor, 2017.

4.4 Análise micrográfica dos corpos de prova soldados

Através da análise micrográfica foram determinadas as microestruturas em cada região da solda para as quatro condições propostas, sendo que na análise foi considerado um corpo de prova de cada condição. Durante a análise foi constatado que, para as condições 1, 2 e 3, em que foi realizado somente um revenimento, as microestruturas encontradas nas regiões da solda são iguais, portanto será abordado somente uma imagem da microestrutura de cada região. Para a condição 4, a microestrutura do material de base é igual as das condições 1, 2 e 3 e a microestrutura da ZAC e metal de solda são diferentes.

Na Figura 39 está ilustrado o metal de solda que apresenta uma microestrutura martensítica em forma de ripas que se cruzam e com uma morfologia dos grãos dendrítica. Resultado semelhante foi citado por Tonkovič, et al. (2015) e Rajeev, Kamaraj e Srinivasa (2017) nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 39 - Micrografia do metal de solda da condição 3 do corpo de prova 3.2. (ataque Villela's, aumento 200X)

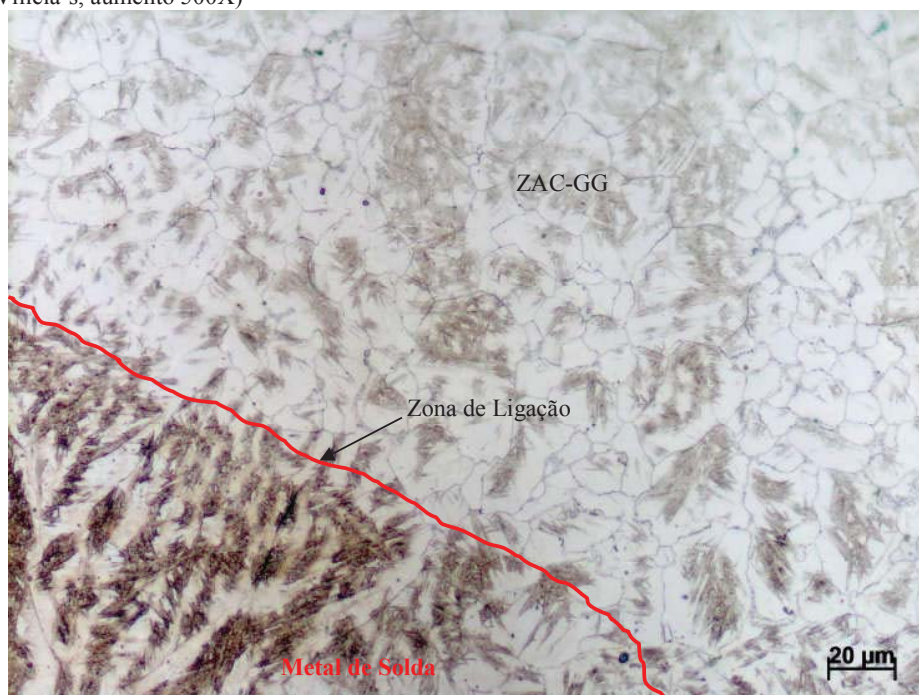


Fonte: O Autor, 2017.

Na Figura 40 está ilustrada a zona de ligação entre o metal de solda e o material de base na região da ZAC-GG, como pode ser observado na Figura 35, corpo de prova 1.1 a ZAC apresentou subdivisões e a microestrutura nesta região é martensítica em forma de ripas com grão grosseiro. Resultado semelhante foi citado por Tonkovič, et al. (2015) nas Figuras 12 e 13.

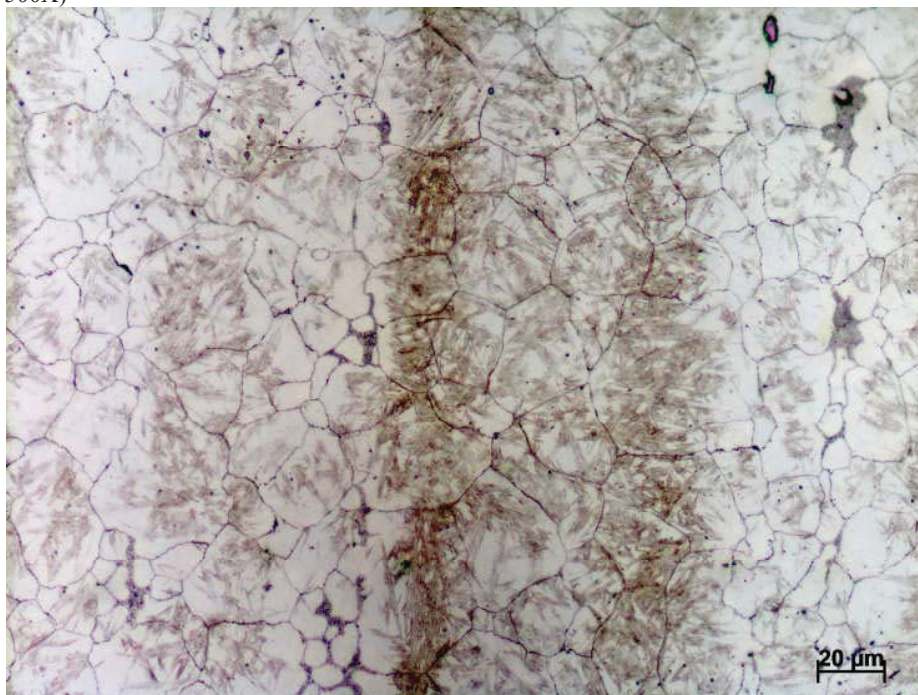
Na Figura 41 está ilustrada a região da ZAC-GF com microestrutura martensítica em forma de ripas e grão fino, conhecida como região retemperada para aços temperados e revenidos. Resultado semelhante foi citado por Gonçalves (2016) na Figura 11.

Figura 40 - Micrografia da zona de ligação entre o metal solda e ZAC da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Vilela's, aumento 500X)



Fonte: O Autor, 2017.

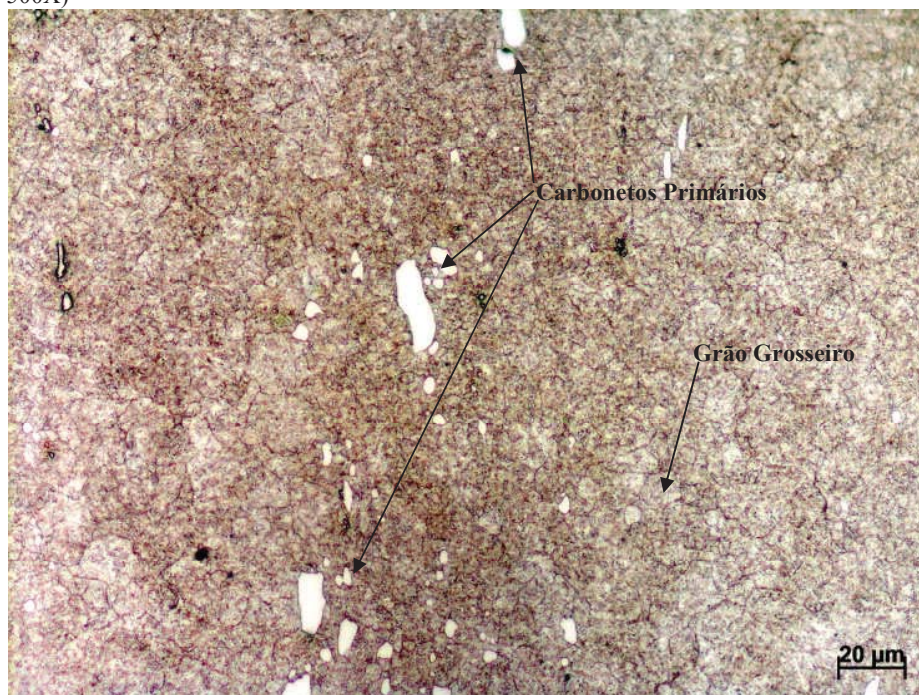
Figura 41 - Micrografia do material de base na ZAC-GF da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Vilela's, aumento 500X)



Fonte: O Autor, 2017.

Na Figura 42 está ilustrada a região da ZAC-IC com microestrutura martensítica com morfologia mista entre ripas e placas que se cruzam, carbonetos primários não dissolvidos, uma fina precipitação de carbonetos secundários e grão grosseiro.

Figura 42 - Micrografia do material de base na ZAC-IC da condição 1 do corpo de prova 1.2 (ataque Vilela's, aumento 500X)

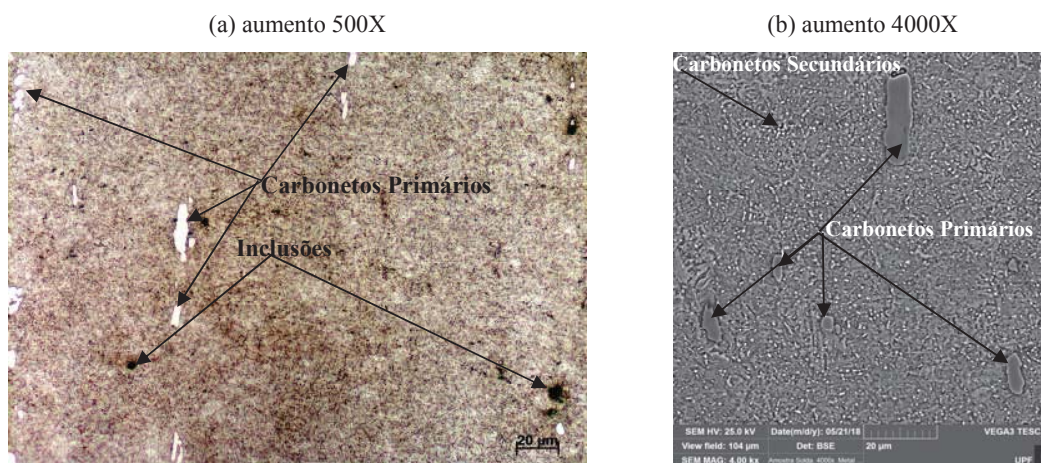


Fonte: O Autor, 2017.

Na Figura 43 (a) e (b) está ilustrada a região do material de base adjacente a ZAC com microestrutura martensítica com morfologia mista entre ripas e placas que se cruzam, carbonetos primários não dissolvidos, uma fina precipitação de carbonetos secundários e grão austenítico fino. Resultado semelhante foi citado por Mesquita e Barbosa (2005) na Figura 2.

Na Figura 44 está ilustrado o metal de solda e a ZAC da condição 4, na Figura 45 (a) para o metal de solda observa-se uma morfologia de grãos dendríticos com uma fase de martensita revenida e pequenos carbonetos de cromo dispersos na matriz e para a ZAC na Figura 45 (b) observa-se a fase martensítica em ripas e placas de forma mais acentuada, com pequenos pontos de carbonetos secundários dispersos.

Figura 43 - Micrografia do material de base da condição 2 do corpo de prova 2.1 (ataque Villela's)



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 44 - Micrografia da zona de ligação entre o metal solda e ZAC da condição 4 do corpo de prova 4.2 (ataque Villela's, aumento 200X)



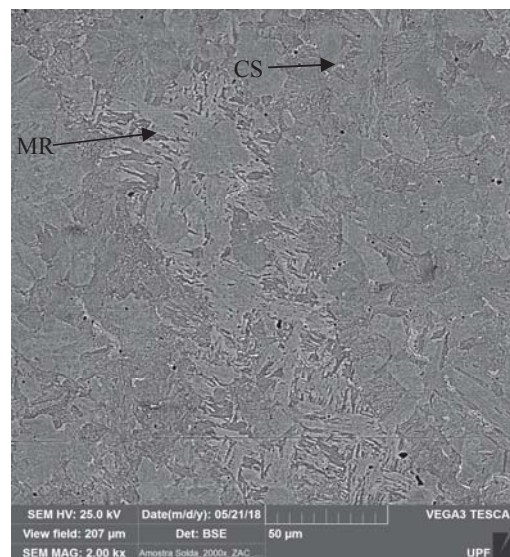
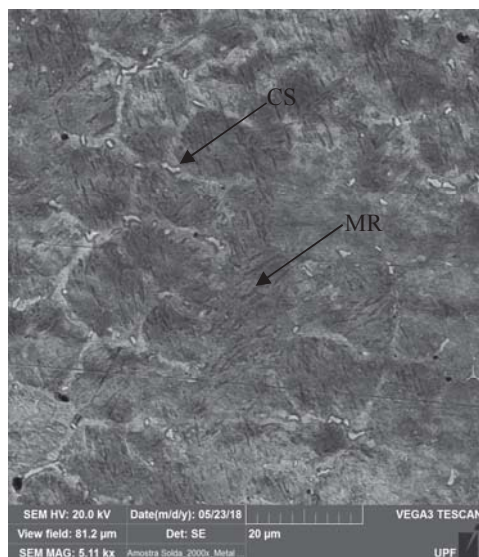
Fonte: O Autor, 2017.

