

ALERSON HENRIQUE CORRÊA

**SIMULAÇÃO DE REPAROS EM AÇO INOX
MARTENSITICO CA6NM COM PASSES DE
REVENIMENTO UTILIZANDO O PROCESSO TIG**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

Março/2013

ALERSON HENRIQUE CORRÊA

Tecnólogo em Soldagem Faculdade de Tecnologia de São Paulo

2013

**SIMULAÇÃO DE REPAROS EM AÇO INOX
MARTENSITICO CA6NM COM PASSES DE
REVENIMENTO UTILIZANDO O PROCESSO TIG**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração: Engenharia da Soldagem

Orientador: Professor Sergio Duarte Brandi

São Paulo

Março/2013

*Dedico este trabalho aos meus pais, a minha querida esposa Priscila
e a minha filha amada Elisa por sempre estarem ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Jesus seu filho pelo precioso dom da vida, pela força, e pela capacidade para realizar este curso.

Aos gestores da Voith Hydro Dr. Hans Poll, Gert Roetter, e Alexandre Bueno pelo crédito e oportunidade para concretizar este programa de pós-graduação.

Aos colegas da Voith Hydro que colaboraram na execução do serviço prático deste trabalho: o Sr. José Pestana, Thiago Turra, Joel Silva, Samuel Fernandes, Paulo Carvalho e Flavio Gonçalves.

Aos meus pais por todo o esforço realizado para que eu pudesse sempre ter o melhor possível.

Agradeço a minha esposa e a minha filha por todo o suporte e compreensão durante este período.

Agradeço a todos os meus amigos e irmãos pelas orações que me fortaleceram e me animaram a chegar até o fim, especialmente Rita Castro.

Agradeço ao meu Professor orientador Doutor Sérgio Duarte Brandi pela colaboração, grande ajuda e pelo precioso ensino oferecido.

"Bendito seja o nome de Deus de eternidade a eternidade, porque Dele é a sabedoria e o poder; Ele é quem muda o tempo e as estações, remove reis e estabelece reis; ele dá sabedoria aos sábios e entendimento aos entendidos, A ti ó Deus de meus pais, eu te rendo graças e te louvo..."

Daniel 2:20,21 -23

CURRICULUM VITAE

Alerson Henrique Correa, 36 anos, casado, Tecnólogo em Soldagem formado pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC), atua no mercado desde 2002 em funções relacionadas com soldagem iniciando como Inspetor de Vasos de Pressão em indústria química, analisando o comportamento da estrutura dos vasos e as juntas soldadas sujeitas a produtos diversos.

Atua na empresa Voith Hydro desde 2007 sendo que nos últimos três anos como Tecnólogo de Soldagem e Inspetor de Soldagem certificado pela AWS.

Desenvolve atividades como elaboração de procedimentos de soldagem, qualificação de soldador, estudo e desenvolvimento da aplicabilidade de novos consumíveis e metais de base.

RESUMO

Devido a crescente procura por produtos cada vez mais competitivos em um mercado altamente qualificado, a necessidade na redução dos custos, os tempos de parada para manutenções menores e a eliminação de algumas etapas dos processos tornam-se itens obrigatórios para empresas que queiram se manter no mercado. Neste caso, a realização de reparos pelo processo de soldagem com técnicas que eliminam o tratamento térmico posterior de alívio de tensão torna-se uma grande ferramenta. Este estudo tem como finalidade verificar o resultado da variação de alguns parâmetros como pré-aquecimento (80 °C e 150 °C), distância entre reparos (10 e 30 mm) e diferentes espessuras de fundidos (10 e 50 mm) na simulação da soldagem de reparos em aço inox martensítico CA6NM. O processo de soldagem utilizado foi o TIG, com vareta ER410NiMo. Foram realizados ensaios de dureza Vickers 10 kg, metalografia e análise química, a fim de verificar as variações existentes no metal de base, na ZAC e no metal de solda. Analisando-se os resultados conclui-se que para fundidos com 10 mm de espessura o pré-aquecimento de 80 °C na realização de solda com passe de revenimento demonstra menores valores de dureza e menor dimensão da ZAC e para os fundidos com espessura de 50 mm o pré-aquecimento de 80 °C para realização de reparos próximos uns aos outros com 10 mm de distância e o pré-aquecimento de 150 °C para reparos mais distantes com valores de 30 mm resultaram em valores de dureza menores.

ABSTRACT

Due increasing demand for competitive products in a very high qualified Market share, reduction costs, with maintenance time smaller and process sequence elimination, it is really necessary for those companies that desire to be acting in the global market. In this case, perform welding repairs without stress relief becomes a great benefit. The intent of this study is to verify the result of the variation of some parameters like repairs distance, pre-heat in different thickness for GTAW martensitic repairs. GTAW process was chosen because of the repairs dimension. Different thicknesses were necessary in order to better simulate blades geometry and dimension.