Figura 45 - Micrografia do metal de solda e ZAC da condição 4 do corpo de prova 4.2 (ataque Villela's)

(a) aumento 5000X

(b) aumento 4000X

- Grãos dentrícticos com regiões de MR - martensita revenida e CS - carbonetos secundários dispersos na matriz.



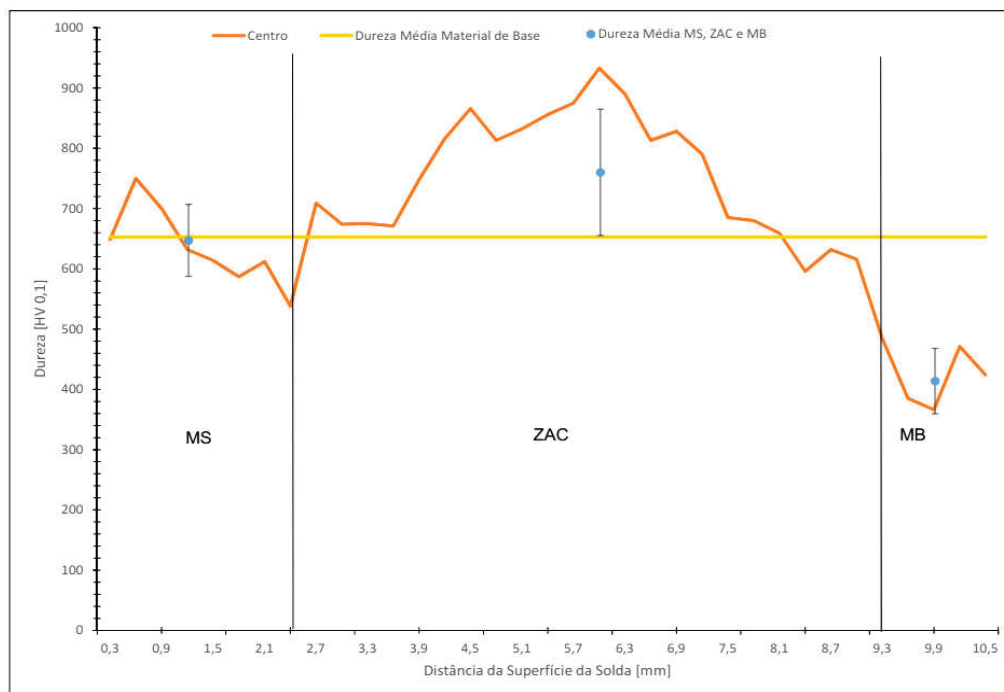
Fonte: O Autor, 2017.

4.5 Análise da microdureza vickers

Através da medição do perfil de microdureza, foi possível determinar as durezas nas regiões da solda para as quatro condições propostas, sendo que na análise gráfica foram considerados as medições no centro para um corpo de prova de cada condição. A escolha do centro foi em função da ZAC apresentar uma maior extensão. Nos gráficos são apresentados os perfis das durezas nas regiões do MS, ZAC e MB, a dureza média e desvio padrão e a dureza média do material de base antes da soldagem que é 653 HV. Durante a análise foi constatado que para as condições 1, 2 e 3, nas quais foi realizado um revenimento, os perfis das durezas encontradas nas regiões da solda têm uma característica semelhante.

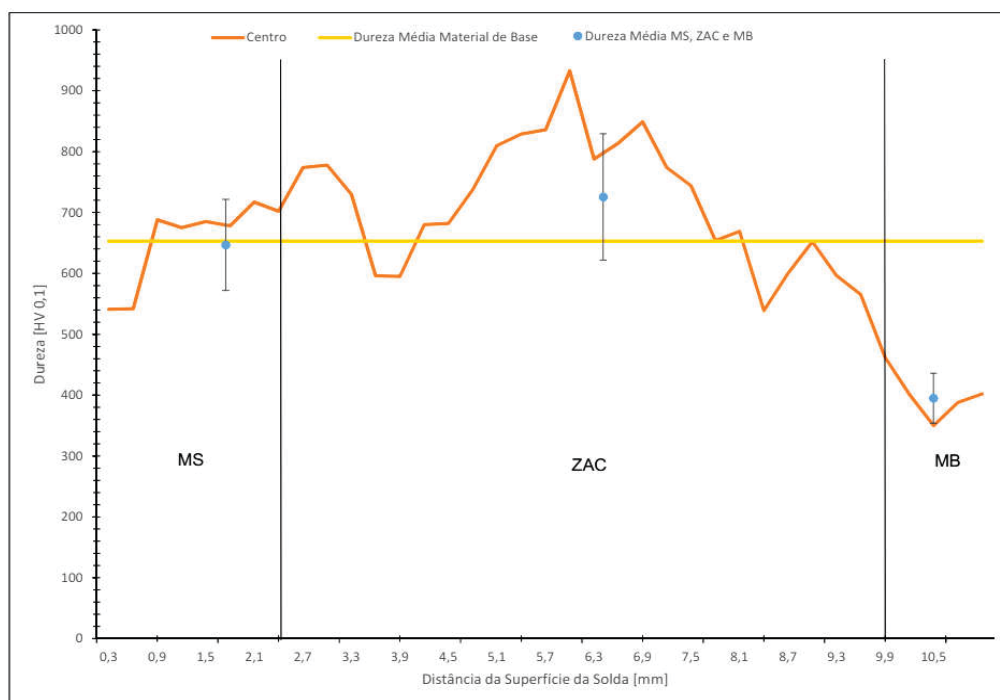
Observa-se, nos gráficos das Figuras 46, 47 e 48, que nas subdivisões da ZAC a dureza teve uma queda para a ZAC-GG, na sequência um aumento significativo na ZAC-GF e um decréscimo na ZAC-IC. Resultado semelhante foi citado por Böhler (2008) na Figura 10.

Figura 46 - Perfil de microdureza da solda da condição 1 do corpo de prova 1.1



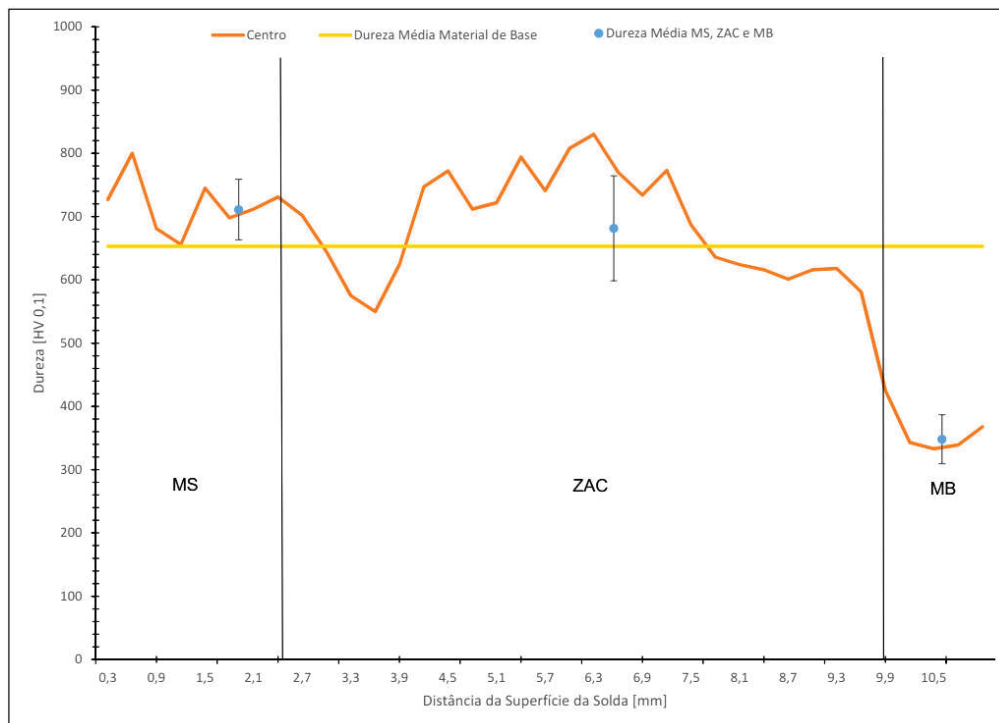
Fonte: O Autor, 2017.

Figura 47 - Perfil de microdureza da solda da condição 2 do corpo de prova 2.1



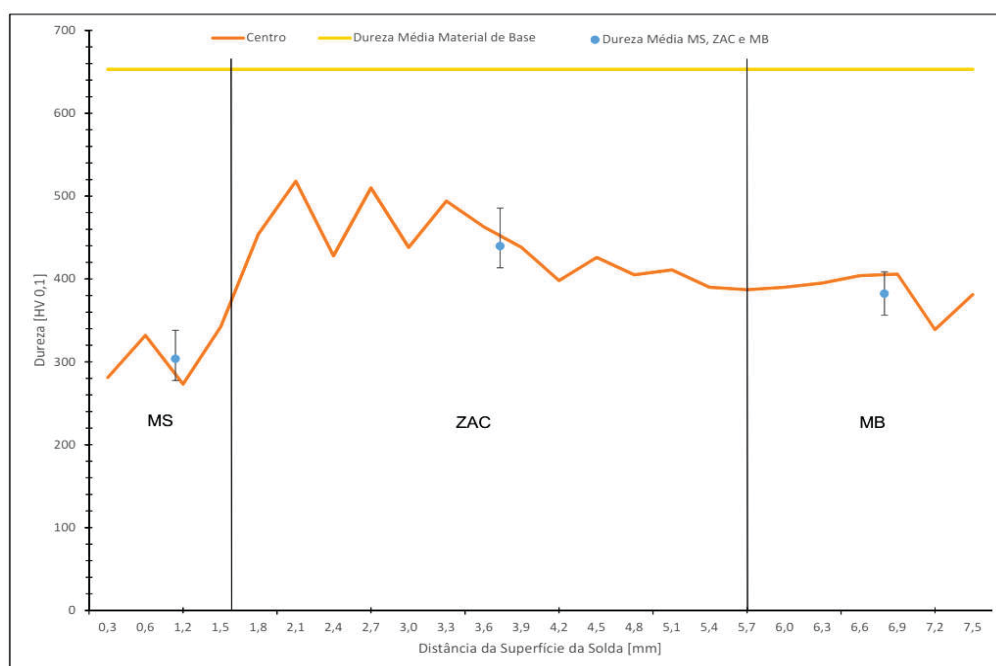
Fonte: O Autor, 2017.

Figura 48 - Perfil de microdureza da solda da condição 3 do corpo de prova 3.1



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 49 - Perfil de microdureza da solda da condição 4 do corpo de prova 4.1



Fonte: O Autor, 2017.

Foi realizada uma análise preliminar dos valores encontrados para as durezas, considerando somente as médias apresentadas na Tabela 8. Observa-se para as condições 1, 2 e 3 que as durezas médias no metal de solda atendem os valores especificados pelo fornecedor do consumível (595 – 697 HV), e são maiores que a do material de base, nas ZAC para as condições 1 e 2 as durezas médias atendem os valores especificados para o material de base temperado e revenido (674 – 720 HV). Para a condição 3 o valor encontra-se acima do valor especificado e encontram-se acima da dureza do metal de solda e do material de base. Resultado semelhante foi citado por Böhrer (2008) na Figura 10. Para a condição 4, observa-se que a dureza média no metal de solda e da ZAC encontram-se menores comparada as durezas encontradas nas condições 1, 2 e 3, sendo a causa em função do duplo revenimento. Observa-se que para o material de base, o valor mesmo com o duplo revenimento manteve-se na mesma magnitude das condições 1, 2 e 3, mas o seu valor está menor comparado a dureza inicial antes da soldagem, conforme ilustrado na Figura 49.

Analisando a dureza do material de base para as condições 1, 2, 3 e 4, estas ficaram menores comparada a dureza inicial antes da soldagem. A causa desta queda significativa da dureza é em função do tamanho dos corpos de prova serem muito pequenos frente à energia de soldagem fornecida pela temperatura de preaquecimento somada a energia fornecida pela soldagem, aquecendo toda a massa do corpo de prova além da temperatura de austenitização e somado ao revenimento resultaram em uma martensita super revenida. Resultado semelhante foi citado por Gonçalves (2016) na Figura 11.

Tabela 8 - Microdureza Vickers HV [0,1] dos corpos de prova soldados das condições 1, 2, 3 e 4

Condição de Soldagem	Regiões da solda		
	MS	ZAC	MB
1	652,1	697,5	385,2
2	608,3	717,4	385,6
3	665,2	732,4	396,6
4	310,5	440,0	385,8

Fonte: O Autor, 2017.