Microhardness, metallography and chemical analysis were performed to verify the variation in base metal, HAZ and weld. Through result analyses it is possible to conclude that for casting products of 10 mm thickness a pre heat of 80 °C demonstrates low hardness values and for casting products of 50 mm thickness with one small distance between the repairs of 10 mm pre heat of 80 °C and for distances of 30mm a pre heat of 150 °C demonstrated low hardness values.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo de tratamento térmico do aço inox martensítico CA6NM padrão VOITH	7
Figura 2.2 Processo de soldagem MIG / MAG [9]	13
Figura 2.3 Princípio de funcionamento da soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos [10].....	14
Figura 2.4 Modos de transferência de metal [10]	14
Figura 4.1 Blocos fundidos de Aço Inox Martensítico CA6NM para realização dos corpos de prova.....	26
Figura 4.2 Corpo de prova fundido com 6 aberturas com distância de 10 mm.....	28
Figura 4.3 Corpo de prova fundido com 4 aberturas com distância de 30 mm.....	29
Figura 4.4 Corpos de prova fundidos na espessura de 10 mm com 6 e 4 aberturas..	29
Figura 4.5 Corpos de prova fundidos na espessura de 50 mm com 6 e 4 aberturas ..	30
Figura 4.6 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 4 aberturas.....	31
Figura 4.7 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 4 aberturas.....	31
Figura 4.8 Corpo de Prova soldado espessura de 10 mm	46
Figura 4.9 Corpo de Prova soldado espessura de 50 mm	47
Figura 4.10 Corpo de Prova com o passe de revenimento lixado.....	47
Figura 4.11 Corpo de Prova soldado com líquido penetrante	48
Figura 4.12 Corpo de Prova soldado com revelador, soldas sem defeitos.....	48
Figura 4.13 Durômetro AMSLER modelo DIA TESTOR 2RCS6 HV10	49
Figura 4.14 Medição de Dureza de Vickers com carga de 10 Kg e visualização com aumento de 140X.....	49
Figura 4.15 Sentido da medição de dureza.....	50
Figura 4.16 Orientação de medição na superfície do corpo de prova.....	51

Figura 4.17 Indicação das aberturas medidas.....	51
Figura 5.1 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova	52
Figura 5.2 Micrografia do corpo de prova - ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	52
Figura 5.3 Micrografia do corpo de prova - solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	52
Figura 5.4 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova.....	53
Figura 5.5 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	53
Figura 5.6 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	53
Figura 5.7 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova	54
Figura 5.8 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	54
Figura 5.9 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	54
Figura 5.10 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova.....	55
Figura 5.11 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	55
Figura 5.12 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	55
Figura 5.13 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	56
Figura 5.14 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	56
Figura 5.15 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	56
Figura 5.16 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova.....	57
Figura 5.17 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	57
Figura 5.18 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	57
Figura 5.19 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	58

Figura 5.20 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	58
Figura 5.21 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	58
Figura 5.22 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova	59
Figura 5.23 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	59
Figura 5.24 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	59
Figura 5.25 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	60
Figura 5.26 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	60
Figura 5.27 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	60
Figura 5.28 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	61
Figura 5.29 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	61
Figura 5.30 Micrografia do corpo de prova.....	61
Figura 5.31 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	62
Figura 5.32 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	62
Figura 5.33 Micrografia do corpo de prova solda	62
Figura 5.34 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova	63
Figura 5.35 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	63
Figura 5.36 35 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	63
Figura 5.37 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	64
Figura 5.38 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	64
Figura 5.39 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	64

Figura 5.40 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova.....	65
Figura 5.41 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	65
Figura 5.42 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	65
Figura 5.43 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	66
Figura 5.44 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	66
Figura 5.45 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	66
Figura 5.46 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova.....	67
Figura 5.47 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	67
Figura 5.48 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	67
Figura 5.49 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	68
Figura 5.50 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	68
Figura 5.51 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	68
Figura 5.52 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova.....	69
Figura 5.53 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	69
Figura 5.54 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	69
Figura 5.55 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	70
Figura 5.56 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	70
Figura 5.57 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	70
Figura 5.58 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova.....	71

Figura 5.59 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	71
Figura 5.60 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	71
Figura 5.61 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	72
Figura 5.62 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	72
Figura 5.63 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	72
Figura 5.64 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	73
Figura 5.65 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	73
Figura 5.66 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	73
Figura 5.67 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	74
Figura 5.69 Micrografia do corpo de prova solda	74
Figura 5.68 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	74
Figura 5.70 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova	75
Figura 5.72 Micrografia do corpo de prova solda	75
Figura 5.71 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	75
Figura 5.73 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	76
Figura 5.74 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	76
Figura 5.75 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	76
Figura 5.76 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	77
Figura 5.77 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	77
Figura 5.78 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	77

Figura 5.79 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	78
Figura 5.80 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	78
Figura 5.81 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	78
Figura 5.82 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova.....	79
Figura 5.83 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	79
Figura 5.84 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	79
Figura 5.85 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova....	80
Figura 5.86 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	80
Figura 5.87 87Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x	80
Figura 5.88 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova.....	81
Figura 5.89 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	81
Figura 5.90 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	81
Figura 5.91 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova....	82
Figura 5.92 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	82
Figura 5.93 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	82
Figura 5.94 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova.....	83
Figura 5.95 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x	83
Figura 5.96 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x.....	83
Figura 5.97 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 10mm	85
Figura 5.98 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 10mm	85

Figura 5.99 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 50mm	86
Figura 5.100 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 50mm.....	86
Figura 5.101 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 10mm.....	87
Figura 5.102 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 10mm.....	87
Figura 5.103 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 50mm.....	88
Figura 5.104 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 50mm.....	88
Figura 5.105 Isotermas nas chapas finas [13]	90
Figura 5.106 Velocidade de Resfriamento relacionado ao conceito chapa fina e grossa	90
Figura 5.107 Isotermas nas chapas grossas[13]	91
Figura 5.108 Relação entre o valor de dureza e a temperatura de revenimento [21]	92
Figura 5.109 Relação entre a quantidade de austenita e temperatura de revenimento[21]	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Propriedades mecânicas dos aços CA6NM segundo a norma ASTM A743M .4	
Tabela 2.2 Composição química nominal dos aços CA6NM segundo a norma ASTM A743M	5
Tabela 4.1 Dimensão dos corpos de prova do metal base	26
Tabela 4.2 Dimensão dos corpos de prova do metal base	26
Tabela 4.3 Composição química do metal base.....	27
Tabela 4.4 Análise química do arame consumível.....	27
Tabela 4.5 Valores médios reais das aberturas a serem soldadas tomados como referência para a simulação	28
Tabela 4.6 Valores encontrados das aberturas a serem soldadas	30
Tabela 4.7 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova.....	32
Tabela 4.8 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova.....	33
Tabela 4.9 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova.....	33
Tabela 4.10 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	33
Tabela 4.11 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova	34
Tabela 4.12 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova	34
Tabela 4.13 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova.....	35
Tabela 4.14 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	35
Tabela 4.15 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	35
Tabela 4.16 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	36
Tabela 4.17 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova.....	36
Tabela 4.18 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	37
Tabela 4.19 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	37

Tabela 4.20 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	37
Tabela 4.21 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova	38
Tabela 4.22 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova	38
Tabela 4.23 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova	38
Tabela 4.24 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	39
Tabela 4.25 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	39
Tabela 4.26 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	39
Tabela 4.27 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova	40
Tabela 4.28 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	40
Tabela 4.29 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	40
Tabela 4.30 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	40
Tabela 4.31 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova	41
Tabela 4.32 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova	41
Tabela 4.33 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova	41
Tabela 4.34 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	42
Tabela 4.35 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	42
Tabela 4.36 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	42
Tabela 4.37 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova	43
Tabela 4.38 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	43
Tabela 4.39 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	43
Tabela 4.40 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	44
Tabela 4.41 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova	44
Tabela 4.42 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova	44
Tabela 4.43 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova	45
Tabela 4.44 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova	45
Tabela 4.45 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova	46

Tabela 4.46 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova	46
Tabela 5.1 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova.....	52
Tabela 5.2 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova - horizontal	52
Tabela 5.3 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	53
Tabela 5.4 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	53
Tabela 5.5 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova.....	54
Tabela 5.6 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	54
Tabela 5.7 Medição realizada no sentido vertical– 3ª abertura corpo de prova	55
Tabela 5.8 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	55
Tabela 5.9 Medição realizada no sentido horizontal– 1ª abertura corpo de prova.....	56
Tabela 5.10 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	56
Tabela 5.11 Medição realizada no sentido vertical– 1ª abertura corpo de prova	57
Tabela 5.12 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	57
Tabela 5.13 Medição realizada no sentido horizontal– 3ª abertura corpo de prova....	58
Tabela 5.14 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	58
Tabela 5.15 Medição realizada no sentido vertical– 3ª abertura corpo de prova	59
Tabela 5.16 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	59
Tabela 5.17 Medição realizada no sentido horizontal– 1ª abertura corpo de prova	60
Tabela 5.18 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	60
Tabela 5.19 Medição realizada no sentido vertical– 1ª abertura corpo de prova	61
Tabela 5.20 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	61

Tabela 5.21 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova....	62
Tabela 5.22 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	62
Tabela 5.23 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova	63
Tabela 5.24 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	63
Tabela 5.25 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova....	64
Tabela 5.26 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	64
Tabela 5.27 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova	65
Tabela 5.28 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	65
Tabela 5.29 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova....	66
Tabela 5.30 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	66
Tabela 5.31 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova	67
Tabela 5.32 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	67
Tabela 5.33 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova....	68
Tabela 5.34 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	68
Tabela 5.35 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova	69
Tabela 5.36 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	69
Tabela 5.37 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova....	70
Tabela 5.38 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	70
Tabela 5.39 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova	71
Tabela 5.40 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	71
Tabela 5.41 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova....	72

Tabela 5.42 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	72
Tabela 5.43 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova	73
Tabela 5.44 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	73
Tabela 5.45 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova	74
Tabela 5.46 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	74
Tabela 5.47 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova	75
Tabela 5.48 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	75
Tabela 5.49 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova ...	76
Tabela 5.50 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	76
Tabela 5.51 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	77
Tabela 5.52 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	77
Tabela 5.53 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova ...	78
Tabela 5.54 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	78
Tabela 5.55 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova	79
Tabela 5.56 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	79
Tabela 5.57 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova ...	80
Tabela 5.58 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	80
Tabela 5.59 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova	81
Tabela 5.60 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	81
Tabela 5.61 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova ...	82

Tabela 5.62 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal	82
Tabela 5.63 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova	83
Tabela 5.64 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical.....	83
Tabela 5.65 Análises de composição química e metalográfica.....	84

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

- ASTM: American Society For Testing And Materials
- AWS: American Welding Society
- CP: Corpo de Prova
- GMAW: Gas Metal Arc Welding
- GTAW: Gas Tungsten Arc Welding
- ZAC: Zona Afetada pelo Calor
- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- AIMM: Aço inox martensítico macio
- Ms: Temperatura inicial da transformação da martensita
- Mf: Temperatura final da transformação da martensita
- Ac1: Temperatura final de transformação da austenita

SUMÁRIO

CURRICULUM VITAE	iii
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xix
SUMÁRIO	xx
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. AÇOS INOX MARTENSÍTICO TIPO CA6NM.....	2
2.1.1. PRODUTOS FUNDIDOS	2
2.1.2. AÇOS INOX MARTENSÍTICO TIPO CA6NM	3
2.1.3. TRATAMENTO TÉRMICOS.....	5
2.1.4. DEFEITOS NOS FUNDIDOS [1].....	9
2.2. PROCESSO DE SOLDAGEM	10
2.2.1. PROCESSO MIG/MAG.....	11
2.2.2. PROCESSO DE SOLDAGEM ELETRODO REVESTIDO	13
2.2.3. PROCESSO DE SOLDAGEM TIG.....	17
2.2.3.1. APLICAÇÕES.....	18
2.2.3.2. VANTAGENS DO PROCESSO.....	18
2.2.3.3. DESVANTAGENS DO PROCESSO.....	19
2.2.3.4. PARÂMETROS DO PROCESSO	19
2.2.4. SOLDAGEM TIG COM PASSE DE REVENIMENTO [12]	21
2.3. RELAÇÃO ENTRE OS CICLOS TÉRMICOS E EXTENSÃO DA ZAC.	22