- Análise estatística

Em função das diferenças na espessura do metal de solda e da extensão da ZAC nos locais de medição lado esquerdo, centro e lado direito, foram selecionados os valores de cada região dos dois corpos de prova para a análise estatística.

Para comparação das médias foi usado o teste ANOVA com um delineamento experimental fatorial 4 x 3, com diferentes repetições e com nível de significância de 95%, como pode ser visto na Figura A.5 do APÊNDICE, análise estatística das durezas.

A análise estatística foi desenvolvida para avaliar o cruzamento dos tratamentos das durezas das regiões da solda (MS, ZAC e MB), com os tratamentos das quatro condições (C1, C2, C3 e C4).

Na Tabela 9, são apresentados os tratamentos dos valores das durezas encontradas nas regiões da solda (MS, ZAC e MB) para as quatro condições de estudo (C1, C2, C3 e C4).

Analisando os dados da Tabela 9 verifica-se que os valores das durezas encontradas para a condição 1, 2 e 3 tiveram diferença significativa entre as três regiões, MB, MS e ZAC, a diferença entre MS e ZAC se dá porque na ZAC-GF apresenta uma região retemperada aumentando significativamente a dureza, já a diferença do MB em relação ao MS e ZAC é em função de o MB apresentar martensita super revenida conforme causa explicada anteriormente e resultado semelhante foi citado por Gonçalves (2016) na Figura 11. Para a condição 4, a região do MB e ZAC são iguais estatisticamente, em função do duplo revenimento, formando martensita super revenida, e apresentando uma queda significativa da dureza na ZAC. A região do MS apresenta diferença significativa em relação ao MB e ZAC, em função do duplo revenimento apresentando martensita super revenida e queda significativa de dureza, conforme explicado anteriormente.

Analisando os valores das durezas por região da solda entre as condições 1, 2, 3 e 4, verifica-se que os valores das durezas do MB para as condições 1, 2, 3 e 4 são iguais estatisticamente. Resultado semelhante foi citado por Gonçalves (2016) na Figura 11. Para o MS as condições 1, 2 e 3 são iguais estatisticamente, comprovando que a temperatura de preaquecimento, não teve influência na dureza e apresentam diferença significativa em relação a condição 4, comprovando que o duplo revenimento influenciou na dureza. Para a ZAC as condições 1, 2 e 3 são iguais estatisticamente, comprovando que a temperatura de preaquecimento, não teve influência na dureza e apresentam diferença significativa em relação a condição 4, comprovando que o duplo revenimento influenciou na dureza.

Tabela 9 - Análise de variância das durezas

VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Ponto	2	7558238.482937	3779119.241468	448.798	0.0000
Condição	3	4086975.759275	1362325.253092	161.786	0.0000
Ponto*Condição	6	356258.413123	59376.402187	7.051	0.0000
Erro	655	5515450.789943	8420.535557		
Total corrigido	666				
CV (%) =	14,79				
Média geral:	620.2833583				Número de observações: 667
Análise do MB, MS e ZAC para a condição de soldagem 1					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
MB		385.200000		a1	
MS		652.142857		a2	
ZAC		697.560748		a3	
Análise do MB, MS e ZAC para a condição de soldagem 2					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
MB		385.633333		a1	
MS		608.321429		a2	
ZAC		717.465517		a3	
Análise do MB, MS e ZAC para a condição de soldagem 3					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
MB		396.666667		a1	
MS		665.254545		a2	
ZAC		732.448819		a3	
Análise do MB, MS e ZAC para a condição de soldagem 4					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
MS		310.571429		a1	
MB		385.833333		a2	
ZAC		440.000000		a2	
Análise do MB para as condições de soldagem 1, 2, 3 e 4					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
C1		385.200000		a1	
C2		385.633333		a1	
C4		385.833333		a1	
C3		396.666667		a1	
Análise do MS para as condições de soldagem 1, 2, 3 e 4					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
C4		310.571429		a1	
C2		608.321429		a2	
C1		652.142857		a2	
C3		665.254545		a2	
Análise da ZAC para as condições de soldagem 1, 2, 3 e 4					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
C4		440.000000		a1	
C1		697.560748		a2	
C2		717.465517		a2	
C3		732.448819		a2	

Fonte: O Autor, 2017.

4.6 Análise do ensaio de desempenho na indústria

Através do dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções, quantificou-se os valores reais conforme ilustrado na Tabela 10, para os punções novos e na Tabela 11 para os punções reparados por solda. Os resultados encontrados para os punções

novos e reparados por solda estão em conformidade com os valores estipulados pelo fabricante que é em torno de 0,1 mm conforme citado por Milling Puncionadeiras (2008).

Comparando as médias do raio da aresta de corte Δr dos punções novos com os reparados por solda, conclui-se que os punções reparados por solda atingiram valores semelhantes aos dos punções novos conforme ilustrado no gráfico da Figura 50. O raio da aresta de corte Δr para os punções reparados por solda foi 4,8% maior que os valores encontrados para os punções novos.

Tabela 10 - Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções novos

Punção	Desgaste Lateral Esquerdo [mm]	Centro [mm]	Desgaste Lateral Direito [mm]	Média Δr [mm]	Desvio Padrão das Médias Δr [mm]
1 $S\gamma$	0,180	0,120	0,180	-	0,017
1 $S\alpha$	0,100	0,140	0,100	-	
1 Δr	0,140	0,130	0,140	0,136	
2 $S\gamma$	0,090	0,110	0,090	-	
2 $S\alpha$	0,090	0,160	0,080	-	
2 Δr	0,090	0,135	0,085	0,103	
3 $S\gamma$	0,120	0,140	0,150	-	
3 $S\alpha$	0,120	0,160	0,100	-	
3 Δr	0,120	0,150	0,125	0,131	

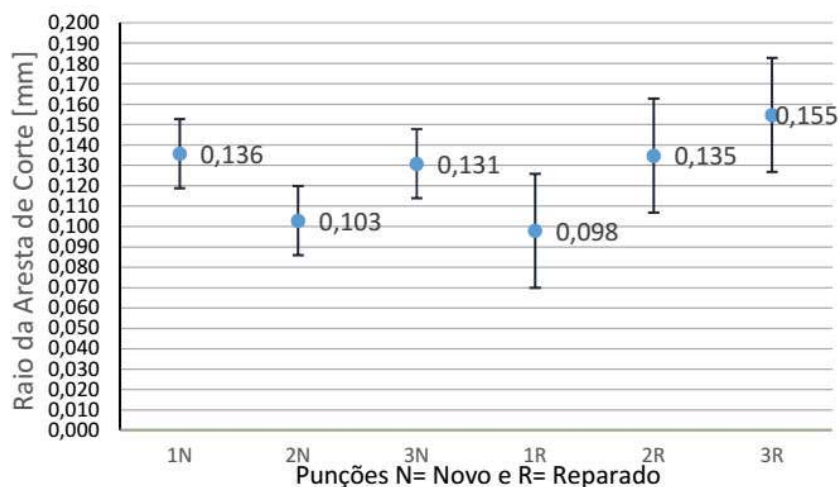
Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 11 - Dimensionamento geométrico do raio da aresta de corte dos punções reparados por solda

Punção	Desgaste Lateral Esquerdo [mm]	Centro [mm]	Desgaste Lateral Direito [mm]	Média Δr [mm]	Desvio Padrão das Médias Δr [mm]
1 $S\gamma$	0,080	0,110	0,100	-	0,028
1 $S\alpha$	0,100	0,100	0,100	-	
1 Δr	0,090	0,105	0,100	0,098	
2 $S\gamma$	0,200	0,100	0,180	-	
2 $S\alpha$	0,080	0,170	0,080	-	
2 Δr	0,140	0,135	0,130	0,135	
3 $S\gamma$	0,140	0,180	0,200	-	
3 $S\alpha$	0,130	0,150	0,130	-	
3 Δr	0,135	0,165	0,165	0,155	

Fonte: O Autor, 2018.

Figura 50 - Raio da aresta de corte dos punções novos e reparados por solda



Fonte: O Autor, 2018.

Através do dimensionamento da rugosidade quantificou-se os valores reais do desvio máximo R_z conforme ilustrado na Tabela 12 para os punções novos e na Tabela 13 para os punções reparados por solda, os perfis de rugosidades estão ilustrados na Figura A.6 do APÊNDICE para os punções novos e na Figura A.7 do APÊNDICE para os punções reparados por solda. O resultado de R_z para desgaste lateral esquerdo do punção 1 novo está acima dos valores encontrados para os demais punções, isso é decorrente do atrito entre punção e matriz causado pela fixação do punção sem pino guia permitindo que o mesmo girasse criando folga, sendo que para o restante dos ensaios foi corrigido este problema.

No ensaio de rugosidade pode-se verificar as ranhuras formadas pelo contato entre a chapa e o punção ou pela presença de partículas de alta dureza na região de deslizamento.

Comparando as médias da rugosidade para os punções novos e reparados por solda, desconsiderando o valor para o punção 1 novo e considerando o desvio padrão das médias, conclui-se que os punções reparados por solda atingiram valores semelhantes aos dos punções novos conforme ilustrado no gráfico da Figura 51. O desvio máximo R_z para os punções reparados por solda foi 5,5% maior que os valores encontrados para os punções novos.

Tabela 12 - Dimensionamento da rugosidade do desvio máximo R_z dos punções novos

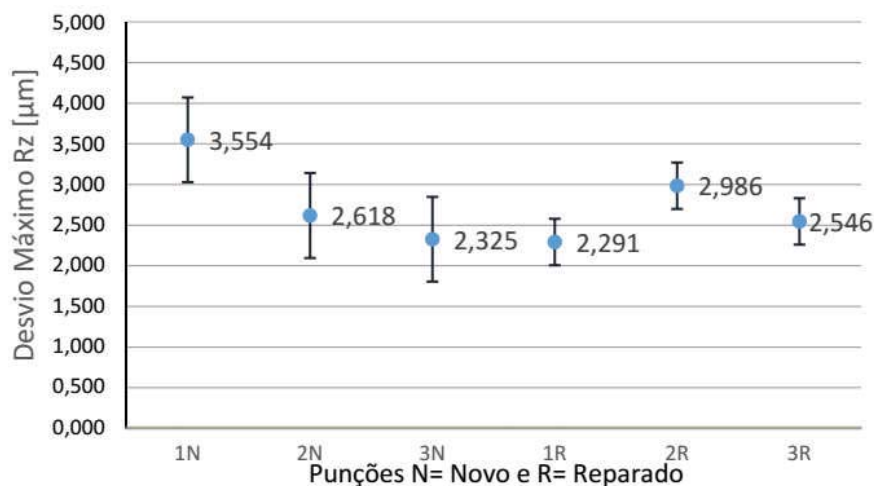
Punção	Desgaste Lateral Esquerdo [μm]	Centro [μm]	Desgaste Lateral Direito [μm]	Média [μm]	Desvio Padrão das Médias [μm]
1	6,243	1,934	2,486	3,554	0,524
2	2,559	2,332	2,963	2,618	
3	2,688	1,797	2,492	2,325	

Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 13 - Dimensionamento da rugosidade do desvio máximo R_z dos punções reparados por solda

Punção	Desgaste Lateral Esquerdo [μm]	Centro [μm]	Desgaste Lateral Direito [μm]	Média [μm]	Desvio Padrão das Médias [μm]
1	3,194	1,639	2,042	2,291	0,287
2	3,171	2,854	2,935	2,986	
3	2,090	2,915	2,634	2,546	

Fonte: O Autor, 2018.

Figura 51 - Rugosidade do desvio máximo R_z dos punções novos e reparados por solda

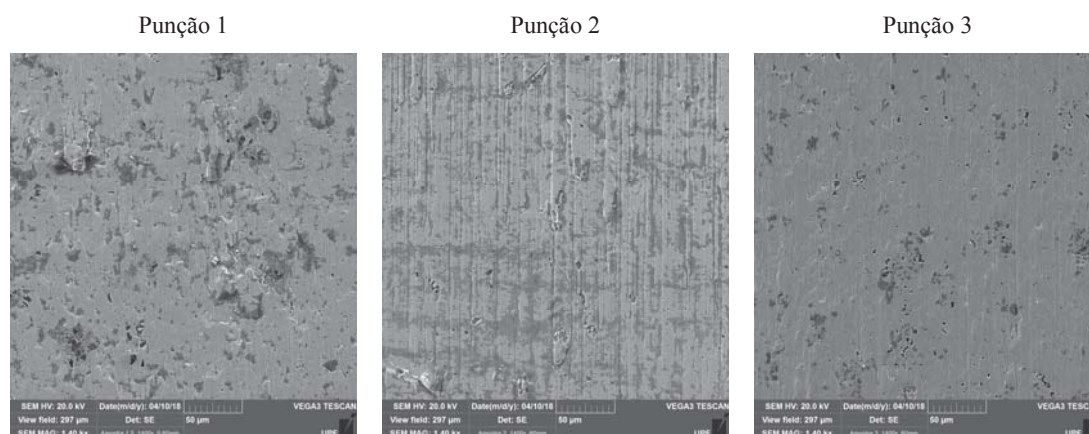
Fonte: O Autor, 2018.