3.	OBJETIVOS.....	25
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1.	MATERIAL DE BASE UTILIZADO	25
4.1.1.	CONSUMÍVEIS:.....	27
4.1.2.	PROCEDIMENTO DE PREPARAÇÃO DOS CORPOS E SOLDAGEM.....	28
4.1.2.1.	CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA	32
4.1.2.2.	CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA	34
4.1.2.3.	CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA	36
4.1.2.4.	CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA	38
4.1.2.5.	CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA	39
4.1.2.6.	CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA	41
4.1.2.7.	CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA	42
4.1.2.8.	CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA	45
4.1.3.	ENSAIO DE DUREZA.....	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	52
5.2.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	53
5.3.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	54
5.4.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	55
5.5.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	56
5.6.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	57
5.7.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	58
5.8.	Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	59
5.9.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	60
5.10.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	61
5.11.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	62

5.12.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	63
5.13.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	64
5.14.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	65
5.15.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	66
5.16.	Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	67
5.18.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	69
5.19.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	70
5.20.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas.....	71
5.21.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	72
5.22.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	73
5.23.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	74
5.24.	Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas.....	75
5.25.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	76
5.26.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	77
5.27.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	78
5.28.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas...	79
5.29.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	80
5.30.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	81
5.31.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	82
5.32.	Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas...	83
5.33.	ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E METALOGRAFICA.....	84
5.34.1.	VALORES DE DUREZA.....	85
5.34.2.	DIMENSÃO ZAC.....	87
6.	CONCLUSÕES.....	93
7.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	95
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

ANEXO I – Certificado de Composição Química do Metal Base.....	98
ANEXO II – Certificado de Composição Química do Metal de Adição	99

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O aço inox martensítico é largamente utilizado na fabricação de rotores Francis para usinas hidrelétricas por possuir boas propriedades mecânicas aliadas à resistência a cavitação. Na fabricação, os aços inox martensíticos fundidos são sujeitos a defeitos inerentes ao processo de fundição tais como porosidades ou quando em operação, os seus componentes, como as pás são expostos a vários ciclos e ambientes de trabalho passíveis de iniciação de defeitos como cavitação ou até mesmo trincas. Por meio disto, estudos são realizados para se evitar que os reparos gerem etapas extensas, desta forma a soldagem como uma das principais ferramentas para reparos de manutenção deve ser utilizada minimizando-se os recursos de movimentação, desmontagem e retirada do equipamento. O intuito deste trabalho é mediante realização da soldagem de várias aberturas padrões simulando reparos diversos em rotores fabricados em aço inox martensítico CA6NM, verificar as melhores condições que garantam uma região soldada que inclui o metal soldado e a ZAC com propriedades mecânicas e metalúrgicas mais similares ao metal base adjacente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. AÇOS INOX MARTENSÍTICO TIPO CA6NM

2.1.1. PRODUTOS FUNDIDOS

A fundição é um processo que tem características únicas entre os processos de fabricação por várias razões. Talvez a mais evidente seja a forma como o processo de moldagem e vazamento são capazes de fabricar componentes complexos, variando de peças de pequeno porte a peças de várias toneladas, sendo que, praticamente qualquer material metálico pode ser fundido.

Estima-se que os produtos fundidos são utilizados em aproximadamente 90% ou mais na fabricação de componentes para indústrias de bem de capital. A diversidade no uso do fundido é um resultado direto das muitas vantagens funcionais e econômicas que os produtos fundidos possuem comparada aos métodos de conformação. Um destes produtos fundidos é o aço inox martensítico CA6NM[1]

2.1.2. AÇOS INOX MARTENSÍTICO TIPO CA6NM

O aço inox martensítico tipo CA6NM é uma liga de ferro cromo níquel e molibdênio endurecível por tratamento térmico. Para resistência à corrosão ele é similar, no geral, ao CA15, mas a adição de níquel e molibdênio a composição do CA6NM melhora sua resistência ao ataque corrosivo pela água do mar. Embora as propriedades de resistência à tração do CA6NM sejam comparáveis as do CA15, a resistência ao impacto é cerca de duas vezes maior, assim como a resistência ao desgaste por cavitação. Seções de espessuras maiores e estruturas complexas são fundidas com maior facilidade nos aços CA6NM do que no CA15. A maior aplicação para esta liga tem sido em rotores para turbinas hidráulicas de geração de energia. Relativo à nomenclatura do aço CA6NM, a primeira letra refere-se a sua resistência em meios corrosivos (C). A segunda letra indica o valor nominal do teor de níquel e de cromo. Com o correspondente aumento do teor do Ni, a designação se altera de A a Z. Os números que seguem as duas primeiras letras indicam a percentagem de carbono ($\% \times 100$). Por último, as letras subsequentes, correspondem à primeira letra dos elementos de liga presente no material. Nesse caso níquel (N) e molibdênio (M). Dessa maneira, o aço CA6NM é um aço resistente à corrosão com 13% de cromo, ligado ao níquel e molibdênio, contendo no máximo 0,06% carbono.

O CA6NM pode conter apreciáveis quantidades de austenita retida porque esta estrutura contém a melhor combinação de resistência, ductilidade, dureza e impacto. Variações no tratamento térmico podem ser efetuadas a fim de melhorar uma ou mais destas propriedades. Este aço possui boa usinabilidade e soldabilidade se

técnicas adequadas são empregadas. A liga é magnética e tem um coeficiente térmico de expansão levemente menor do que o aço carbono.