Através da análise da superfície de desgaste dos três punções conforme ilustrado na Figura 52 para punções novos e Figura 53 para punções reparados por solda, observa-se na Figura 52 para os punções 1 e 3 uma superfície com aderência de material, aspecto característico de um desgaste adesivo. Já para o punção 2 além de uma superfície com aderência de material que caracteriza um desgaste adesivo, apresenta sulcos “ranhuras” bastante aparentes característicos do desgaste abrasivo e na Figura 53 para o punção 1 apresenta uma superfície com aderência de material que caracteriza um desgaste adesivo e sulcos “ranhuras” bastante aparentes característicos do desgaste abrasivo, e para os punções 2 e 3 uma superfície com aderência de material, aspecto característico de um desgaste adesivo, conforme citado por Suski (2004), Gård (2008), Mesquita e Barbosa (2005).

Segundo Mesquita e Barbosa (2005) no processo de estampagem de chapas o desgaste é tipicamente adesivo, sendo causado no contato metal-metal, contudo a presença de impurezas pode conduzir a abrasão, como observado no punção 2 da Figura 52 e punção 1 da Figura 53. Outro fator que pode ter influenciado é a velocidade de estampagem que foi de seis golpes (puncionamentos) por segundo, quando na prática é em média de um golpe

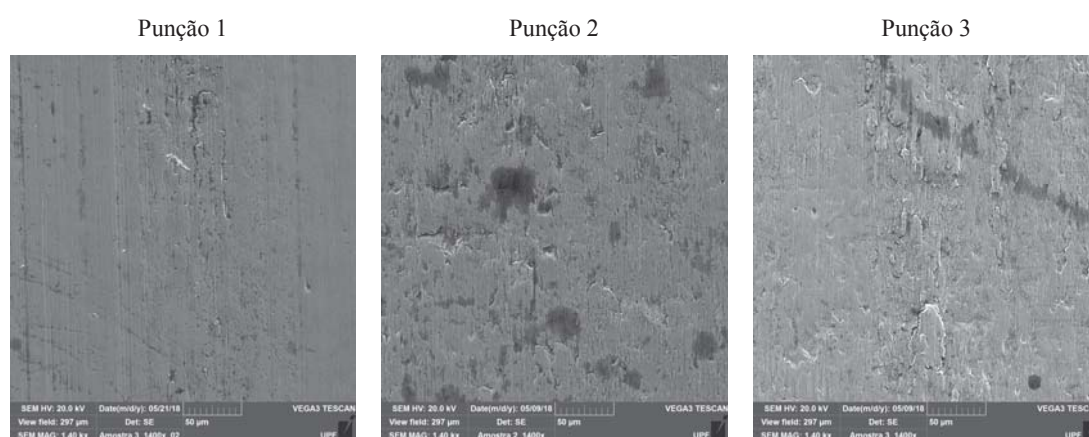
(puncionamento) por segundo, está alta velocidade torna o ensaio mais agressivo e pode ter gerado um aquecimento e desprendimento de material do punção causando o desgaste abrasivo.

Figura 52 - Aspecto superficial da região desgastada dos punções novos (aumento 1400X)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 53 - Aspecto superficial da região desgastada dos punções reparados por solda (aumento 1400X)

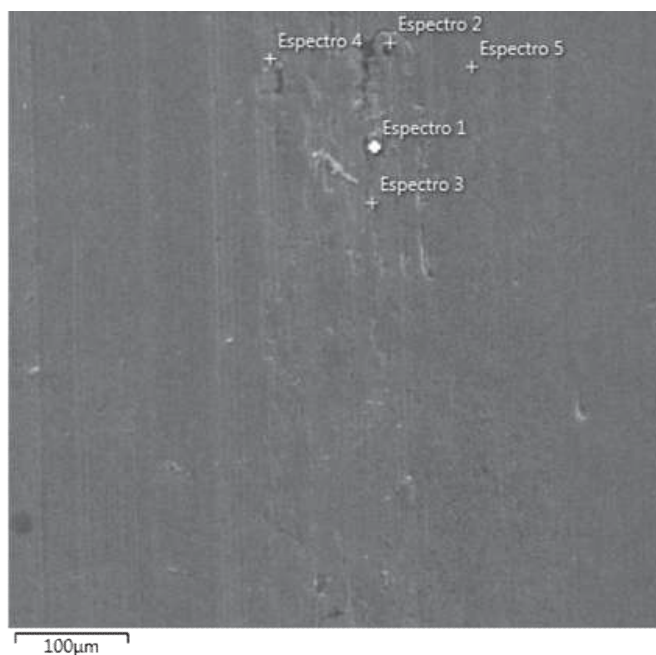


Fonte: O Autor, 2018.

Com o propósito de investigar o material aderido nos punções novos e reparados por solda conforme ilustrado nas Figuras 52 e 53, e comprovar o mecanismo de desgaste dos punções, foi utilizado a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e da sonda EDS para identificar, se o material aderido nos punções são do material de base ou do próprio punção. Na Figura 54 ilustra o local no qual foi realizada a análise química no espectro 2 do material aderido e na Figura 55 os resultados da espectrometria (EDS) da composição química do punção 1 novo identificou a presença dos elementos químicos Cr, Mo, Mn, Si, Nb e Ni, os

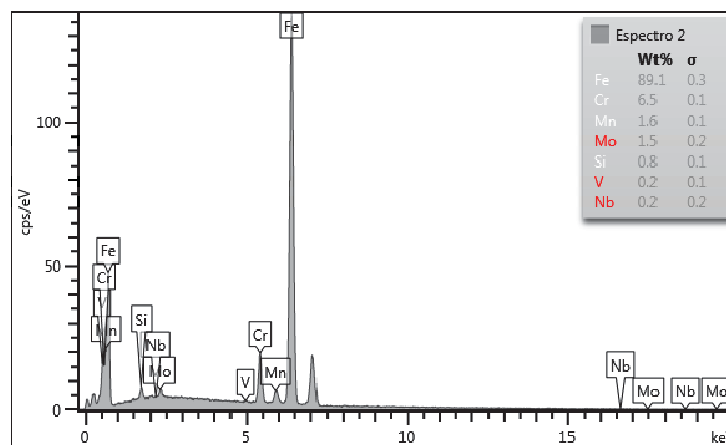
percentuais encontrados comprovam que o material é predominante do punção, comprovando que o mecanismo de desgaste é adesivo, na Figura 56 ilustra o local no qual foi realizada a análise química no espectro 1 do material aderido e na Figura 57 a espectrometria (EDS) da composição química do punção 3 reparado identificou Cr, Mn, Si e V, os percentuais encontrados comprovam que o material aderido é predominante do material de base, comprovando que o mecanismo de desgaste é adesivo.

Figura 54 - Local da análise química do punção 1 novo



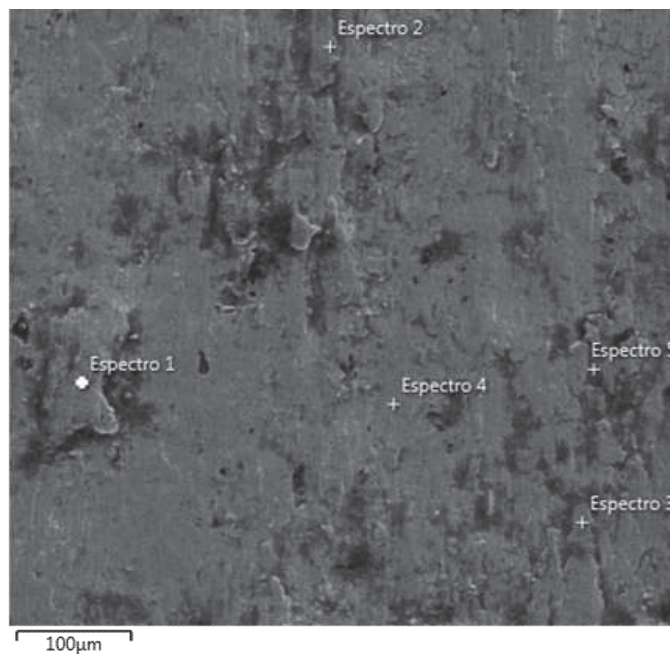
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 55 - Espectro (EDS) da composição química do punção 1 novo



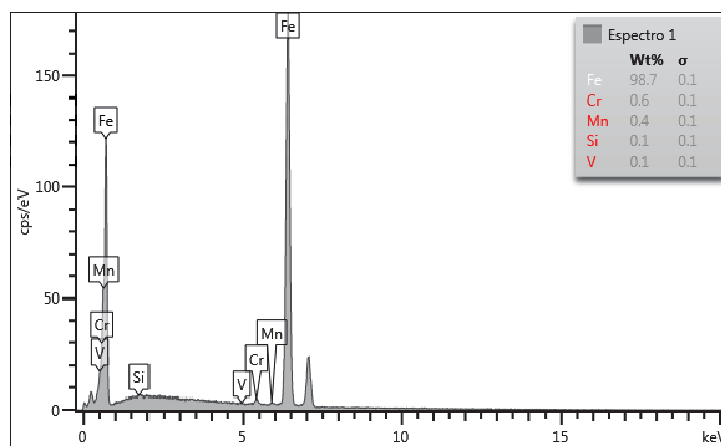
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 56 - Local da análise química do punção 3 reparado



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 57 - Espectro (EDS) da composição química do punção 3 reparado



Fonte: O Autor, 2018.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se com este trabalho que a condição 1, soldada com temperatura de preaquecimento de 450 °C com um revenimento, apresentou os melhores resultados, sendo portanto, a mais adequada para recuperar componentes de ferramentas de estampagem por soldagem fabricadas em aço VF800AT, seguida das condições 2 e 3. No entanto, a condição 4 é inviável decorrente do duplo revenimento afetar o desempenho mecânico.

Conclui-se também que:

1. O ensaio de desempenho na indústria com punções reparados por solda demonstrou-se satisfatório, o raio da aresta de corte Δr foi 4,8% e o desvio máximo R_z 5,5% maiores que os valores encontrados para os punções novos, comprovando que a condição 1 tem o mesmo desempenho que os punções novos;
2. Por meio da análise macrográfica identifica-se que a temperatura de preaquecimento tem influência direta na ZAC para as condições 1, 2 e 3, aumentando a extensão da ZAC da condição 1 para a 2 em 22,1% e da 2 para a 3 em 8,4%;
3. O duplo revenimento, apresentou influência sobre a microestrutura do metal de solda e da ZAC ocasionando um super revenimento da martensita, diminuindo a dureza do metal de solda e da ZAC da condição 4, para o metal de solda a dureza atingiu 47,6% e na ZAC 63,0% em relação a condição 1;
4. Os perfis de dureza comprovam que os metais de solda das condições 1, 2 e 3 atendem os valores especificados pelo fornecedor do consumível. Na ZAC as condições 1 e 2, atendem os valores especificados para o material de base temperado e revenido, entretanto para a condição 3 o valor encontra-se acima do valor especificado. Para o material de base os valores não atendem os especificados. Para a condição 4 os valores encontrados no metal de solda, ZAC e material de base não atendem o especificado, mas a dureza do material de base é igual às condições 1, 2 e 3;

5. A análise estatística das microdurezas por região da solda entre as condições 1, 2, 3 e 4, conclui que os valores das durezas do MB para as condições 1, 2, 3 e 4 são iguais estatisticamente, para o MS as condições 1, 2 e 3 são iguais estatisticamente e apresentam diferença significativa em relação a condição 4 e para a ZAC as condições 1, 2 e 3 são iguais estatisticamente e apresentam diferença significativa em relação a condição 4;

6. As imagens da região desgastada e o espectro (EDS) da composição química do material aderido na superfície de desgaste comprovam que o mecanismo de desgaste para os punções novos e reparados por solda é adesivo.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo com temperaturas de revenimento de 300 e 400 °C para avaliar a sua influência na dureza e tenacidade do metal de solda;

- Realizar um estudo alterando o substrato (material de base) por um aço carbono;

- Realizar um estudo comparativo entre a microestrutura do material de base e metal de solda dimensionando o tamanho dos carbonetos primários e secundários;

- Realizar um estudo utilizando corpos de prova maiores com a finalidade de avaliar a baixa dureza encontrada para o material de base.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, W. M. **Soldagem do aço ABNT 4140 sem tratamento térmico posterior**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais), Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **ASM metals handbook. welding, brazing and soldering**. Ohio: American Society for Metals, v.6, 1993.
- AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E140-07: standard hardness conversion tables for metals relationship among brinell hardness, vickers hardness, rockwell hardness, superficial hardness, knoop hardness, and scleroscope hardness**. 2007.
- AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E384-16: standard test method for knop and vickers hardness of materials**. 2016.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME II Parte C: SFA-5.32/SFA-5.32M specification for welding shielding gases**. 2016.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME VIII Div. 1: Rules for construction of pressure vessels**. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6658: Bobinas e chapas finas de aço – Carbono para uso geral - Especificação**. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287: Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – termos, definições e parâmetros da rugosidade**. 2002.
- AWS -. **Certification manual for welding inspectors**. American Welding Society, Fourth Edition, Miami, 2000.
- BIANCO, D. L. D. **Desgaste de ferramentas de punção**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2003.
- BÖHLER. **Welding In Tool Making**: A guideline for welding of cold work steels, hot work steels, high speed steels, plastic mould steels including PM steels. 2008. Disponível em: <http://www.bucorp.com/media/bohler_welding_in_tool_making.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2017.
- CORDEIRO, I. J. P. **Desgaste de ferramentas em operações de conformação plástica de chapas com aços de alta resistência**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2016.