A condutividade térmica é aproximadamente 45 % menor do que o aço carbono, mas 60 % maior do que aços ligados, sendo que a resistividade elétrica é cerca de 5 vezes do aço carbono.

Dependendo dos requisitos de resistência mecânica (tabela 2.1), a liga pode ser revenida a 316 °C ou mais comumente na faixa de 593 °C a 621 °C. Depois que os fundidos se resfriam abaixo da temperatura final de formação da martensita, que varia com o balanço da composição química (tabela 2.2), eles devem ser revenido o mais rápido possível.

O revenimento próximo a 482 °C deve ser evitado, pois pode gerar baixa ductilidade, entretanto alguma reaustenitização pode ocorrer se o revenimento for realizado em temperaturas acima de 649 °C, pode-se conter martensita não revenida após o resfriamento. Para alcançar valores de dureza abaixo de 22 HRC o duplo revenimento é aplicado nos fundidos que são utilizados em ambiente com H₂S. Um típico tratamento de duplo revenimento consistirá de um tratamento de 677 °C seguido por outro de 607 °C. [2]

Tabela 2.1 Propriedades mecânicas dos aços CA6NM segundo a norma ASTM A743M

Grau	Tipo	YS MPa min.	TS MPa min.	A % min.	Z % min.	HB * máx.	Impacto Charpy V ** J min.
CA6NM	12 Cromo 4 Níquel	550	755	15	35	285	50

Tabela 2.2 Composição química nominal dos aços CA6NM segundo a norma ASTM A743M

Elemento Químico	C (máx)	Mn (max)	Si(máx)	Cr	Ni	Mo	P(máx)	S (máx)
Percentual	0,06	1,00	1,00	11,5-14,0	3,5-4,5	0,4-1,0	0,04	0,03

2.1.3. TRATAMENTO TÉRMICOS

2.1.3.1. TÊMPERA

O processo de têmpera nos aços consiste do aquecimento do material dentro do campo austenítico, seguido de resfriamento até uma temperatura abaixo da temperatura M_s (265 °C) e, rápido o suficiente para obtenção de martensita. [3]

Os aços CA6NM normalmente são austenitizados entre 950 °C a 1050 °C, período no qual ocorre a homogeneização dos elementos segregados, a dissolução de carbonetos e decomposição da ferrita delta oriunda do material bruto de fundição. A temperatura de austenitização não deve ser muito baixa, pois esta conduz a baixos valores de tenacidade devido a não dissolução dos carbonetos e, ao mesmo tempo, não deve ser muito alta para evitar o crescimento acentuado dos grãos austeníticos.

Além da temperatura de solubilização, o resfriamento de têmpera também é um fator importante no tratamento térmico e, nos aços CA6NM geralmente procura-se fazê-lo o mais rápido possível de maneira a evitar a precipitação de carbonetos.

Em contrapartida, resfriamentos bruscos podem induzir altas tensões internas na peça, podendo causar defeitos macroscópicos como trincas e empenamento.

A precipitação durante o resfriamento de têmpera, para os aços CA6NM que possuem M_s acima da temperatura ambiente, pode ocorrer de dois modos distintos. No primeiro a precipitação de carbonetos ocorre acima de M_s . Neste caso, a precipitação se deve principalmente à queda de solubilidade de elementos intersticiais (C,N) e de elementos de liga, na austenita. Um exemplo disto é o carboneto $M_{23}C_6$, que é rico em cromo e pode se formar numa faixa de temperatura de aproximadamente entre 750 °C e 450 °C. No entanto, neste caso, necessita-se de baixíssimas velocidades de resfriamento, como no núcleo de peças de grandes secções submetidas ao resfriamento ao ar. No segundo a precipitação de carbonetos acontece abaixo de M_s , ou seja, após transformação martensítica. Neste caso, a precipitação ocorre devido a uma acentuada queda de solubilidade de elementos intersticiais, principalmente do carbono, na martensita. Desta maneira, com o resfriamento da martensita a partir de M_s acima da temperatura ambiente, o carbono difunde para regiões de mais baixa energia, como nos contornos de ripa da martensita e discordâncias, formando carbonetos ricos em ferro, ou seja, o auto-revenimento. [4] [5]

Segue abaixo (figura 2.1) com o ciclo térmico utilizado pela empresa Voith para têmpera e revenimento, que segue as recomendações da norma ASTM A743M [6]