DENKENA, B., LEÓN, G. L., BASSETT, E.: Preparation of designed cutting edge microgeometries by simultaneous 5-axes brushing. **Proc. of 3rd Int. Conf. Manufacturing Engineering**, Berlin 2008, 117-124.

GÅÅRD, A. **Wear mechanisms in sheet metal forming - Effects of tool microstructure, adhesion and temperature**. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas), Faculty of Technology and Science Materials Engineering, Karlstad University Studies, Karlstad, 2008.

GOBBI, V. J. **Influência da nitretação a plasma na resistência ao desgaste microabrasivo do aço ferramenta AISI D2**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

GONÇALVES, S. G. Impacto da Escolha de Aço e Tratamento Térmico na Produção e Qualidade das Ferramentas: Uma Visão Através de Casos. **14º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes – MOLDES ABM**, 2016

HILLSKOG, T. **Cold Work Tool Steels**. Disponível em: <<http://www.bucorp.com/advanced-high-strength-steels-study-presented-at-great-designs-in-steel-2015.htm>>. Acesso em: 24 set. 2017.

IBRAHIM, I. A., MOHAMAT, S. A., AMIR, A., GHALIB, A. The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, **Procedia engineering**, 1502-1506, 2012.

KASUYA, T., YURIOKA, N., OKUMURA, M. Methods for Predicting Maximum Hardness of Heat-Affected Zone and Selecting Necessary Preheat Temperature for Steel Welding. **Nippon Steel Technical Report**, 1995.

KIM, H., KANG, J. Y., SON, D., LEE, T. H., CHO, K. M. Evolution of carbides in cold-work tool steels. **Journal materials characterization**, 107, ago. 2015, p. 376–385.

KOU, S. **Welding Metallurgy**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, Second Edition, 2003.

LINCOLN, J. F. **Procedure handbook of arc welding**. Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Fourteenth Edition, 2000.

MESQUITA, R. A., BARBOSA, C. A. Uma avaliação das propriedades de desgaste e tenacidade em aços para trabalho a frio. **Tecnologia em metalurgia e materiais**. São Paulo, v. 2, n. 2, p. 12 - 18, out./dez. 2005.

MESQUITA, R. A., LEIVA, D. R., BARBOSA, C. A. **Efeito das Condições de Tratamento Térmico na Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Aços Ferramenta**. 2001. Disponível em: <http://villaresmetals.asia/portuguese/files/Falhas_Trat_Termico.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2017.

MILLING PUNCIÓNADEIRAS. **Manual de Trabalho e Manutenção das Ferramentas para Puncionadeiras**. 2008.

MOTTA, L. F. S. **GER – 17 Técnico: Procedimento para ensaio por ultrassom phased array**, 2016.

RAJEEV, G. P., KAMARAJ, M., SRINIVASA, R. B. Hardfacing of AISI H13 tool steel with Stellite 21 alloy using cold metal transfer welding process. **Journal surface & Coating technology**, 63-71, 2017.

RISSI, S. O. **GER – 09 Técnico: Procedimento de ensaio visual de soldas, fundidos, laminados, forjados e dimensional de soldas**. 2011.

RISSI, S. O. **GER – 14 Técnico: Procedimento para ensaio por líquido penetrante**. 2015.

SUSKI, C. A. **Estudo do efeito de tratamentos e revestimentos superficiais na vida de ferramentas de conformação mecânica a frio**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TOBOLA, D., BROSTOW, W., CZECHOWSKI, K., RUSEK, P. Improvemenet of wear resistance of some cold working tool steels. **Journal wear**, mar. 2017, p. 29–39.

TONKOVIČ, M. P., P.,NAGODE, A., KOSEC, B., SAMARDŽIĆ, I., KARPE, B., KOSEC, L. The Mechanics Behind Formation of Secondary Ledeburite During Tool Steel Welding. **Technical gazette** 22, 99-104, 2015.

VILLARES METALS. **Aços para trabalho a frio: VF800AT** Nov. 2003. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

VILLARES METALS. **Recomendações sobre temperaturas de tratamento térmico do aço VF800AT**. out. 2001. Disponível em: <http://www.villaresmetals.nl/portuguese/files/Recom_Trat_Termico_VF800AT.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2017.

WILSON TOOL INTERNATIONAL. **Thick turret tooling solutions**: 2016. Disponível em:<<http://www.wilsontool.com/>>. Acesso em: 13 jun. 2017.



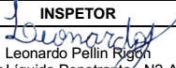
YURIOKA, N. Physical metallurgy of steel weldability. **ISIJ International**, 41:6, 566-570, 2001.

ZIELIŃSKA, S., VALENSI, F., PELLERIN, N., PELLERIN, S., MUSIOL, K., ISARA, CH, DE., BRIAND, F. Microstructural analysis of the anode in gas metal arc welding (GMAW). **Journal of materials processing technology**, p. 3581-3591, 2009.

APÊNDICE


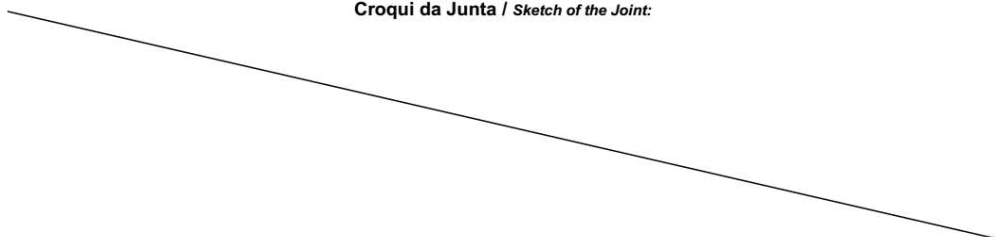
A.1 Figura

Figura A.1 – Relatório de ensaio de líquido penetrante dos corpos de prova, punções e matrizes

	Relatório de Ensaio Não Destrutivo		Rel.: 003/2017			
	LÍQUIDO PENETRANTE		Folha: 1/1			
			Data: 29/06/2017			
Cliente/Obra Adonis Pellin / Dissertação do Mestrado		Equipamento / Número de Série Punção, Matriz e Corpo de Prova				
Código do Projeto: NA		Desenho(s) NA	Rev.: NA			
Local Inspeção Conдор - RS	Identificação das Juntas NA		Processo Soldagem NA			
Norma de referência ASME V / ASME VIII Div. 1 Apêndice 8	Procedimento GER - 14		Rev.: 0			
Metal de Base VF800AT	Metal de Adição NA		Espessura NA			
Condição superficial Retificado	Equipamento de iluminação 1000 lux		Sistemática de Rastreabilidade N/A			
	SOLVENTE (LIMPEZA)	PENETRANTE	REMOVEDOR	REVELADOR		
Fabricante	-	CARBOGRAFITE	Água	CARBOGRAFITE		
Ref. Comercial	-	PCG3	Água	DCG S2		
Nº Lote	-	F074390	Água	1401001142		
Data Validade	-	10/2017	Água	07/2018		
SOLDA / PEÇA	DESCONTINUIDADES					OBSERVAÇÕES
	Nº	TIPO	COTA	COMPR.	LAUDO	
Punção	-	-	-	-	A	-
Matriz	-	-	-	-	A	-
Corpos de Prova	-	-	-	-	A	-
CROQUI / OBSERVAÇÕES						
						
LEGENDA A - Aprovado R - Reprovado AR - Aprovado após reparo REC - Recomendação de exame complementar TL - Trinca longitudinal TT - Trinca transversal TR - Trinca ramificada FF - Falta de fusão FP - Falta de penetração PO - Poro ou porosidade MO - Mordedura SP - Sobreposição						
LAUDO FINAL <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR						
INSPECTOR  Leonardo Pellin Rigon Inspetor Líquido Penetrante - N2-ASNT Cod.: PT2-005.15 GERTEC - Engenharia, Inspeção e Treinamentos Data: 29/06/2017		CLIENTE		FISCALIZAÇÃO		
		Data:		Data:		







Fonte: Autor, 2017.

Figura A.2 – Relatório ensaio visual de solda

 GERTEC Engenharia, Inspeção e Treinamentos	RELATÓRIO DE ENSAIO DIMENSIONAL/ VISUAL TEST REPORT OF DIMENSIONAL/VISUAL		Relatório / Report	0031/17
			Folha / Leaf:	1/1
			Data / Date:	30/06/17
Cliente / Client: Adonis Pellin	Cidade / City: Condor - RS	Obra / Work: Adonis Pellin / Dissertação do Mestrado		
Metal de Base / Base Metal: VF800AT	Procedimento / Procedure: GER 09	Processo de Soldagem / Welding Process: GMAW		
Identificação das Juntas / Joint Identification: Soldagem de revestimento.				
Dados do Equipamento Ensaiado / Data Equipment Tested:				
Tratamento Térmico / Heat Treatment:				
Normalizado / Standard			Laminado / Laminated	
<input checked="" type="checkbox"/> Antes do Alívio de Tensões / Before the Stress Relief			Forjado / Forged	
Após Alívio de Tensões / After the Stress Relief			Fundido / Cast	
			Chanfro / Bevel	
			Como Soldado / As a Soldier	
			Outros / Other	
Dados Técnicos do Ensaio / Technical Data of The Test				
Método de Ensaio / Test Method: INSPEÇÃO DIRETA		Condição Superficial / Surface Condition: ESCOVADA		
Técnica de Limpeza / Cleaning Technique: MECÂNICA		Critério de aceitação / Acceptance Criteria: ASME VIII Div. 1		
ORDEM DE PRODUÇÃO / Production Order: NE		Seqüência / Sequence: NE		
Descontinuidades / Discontinuity:				
Código da Peça / Piece Code:	Tipo / Type:	Sinete / Stamp:	Posição / Position:	
Corpos de Prova Condição 1	-	FK	Plana	
Corpos de Prova Condição 2	-	FK	Plana	
Corpos de Prova Condição 3	-	FK	Plana	
Corpos de Prova Condição 4	-	FK	Plana	
Croqui da Junta / Sketch of the Joint:				
				
Observações / Comments: ---				
Laudo / Report:				
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado / Approved		<input type="checkbox"/> Reprovado / Fail		
<input type="checkbox"/> Recomendação de Ensaio Complementar / Recommendation for further examination				
Eng. Mecânico Adonis Pellin SNQC FBTS IS6541N2 Inspetor de Soldagem / Welding Inspector	Cliente / Client		Fiscalização / Fiscalization	


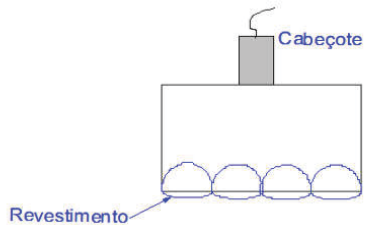
Fonte: Autor, 2017.

Figura A.3 – Relatório de ensaio de líquido penetrante

	Relatório de Ensaio Não Destrutivo		Rel.: 0018/2017		
	LÍQUIDO PENETRANTE		Folha: 1/1		
			Data: 30/06/2017		
Cliente/Obra Adonis Pellin / Dissertação do Mestrado		Equipamento / Número de Série Corpo de Prova Soldado			
Código do Projeto: NA		Desenho(s) NA	Rev.: NA		
Local Inspeção Condor - RS	Identificação das Juntas NA	Processo Soldagem NA			
Norma de referência ASME V / ASME VIII Div. 1 Apêndice 8	Procedimento GER - 14	Rev.: 0			
Metal de Base VF800AT	Metal de Adição MF6-GF-60-GP	Espessura NA			
Condição superficial Retificado	Equipamento de iluminação 1000 lux	Sistemática de Rastreabilidade N/A			
	SOLVENTE (LIMPEZA)	PENETRANTE	REMOVEDOR	REVELADOR	
Fabricante	-	CARBOGRAFITE	Água	CARBOGRAFITE	
Ref. Comercial	-	PCG3	Água	DCG S2	
Nº Lote	-	F074390	Água	1401001142	
Data Validade	-	10/2017	Água	07/2018	
SOLDA / PEÇA	DESCONTINUIDADES				OBSERVAÇÕES
	Nº	TIPO	COTA	COMPR.	LAUDO
Corpos de Prova Condição 1	-	-	-	-	A
Corpos de Prova Condição 2	-	-	-	-	A
Corpos de Prova Condição 3	-	-	-	-	A
Corpos de Prova Condição 4	-	-	-	-	A
CROQUI / OBSERVAÇÕES					
					
Condição 1		Condição 2		Condição 3	
					
				Condição 4	
LEGENDA A - Aprovado R - Reprovado AR - Aprovado após reparo REC - Recomendação de exame complementar TL - Trinca longitudinal TT - Trinca transversal TR - Trinca ramificada FF - Falta de fusão FP - Falta de penetração PO - Poro ou porosidade MO - Mordedura SP - Sobreposição					
LAUDO FINAL		<input checked="" type="checkbox"/> APROVADO		<input type="checkbox"/> REPROVADO	
		<input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR			
INSPECTOR  Leonardo Pellin Rigon Inspetor Líquido Penetrante - N2-ASNT Cod.: PT2-005.15 GERTEC - Engenharia, Inspeção e Treinamentos		CLIENTE		FISCALIZAÇÃO	
Data: 30/06/2017		Data:		Data:	

Fonte: Autor, 2017.

Figura A.4 – Relatório de ensaio por ultrassom

		RELATÓRIO DE ENSAIO ULTRASSOM										FORM-001			
												Data de Elab.			
												SETEMBRO/2010			
												REV. 00			
		Nº	Data							Folha					
		0022/2017	30/06/2017							01/01					
NOME DO PROJETO:				ORDEM DE SERVIÇO				CLIENTE:							
Adonis Pellin / Dissertação do Mestrado				NE				Adonis Pellin							
UNIDADE:				LOCAL				CONTRATO Nº							
Condor				Condor - RS				NE							
DESENHO / CÓDIGO DO PRODUTO:		NÚMERO DE SÉRIE		PROCED. EXECUÇÃO:		CRIT. DE ACEITAÇÃO:									
-/-		-		GER 017		ASME VIII Div. 1 - Apêndice 12									
PROCESSO DE SOLDAGEM:				CONSUMÍVEL				MATERIAL							
GMAW				MF6-GF-60-GP				VF800AT							
CONDIÇÕES SUPERFICIAIS:				ESPESSURA:				DIÂMETRO							
Escovada				23,0 mm				31,7 mm							
APARELHO/FABRICANTE:				MODELO:				Nº SÉRIE:							
GE				PHASOR XS				0246FY							
DADOS TRANSDUTORES										DADOS DE CALIBRAÇÃO					
Tipo	Fabricante	Modelo	Nº Série	Dimensões		Ângulo	Freq. [MHz]	Bloco Ref	G A [dB]	G B [dB]	PT [dB]				
SAPA-4.0X16X5MMP.LIN.PF	GE	115-500-013	01X91J	-		Normal	4	ASME 20	2	6	-				
-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-				
-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-				
LOCALIZAÇÃO	Nº JUNTA	Nº Desc.	Cabeçote	DESCONTINUIDADE								SOLDADOR			
				AMP [dB]	LOCAL	Comp. [mm]	Prof. [mm]	Percuso Som [mm]	Distância Ref. [mm]	Superfície Detecção	Identificação Descontinuidade	Lauda	Raiz	E/A	
Condição 1	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	FK	-	
Condição 2	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	FK	-	
Condição 3	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	FK	-	
Condição 4	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	FK	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
REGISTRO VISUAL:															
															
INSTRUMENTOS UTILIZADOS															
EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO							Nº DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO								
GE / Phasor XS							NE/2011								
BLOCO V2							116/2015								
ASME 20							110/2015								
-							-								
LEGENDA:															
(TL) TRINCA LONGITUDINAL				(PO) POROSIDADE				(A) APROVADO				(AR) APROVADO APÓS REPARO			
(TT) TRINCA TRANSVERSAL				(MO) MORDEDURA				(R) REPROVADO				(NE) NÃO ESPECIFICADO			
(FP) FALTA DE PENETRAÇÃO				(S) SOBREPOSIÇÃO				(E/A) ENCHIMENTO/ACABAMENTO							
(FT) FALTA DE FUSÃO				(E) INCLUSÃO DE ESCÓRIA				(NA) NÃO APLICÁVEL							
ENVIAR PARA: <input checked="" type="checkbox"/> Ardonis Pellin							<input type="checkbox"/> CLIENTE FINAL								
INSPEÇÃO DE ULTRASSOM				CONTROLE DE QUALIDADE				CONTROLE DE QUALIDADE CLIENTE/FISCALIZAÇÃO							
Ardonis Pellin Inspetor de Ultrassom - N2-ASNT Cod.: UT2-001.15 GERTEC - Engenharia, Inspeção e Treinamentos															
Assin. / Data 30/06/2017				Assin. / Data				Assin. / Data							

Fonte: Autor, 2017.

Figura A.5 – Análise estatística das durezas

Variável analisada: Dados

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Ponto	2	7558238.482937	3779119.241468	448.798	0.0000
Condição	3	4086975.759275	1362325.253092	161.786	0.0000
Ponto*Condição	6	356258.413123	59376.402187	7.051	0.0000
erro	655	5515450.789943	8420.535557		
Total corrigido	666	17516923.445277			
CV (%) =	14.79				
Média geral:	620.2833583	Número de observações:	667		

Teste Tukey para a FV Ponto

DMS: 23,4868624955802 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 168,555389554658

Erro padrão: 7,06803245807906

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MB	388.611111	a1
MS	613.131737	a2
ZAC	687.158163	a3

Teste Tukey para a FV Condição

DMS: 28,3527424871455 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 139,04540247903

Erro padrão: 7,78200562295065

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C4	402.337838	a1
C1	634.553073	a2
C2	637.925743	a2
C3	667.500000	a3

Análise do desdobramento de Ponto dentro de cada nível de: Condição

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Ponto	/1 2	2303089.947813	1151544.973906	136.754	0.0000
Ponto	/2 2	2692505.843117	1346252.921559	159.877	0.0000
Ponto	/3 2	2736528.479647	1368264.239823	162.491	0.0000
Ponto	/4 2	182372.625483	91186.312741	10.829	0.0000
Erro	655	5515450.789943	8420.535557		

Codificação usada para o desdobramento

cod. Condição

1 = C1

2 = C2

3 = C3

4 = C4

Teste de Tukey para o desdobramento de Ponto dentro da codificação: 1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

 Teste Tukey para a FV Ponto

DMS: 45,3951507011689 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 45,1204819277108

Erro padrão: 13,6610157553241

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MB	385.200000	a1
MS	652.142857	a2
ZAC	697.560748	a3

Teste de Tukey para o desdobramento de Ponto dentro da codificação: 2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

 Teste Tukey para a FV Ponto

DMS: 43,0553212075876 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 50,1578586135896

Erro padrão: 12,9568778224642

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MB	385.633333	a1
MS	608.321429	a2
ZAC	717.465517	a3

Teste de Tukey para o desdobramento de Ponto dentro da codificação: 3

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

 Teste Tukey para a FV Ponto

DMS: 42,9031636109654 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 50,514262756127

Erro padrão: 12,9110881887116

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MB	396.666667	a1
MS	665.254545	a2
ZAC	732.448819	a3

Teste de Tukey para o desdobramento de Ponto dentro da codificação: 4

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

 Teste Tukey para a FV Ponto

DMS: 68,363962547296 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 19,8947368421053
 Erro padrão: 20,573148343595

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MS	310.571429	a1
MB	385.833333	a2
ZAC	440.000000	a2

Análise do desdobramento de Condição dentro de cada nível de: Ponto

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Condição /1	3	2700.733333	900.244444	0.107	0.9563
Condição /2	3	1496235.879718	498745.293239	59.230	0.0000
Condição /3	3	2944297.559346	981432.519782	116.552	0.0000
Erro	655	5515450.789943	8420.535557		

Codificação usada para o desdobramento

cod. Ponto

1 = MB

2 = MS

3 = ZAC

Teste de Tukey para o desdobramento de Condição dentro da codificação: 1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV Condição

DMS: 65,9304678660316 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 25,7142857142857
 Erro padrão: 18,0960015381171

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	385.200000	a1
C2	385.633333	a1
C4	385.833333	a1
C3	396.666667	a1

Teste de Tukey para o desdobramento de Condição dentro da codificação: 2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV Condição

DMS: 60,5672435840809 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 30,4699093157461
 Erro padrão: 16,6239519987046

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C4	310.571429	a1
C2	608.321429	a2
C1	652.142857	a2
C3	665.254545	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de Condição dentro da codificação: 3

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV Condição

DMS: 37,248014199883 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 80,5639093306887

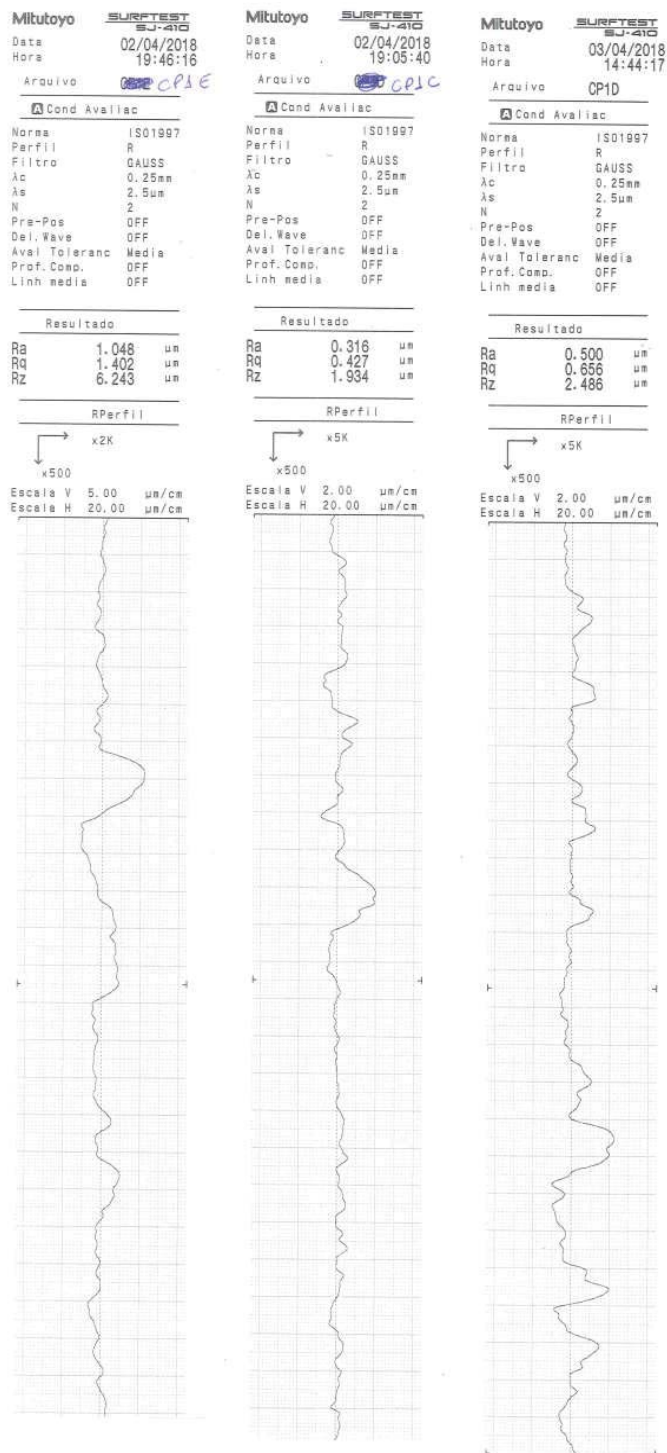
Erro padrão: 10,223499757692

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C4	440.000000	a1
C1	697.560748	a2
C2	717.465517	a2
C3	732.448819	a2

Fonte: Autor, 2018.

Figura A.6 – Perfis de rugosidades para os punções novos

Punção 1:



Fonte: Autor, 2018.