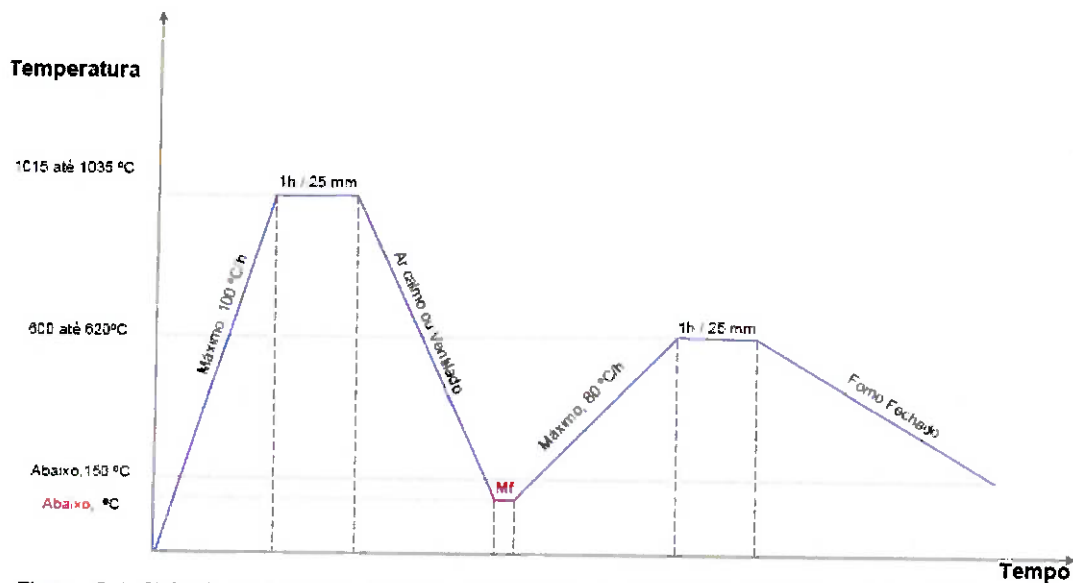


Figura 2.1 Ciclo de tratamento térmico do aço inox martensítico CA6NM padrão VOITH

2.1.3.2. REVENIMENTO

Os objetivos da utilização do tratamento de revenido são diversos e dependem basicamente de sua composição química e da aplicação final do material. Na maioria dos aços martensíticos, como os aços AIMM (CA6NM), o revenido é utilizado com a finalidade de aumentar a tenacidade e a ductilidade.[7]

Os fenômenos relacionados com o revenido são: a segregação de carbono para os defeitos de rede e a precipitação de carbonetos; recuperação e recristalização da estrutura martensítica; formação de ferrita e carbonetos. Nos aços CA6NM, o tratamento de revenido pode ser tanto simples quanto múltiplo, sendo neste último caso, o revenido duplo o mais usado. O revenido simples é normalmente realizado numa faixa de temperatura em torno de A_{c1} (570 °C). Em

temperaturas ligeiramente acima de Ac1 se obtém os melhores valores de tenacidade. [8]

No caso do revenido duplo ele é utilizado para refazer o primeiro revenido quando não se atinge a especificação de projeto, ou para diminuir ao máximo a dureza do material.

Esta situação é encontrada, por exemplo, em aplicações que demandam materiais resistentes à corrosão sob tensão em meios contendo H₂S (Sulfide Stress Cracking), nos quais, segundo a norma MR-01-75 da NACE a dureza de 22 Rockwell C não pode ser excedida. Dificilmente com um único revenido, se alcança este valor mínimo.

O revenimento da martensita aumenta sensivelmente a tenacidade e ductilidade e em alguns casos, sem redução substancial da resistência mecânica. A elevada dureza e resistência da martensita revenida está relacionada com a alta relação de área entre os contornos de cementita e da matriz. Isto se deve às pequenas e numerosas partículas de cementita que se localizam nos contornos e discordâncias, e agem como barreiras à sua movimentação durante a deformação plástica. Dessa maneira, a matriz que é dúctil, é reforçada pela cementita.

Usualmente para um aço baixo carbono, o revenido da martensita ocorre em uma faixa de temperatura entre 250 °C e 650 °C, por um processo difusional.

A microestrutura da martensita revenida consiste de partículas extremamente finas de cementita dispersas na matriz ferrítica

Para aços com carbono superior a 0,2%, dois tipos de precipitados intermediários, podem preceder a formação da cementita que, por ordem de formação são: o carboneto ϵ (Fe₂-3C), que se precipita entre 100 °C e 200 °C; e o

carboneto de Hägg (Fe_5C_2) que se forma em apenas algumas ligas de aço alto carbono. [7]

2.1.4. DEFEITOS NOS FUNDIDOS [1]

A necessidade da realização de reparo por soldagem é devido a alguns defeitos típicos do produto do fundido, sendo que, a porosidade é um dos problemas mais sério e comum, é geralmente originado pela evolução dos gases durante o processo da fundição e solidificação. Os gases podem ser originados entre a areia do fundido ou molde com o metal, ou podem resultar da evolução dos gases dissolvido no líquido durante a solidificação do metal. Por exemplo, aços líquidos podem ter hidrogênio e nitrogênio dissolvido. A solubilidade destes gases no sólido pode ser menor do que no líquido, e desta forma os gases podem ser envolvidos durante a solidificação, se isto ocorrerá ou não dependerá de alguns fatores como a quantidade de hidrogênio e nitrogênio presente, a liga sendo fundida, cinética química, e a tensão superficial da liga.

Outro sério problema é a cavitação que ocorre na superfície do metal em contato com o líquido. Diferenças de pressão no fluido geram gases ou bolhas de vapor no fluido. Quando estas bolhas encontram uma zona de alta pressão, elas entram em colapso e causam choques explosivos na superfície. Estes choques na superfície causam deformações localizadas e pitting. O pitting de cavitação eventualmente se une e causa um aumento na rugosidade generalizada resultando

na remoção do material. A cavitação é similar à erosão por partícula no seu efeito. Contudo, o aspecto da superfície resultante de cavitação é diferente daquele formada por erosão por partícula. A cavitação produz micro crateras arredondadas na superfície, enquanto que a erosão por partículas produz impressão do impacto das partículas. A formação da cratera remove material da superfície para as extremidades, a forte pressão originada pelo colapso das bolhas é altamente localizada e pode remover porções fragilizadas das fases micro estruturais.

A remoção do material ocorre de uma forma diferente entre materiais macios e duros, os materiais mais macios sofrem deformação e penetração plástica local, enquanto que os mais duros apresentam micro trincas. Em materiais que dependem de filmes apassivadores para proteção contra corrosão, a cavitação origina um ataque acelerado aparente. Em meios corrosivos, a cavitação remove este filme, e assim enfraquece o material levando a um processo de remoção mecânica do referido material.

A cavitação ocorre em equipamentos hidráulicos, entradas de tubos de trocador de calor e turbinas a vapor. [1]

2.2. PROCESSO DE SOLDAGEM

Na realização de reparos de componentes para usina hidrelétrica, a soldagem é amplamente utilizada e dentro da soldagem os processos MIG/MAG, eletrodo revestido e TIG merecem destaque, sendo que cada um tem a sua aplicação.

Para a soldagem com passes de revenimento com aberturas de pequenas dimensões o processo TIG é o mais aplicado.

2.2.1. PROCESSO MIG/MAG

MIG/MAG – GAS METAL ARC WELDING (GMAW), é um processo de soldagem a arco que utiliza um metal de adição contínuo e a poça de fusão. O processo é utilizado com uma proteção fornecida por um gás externo. (figura 2.2)

O conceito básico do MIG/MAG foi introduzido nos anos 1920, mas até 1948 não havia se tornado comercialmente disponível. Nos primeiros anos foi considerado, fundamentalmente como um processo de alta densidade de corrente, diâmetro de arame pequeno, arame sólido, usando um gás inerte para proteção. Sua primeira aplicação foi para soldagem de alumínio. Como resultado o termo MIG (Metal Inert Gas) foi usado e ainda é utilizado como uma referência ao processo. Desenvolvimentos subsequentes no processo incluíram operações em baixa densidade de correntes e corrente direta pulsada, aplicação em uma faixa mais larga de materiais, e uso de gases ativos (particularmente CO₂) e misturas. [9]

O processo MIG/MAG pode ser operado nos modos semi-automático, mecanizado ou automático. Todos os metais comercialmente importantes assim como o aço carbono, baixa liga alta resistência, aço inoxidável; alumínio, cobre, titânio, e ligas de níquel podem ser soldado em todas posições com este processo mediante a escolha apropriada do gás, arame e variáveis de soldagem.

As Vantagens do processo MIG/MAG incluem a superação as restrições de comprimento do eletrodo encontrado no processo de eletrodo revestido.

A soldagem pode ser feita em todas as posições, um aspecto não possível para o processo arco submerso.

As taxas de deposições são significativamente mais altas e os cordões mais longos devido à continuidade do eletrodo.

Quando a transferência por spray é utilizada, maiores penetrações são possíveis do que no eletrodo revestido, que permite o uso de cordões menores com a resistência mecânica equivalente.

A limpeza após a soldagem é mínima devido à ausência de escória pesada.

Estas vantagens tornam este processo adaptável a aplicações de soldagem automatizada com alta produtividade, sendo a utilização de robôs um dos processos mais aplicáveis.

O processo MIG/MAG é mais difícil de ser utilizado em locais com acessos complexos devido ao tamanho da tocha.

A distância entre a tocha e a região a ser soldada não pode ser muito grande a fim de evitar a falta de proteção do arco por meio da dispersão do gás.

Este processo é limitado para aplicações externas devido à proteção do gás que pode ser removido por correntes de ventos. [9]

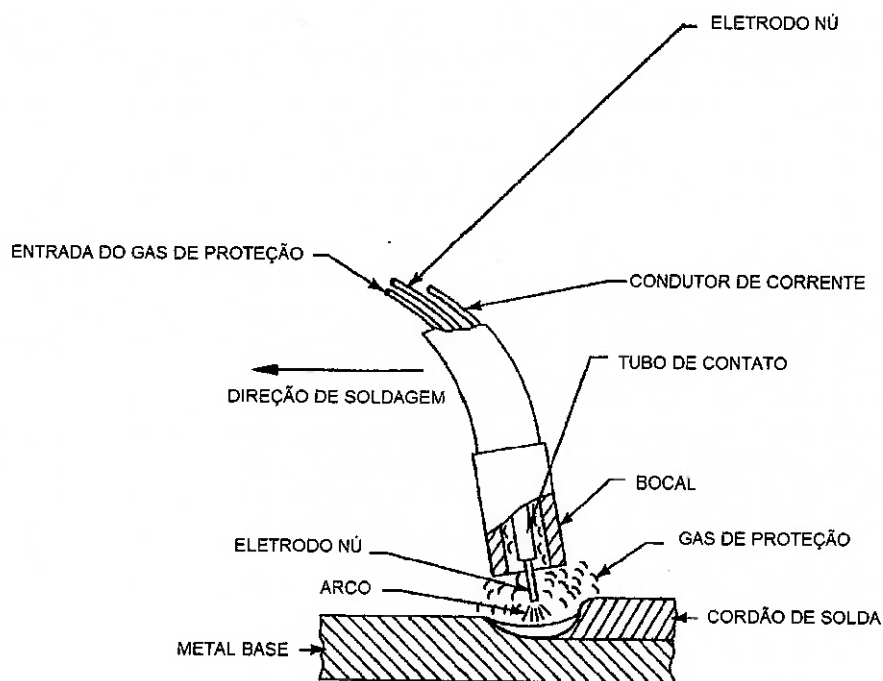


Figura 2.2 Processo de soldagem MIG / MAG [9]

2.2.2. PROCESSO DE SOLDAGEM ELETRODO REVESTIDO

O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é um dos processos mais empregado em reparos nos serviços de campo, devido a sua praticidade e o fato de se não utilizar gases.

Neste processo, o eletrodo consiste de um arame de material apropriado, coberto com um revestimento fundente que é consumido através de um arco gerado entre sua extremidade livre e o metal que se deseja soldar, conforme é ilustrado na figura 2.3. O arco representa a fonte de energia que é utilizada para promover a fusão das duas partes.