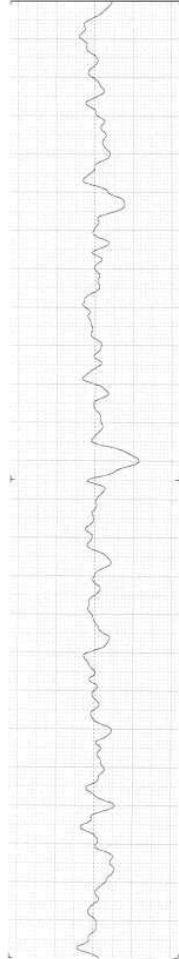
Punção 2:

Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 28/03/2018
 Hora 14:43:23
 Arquivo CP2E

Cond Avaliac
 Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado
 Ra 0.387 um
 Rq 0.521 um
 Rz 2.559 um

RPerfil
 x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm

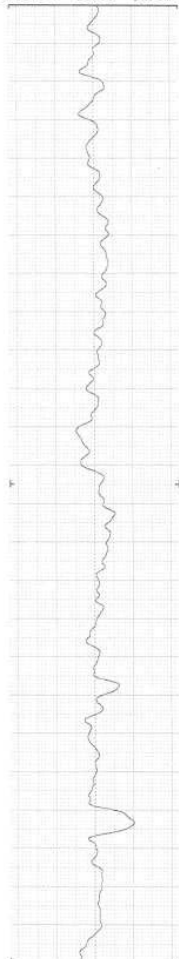


Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 28/03/2018
 Hora 14:45:25
 Arquivo CP2C

Cond Avaliac
 Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado
 Ra 0.381 um
 Rq 0.490 um
 Rz 2.332 um

RPerfil
 x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm

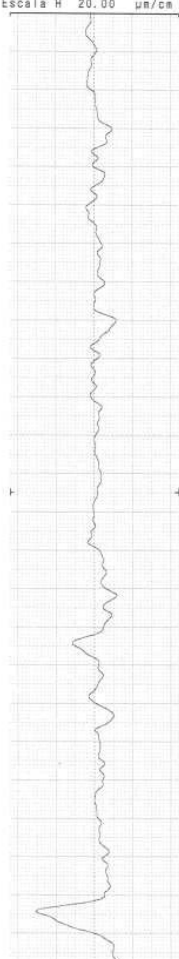


Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 28/03/2018
 Hora 14:47:00
 Arquivo CP2D

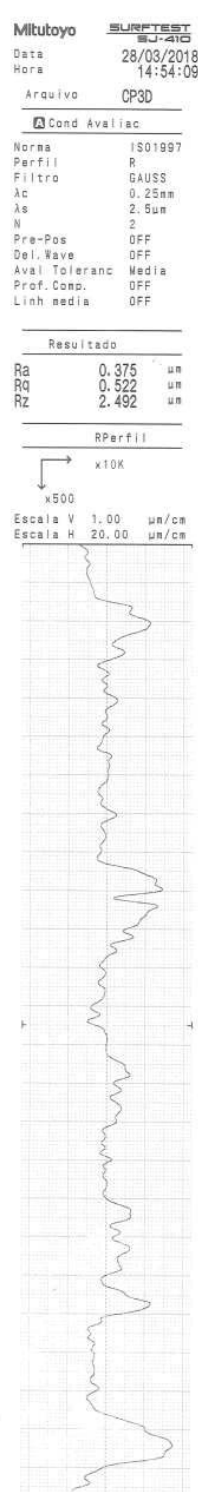
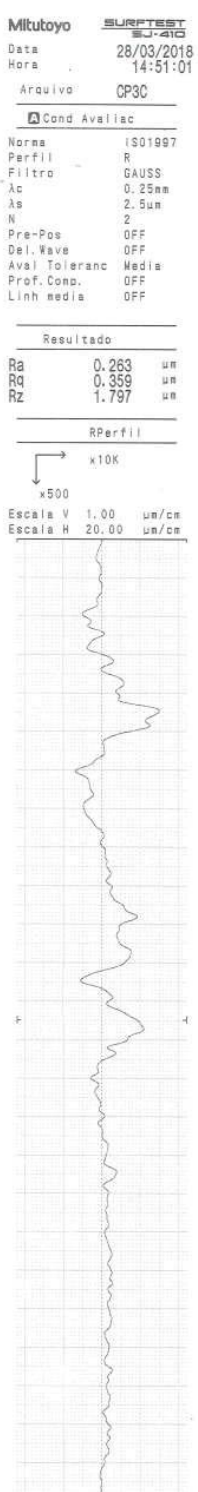
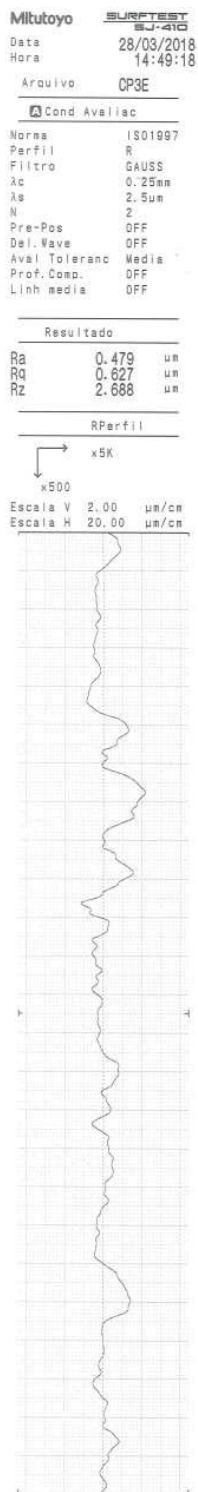
Cond Avaliac
 Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado
 Ra 0.393 um
 Rq 0.533 um
 Rz 2.963 um

RPerfil
 x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm



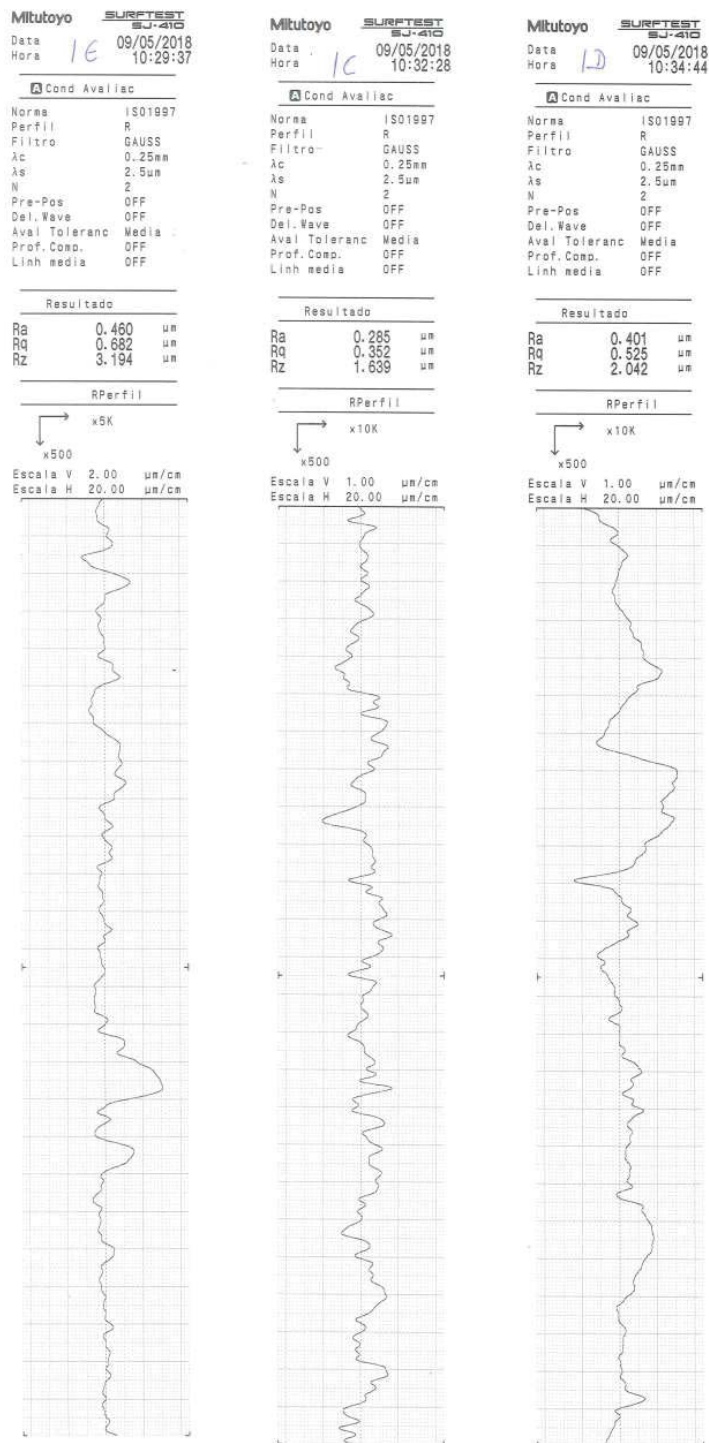
Punção 3:



Fonte: Autor, 2018.

Figura A.7 – Perfis de rugosidades para os punções reparados por solda

Punção 1:



Fonte: Autor, 2018.

Punção 2:

Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 09/05/2018
 Hora 10:50:31
 Arquivo 26

Cond Avaliac

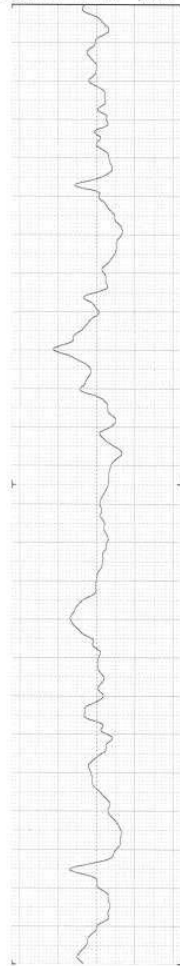
Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval.Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado

Ra 0.546 um
 Rq 0.671 um
 Rz 3.171 um

RPerfil

x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm



Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 09/05/2018
 Hora 10:46:02
 Arquivo 2C

Cond Avaliac

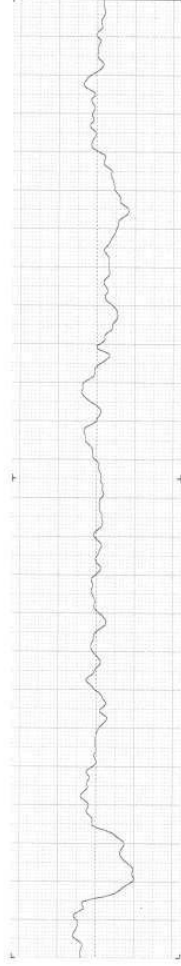
Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval.Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado

Ra 0.493 um
 Rq 0.652 um
 Rz 2.854 um

RPerfil

x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm



Mitutoyo SURFTEST SJ-410
 Data 09/05/2018
 Hora 10:48:59
 Arquivo 2D

Cond Avaliac

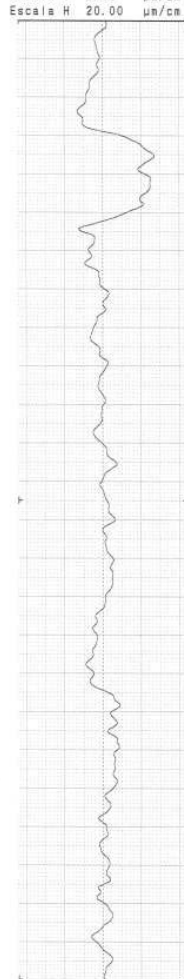
Norma ISO1997
 Perfil R
 Filtro GAUSS
 λc 0.25mm
 λs 2.5um
 N 2
 Pre-Pos OFF
 Del.Wave OFF
 Aval.Toleranc Media
 Prof.Comp. OFF
 Linh media OFF

Resultado

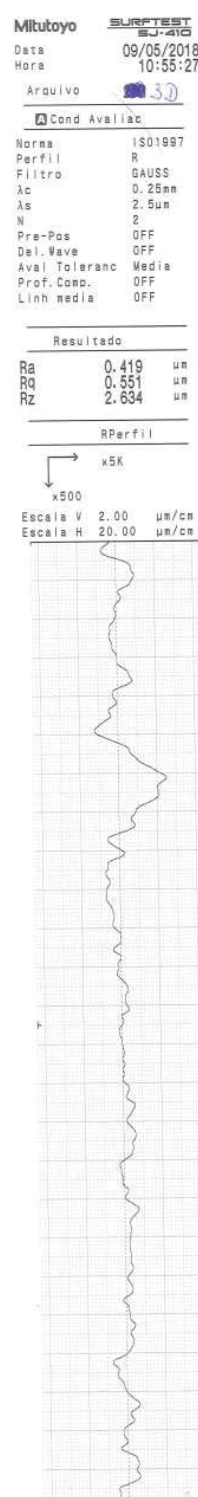
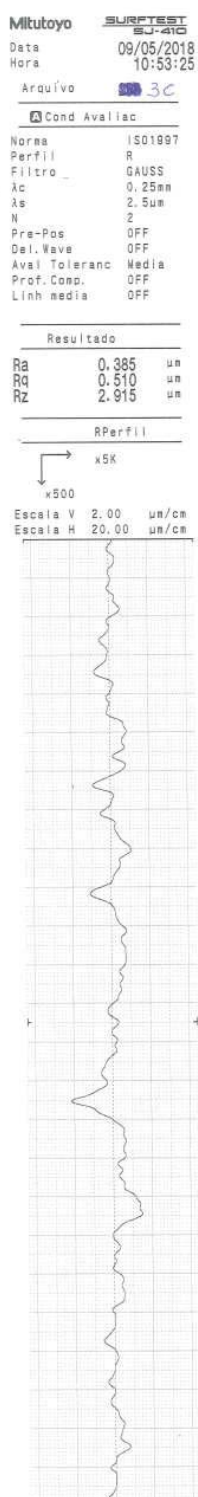
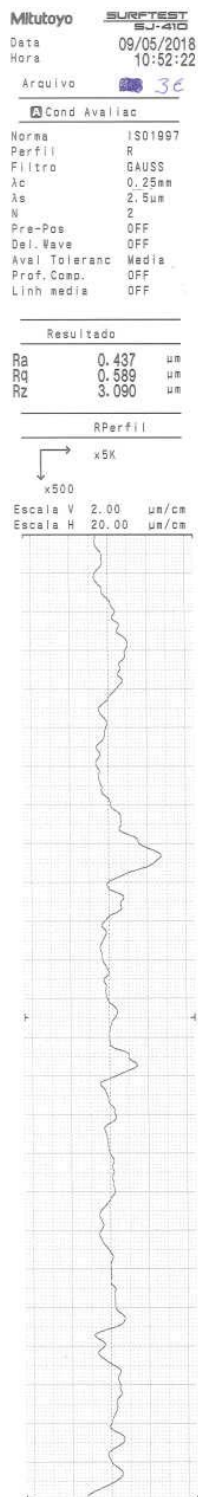
Ra 0.526 um
 Rq 0.710 um
 Rz 2.935 um

RPerfil

x5K
 x500
 Escala V 2.00 um/cm
 Escala H 20.00 um/cm



Punção 3:



Fonte: Autor, 2018.

ANEXOS

A - Certificados do material de base, punções e matrizes fornecidos pela fabricante



Nosso sistema de qualidade é certificado de acordo com ISO 9001, TS 16949, NBR 15100 (AS 9100) e NADCAP (tratamento térmico e ensaios não destrutivos).
Certificação Ambiental ISO 14001.

CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO - SUMARÉ - SP

CERTIFICADO DE QUALIDADE

CONFORME EN 10204 3.1

NÚMERO: 000000939977 Pág.: 1/ 1 NOTA FISCAL No.: 000216726 ITEM DA NF: 000005 DATA: 19.05.2017

CLIENTE: 103974 - MILLING FERRAMENTAS PARA PUNÇONADE

PEDIDO DO CLIENTE / SEQUÊNCIA / ITEM: PC 17946- /

OP CD	LOTE	PEDIDO INTERNO	LIGA VILLARES	LIGA CLIENTE/SIMILAR			
8358981	1706015	10195518/10	VF800ATIM	?			
NORMAS ATENDIDAS							
DESCRIÇÃO DO MATERIAL - VILLARES							
Barra Redonda Forjados DESC RCZ VF800ATIM 220,00 x 39,00				COMPRIMENTO			
				39 mm			
PESO/kg	QUANT.	UNIDADE	PRODUTO	TRATAMENTO TÉRMICO	ACABAMENTO		
60,300	5	KG	BARRA	Recozido	Descascado		
PROCESSO DE FUSÃO				LINHA DE PRODUTO	CORRIDA		
FEA + ESR				Forjados	5803201		
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% em peso)							
Análise química na liga							
C 0.83	Si 0.90	Mn 0.36	P 0.024	S <0.0010	Co 0.04	Cr 8.26	Mo 2.14
Ni 0.17	V 0.47	W 0.11	Nb 0.13				
Dureza							
Resultado: 239 HBW							
Ultra-som (Norma ASTM A388)							
Situação: Aprovado							
Inspeção visual e dimensional							
Situação: Aprovado							
Teste anti-mistura							
Situação: Aprovado							
OBSERVAÇÕES							
A VILLARES METALS DECLARA QUE ESTE PRODUTO ESTÁ EM CONFORMIDADE COM AS ESPECIFICAÇÕES DO PEDIDO DE COMPRA							
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO - SUMARÉ R. Alfredo Dumont Villares, 155 13178-902 - Sumaré - SP - BRAZIL Fone: 0800 707 0577 / 0800 19 0577 E-mail: cac@villaresmetals.com.br				PRESTAMOS SERVIÇOS DE TRATAMENTO TÉRMICO. CONSULTE-NOS.			
				30.06.2017 Paulo de Tarso Rossi Haddad			

B - Relatórios de tratamentos térmicos do material de base, punções e matrizes fornecidos pelo fabricante

VILLARES METALS

USINA DE SUMARÉ
R. Alfredo Dumont Villares, 155
13178-902 - Sumaré - SP - BRASIL
Fone: 55 19 3303-8000 - Fax: 55 19 3303-8061
http://www.villaresmetals.com.br

MILLING
MILLING
AMERICANOPOLIS
04409-080 SÃO PAULO
BR

CERTIFICADO DE QUALIDADE

N° documento	CQ-2017-0188075
N° cliente	0000103974
Data	17/06/2017
Página	1/1

Itens/Processo	Qtd.	Peso
Seu n°-pedido	1	16,44 kg
Seu n°-encomenda		
Ordem de Produç.		
Descrição		
Liga		
NF-ENTRADA		
Material		
Tipo de Processo		
VERBAL		
do 14/06/2017		
2017-0061319-1 de 1 do 14/06/2017		
ACO VF800		
VF800		
28020 do 14/06/2017		
VF800AT/SLEIPNER/SRV2/QCM8		
Vácuo - Têmpera com duplo revenimento		



	Especificação	Resultado
Dureza de Superfície	59-61 HRC	59-60 HRC

Responsável:	
Data 17/06/2017	Paulo de Tarso Rossi Haddad

C - Certificado do arame



Tube-Alloy® 260-G

GAS-SHIELDED HARD SURFACING WIRE

Overlay

Replaces 990129

260-M, INDEX: 080818

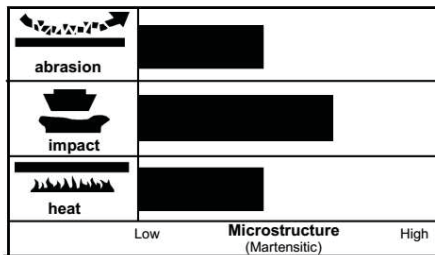
DESCRIPTION:

Tube-Alloy 260-G is a gas-shielded, metal-cored wire that deposits a martensitic alloy steel. It is designed for use as an overlay on carbon and low alloy steels. It has very good resistance to adhesive (metal-to-metal) wear and good resistance to abrasion and impact.

OPERATIONAL CHARACTERISTICS:

Tube-Alloy 260-G can be used with either 100% CO₂ or 75% Ar/25% CO₂ shielding gas. It has excellent operator appeal in all positions and produces a very smooth arc, low fume levels, and virtually slag-free welds.

RELATIVE WEAR RESISTANCE:



TYPICAL WELD METAL PROPERTIES* (CHEM PAD):

Weld Metal Analysis	
Carbon (C)	0.70
Manganese (Mn)	2.00
Silicon (Si)	1.00
Chromium (Cr)	8.00
Iron (Fe)	Bal.

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES* (AS WELDED):

Hardness	55 - 60 Rc
Abrasion resistance	Good
Impact resistance	Good
Machinability	Grinding only
Cannot be flame cut	
Magnetic	

*The information contained or otherwise referenced herein is presented only as "typical" without guarantee or warranty, and McKay expressly disclaims any liability incurred from any reliance thereon. No data is to be construed as a recommendation for any welding condition or technique not controlled by McKay.



Tube-Alloy® 260-G

RECOMMENDED OPERATING PARAMETERS:

Diameter		Type of Power	Stick-Out		Optimum Amps	Volts	Deposition Rate	
Inches	mm		Inches	mm			Amps	lb/hr
0.45	1.2	DCEP	1/2 - 1	13 - 25	120 - 160	19 - 23	130	4
					160 - 190	24 - 25	180	7
					190 - 230	26 - 27	220	10
1/16	1.6	DCEP	1 - 1-1/2	25 - 38	225 - 275	23 - 25	200	6
					275 - 350	24 - 27	250	10
					350 - 400	26 - 29	300	14

Use with 100% CO₂ or 75%Ar/25% CO₂ shielding gas. Start with **middle ranges** and adjust accordingly. Higher amperages will increase deposition rate, dilution, and heat input to base metal. Increasing voltage will widen and flatten bead profile, but excessive voltage will result in porosity. Too much electrical stick-out may result in increased spatter, too little may result in internal porosity.

AVAILABLE DIAMETERS AND PACKAGES:

Diameter		25 lb. Spool
Inches	mm	
.045	1.2	S234212-Z29
1/16	1.6	S234219-Z29

APPLICATIONS:

- Coupling Boxes
- Dragline Chain
- Kiln Trunnions
- Mill Guides
- Sprindles
- Wobbler Ends

Material Safety Data Sheets on any McKay product may be obtained from McKay Customer Service.

Because McKay is constantly improving products, McKay reserves the right to change design and/or specifications without notice.

Tube-Alloy is a registered trademark of Hobart Brothers Company, Troy, Ohio.

D - Certificado do gás de proteção



White Martins Gases Industriais SA

Sapucaia do Sul, 08 de junho 2017

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE**Cliente: GERTEC****Produto: SG – AC 25**

Certificamos que o produto em epígrafe fornecido pela WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA, foi produzido de acordo com as normas aplicáveis e atende as especificações :

CO₂ : 22,5 a 27,5 % , balanço argônio.

Antonio Carlos Farias
White Martins Gases Industriais Ltda.
Br 116 Km 19 , 865 -Sapucaia do Sul - RS

E - Certificado da chapa de aço NBR 6658


PANATLÂNTICA S.A.

 Rua Rudolfo Vontobel, 600 - Distrito Industrial - 94045-405 - Gravataí - RS
 Fone: (51) 3489.7777 (51) 3511.7777 Fax: (51) 3489.7799
 e-mail: laboratorio@panatlantica.com.br - Site: www.panatlantica.com.br

CERTIFICADO DE QUALIDADE / Quality certificate
N. 332191

 Nota Fiscal / Invoice:
 0206084

 Data / Date:
 23/05/2017

Cliente / Customer:

JOSCIL EQUIPAMENTOS PARA CEREAIS LTDA

Código Cliente / Customer Code: 90.095.142/0001-72

Especificação / Specifications: CHAPA FQ 1,50 NBR6658

Dimensões / Dimensions: 1,50 X 1.000,00 X 2.000,00

Pedido / Order: 245084

FTM: 8806 Cod. Produto / Product Id:

Número Identificação M.P.	Ordem Produção Heat	Quantidade Quantity (Kg)	Ensaio de Tração / Tensile test						Dureza			Embut. / Cupping		Dobramento		Ensaio Metalográfico Metallographic tests Inclusões TG []
			LE / ys (MPa)	LR / ts (MPa)	AL / el (%)	Hardness test			Erichsen (mm)		Bend test Dir Ang					
481455	8630926	1.205.0000														
			Composição Química / Chemical composition (%)													
	Numero Certificado Usina		C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Mo	
481455	4270475		0,044	0,003	0,214	0,017	0,013	0,028								

Certificamos que o material aqui relacionado foi produzido, inspecionado, ensaiado e analisado de acordo com os requisitos das normas ou especificações solicitadas.

We hereby certify that the material here reported has been produced, examined, tested and analyzed in accordance with the requirement of standards or specifications requested.

Observações / Remarks:

Legenda / Legend				Responsável / Authorized signature:
Dobramento / Bend test		Ensaio Metalográfico / Metallographic test		
Dir - direção	Ang = ângulo	Inclusões - XYZ (Norma ASTM E 45 I)		Paulo Cristiano Pizzolotto
L = longitudinal	G = 90°	X - Tipo	Y - Quantidade de 1 a 4	
T = transversal	H = 180°	A = sulfetos	Z - Espessura	
		B = aluminatos	F = série fina	
		C = silicatos	G = série grossa	
		D = óxidos		
			TG = Tamanho de grão (1 a 8)	
			F = ferrítico	
			A = austenítico	

Programa: DZCQ007