O eletrodo que se funde é transformado em gotas, devido à ação do arco elétrico, que são transferidas sob esta forma para a poça de fusão. Estas gotas serão finas e numerosas, no caso de se soldar com correntes de alta intensidade, e apresentarão o formato de glóbulos maiores, no caso de baixas intensidades de corrente.(figura 2.4)[10]

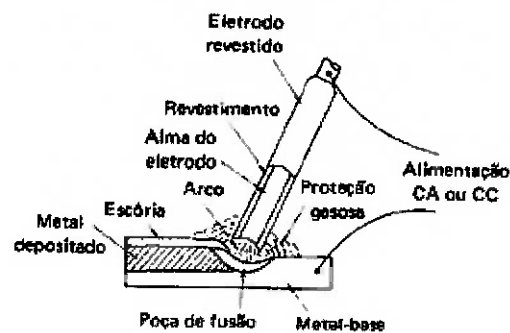


Figura 2.3 Princípio de funcionamento da soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos [10]

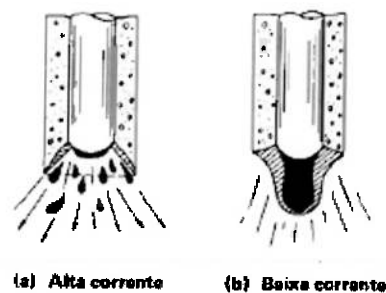


Figura 2.4 Modos de transferência de metal [10]

O modo pelo qual se processa a transferência do metal influi decisivamente na qualidade da junta soldada. De maneira genérica, gotas menores promovem melhor transferência e, portanto, melhores uniões soldadas. O modo de transferência é em

função da corrente de soldagem, da composição do revestimento, do ponto de fusão do eletrodo.

O revestimento transforma-se em escória, após a fusão, recobrando e protegendo a poça da contaminação atmosférica e muitas vezes interferindo no processo metalúrgico que ocorre durante a soldagem. Alguns componentes do revestimento transformam-se em gases, que servirão como redutores e também como estabilizadores do arco. As principais funções do revestimento são: estabilizar o arco e promover a transferência das gotas de material fundente de modo estável, promover a formação da escória e de gases para proteger a poça de fusão e auxiliar o refino do metal depositado e adicionar elementos de liga ao metal depositado quando necessário. [10]

O equipamento de soldagem é relativamente simples, portátil, e mais barato quando comparado aos outros processos de soldagem. A taxa de deposição é limitada pelo fato que o comprimento do eletrodo é de aproximadamente de 35 cm isto requer mudança constante, reduzindo em muito o resultado na produção final. [11]

Existe um grande número de tipos de eletrodo, cada qual apresentando suas próprias composições, para suprir determinadas necessidades. Apesar desta grande variedade, é possível agrupar, genericamente, os eletrodos em uma das seguintes classes de revestimento.

O eletrodo do tipo celulósico contem aproximadamente 30% de materiais orgânicos, que geram grande volume de gases para proteger a poça de fusão. O arco é bastante potente, permitindo uma grande penetração. Produz uma escória

fina e facilmente destacável, permitindo a soldagem vertical descendente. Em contraposição, o eletrodo produz muitos respingos, gerando mau aspecto ao cordão.

O eletrodo do tipo rutílico possui um alto conteúdo de óxido de titânio (TiO_2), ou rutilo, daí advindo o seu nome. O arco gerado por este tipo de eletrodo é bastante suave e sua penetração é relativamente baixa. A aparência do cordão, no entanto é muito boa, sendo, por isso, utilizado como passe de acabamento na união de chapas espessas.

O eletrodo do tipo básico é também denominado de baixo hidrogênio, pois proporciona um metal depositado com baixo teor deste elemento. Seu revestimento contém principalmente cal e fluorita. Devido ao baixo teor de hidrogênio, o metal depositado apresenta uma baixa sensibilidade ao trincamento. Em função destas características, a junta soldada exibe excelentes propriedades mecânicas, apresentando boa ductilidade e boa tenacidade. Entretanto, o arco gerado pelos eletrodos básicos é relativamente instável e as gotas que se transferem ao metal base são ligeiramente maiores do que as de outros tipos de eletrodos, o que faz com que sua manipulação exija maiores cuidados. Em razão das suas excelentes características de soldabilidade, os eletrodos básicos são utilizados em juntas de maior responsabilidade, principalmente naquelas estruturas constituídas de chapas de grossas, como no caso de vasos de pressão, caldeiras e outros sistemas similares.

[10]

2.2.3. PROCESSO DE SOLDAGEM TIG.

TIG – TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW), também conhecido como Heliarc, foi desenvolvido nos anos 1930 quando surgiu a necessidade de soldar magnésio. Russel Meredith desenvolveu um processo utilizando gás inerte Hélio e um eletrodo de Tungstênio para fundir o magnésio. Este método de união substituiu os rebites como método de fabricação de aviões com componentes de alumínio e magnésio. O processo de soldagem Helio Arc continua até os dias de hoje com muitos ajustes e mudança de nome, mas sem mudança nos fundamentos demonstrados por Meredith. A temperatura de fusão necessária para soldar os materiais no processo TIG é obtida por meio da manutenção de um arco com um eletrodo de liga de tungstênio e a peça. A temperatura da poça de fusão pode se aproximar a 2500 °C. Um gás inerte sustenta o arco e protege o metal fundido da contaminação atmosférica, este gás inerte normalmente é o argônio, hélio, ou mistura de hélio e argônio. [11][12]

Os eletrodos não consumíveis utilizados no processo TIG são compostos de tungstênio ou suas ligas. O eletrodo mais comum é o Th 2% (EWTh-2). Este material tem excelente características operacionais e boa estabilidade.

O tungstênio puro é utilizado primariamente em corrente alternada e possui a mais alta taxa de consumo, ligas de zircônio são também utilizadas. Os eletrodos de tungstênio são classificados baseados na sua composição química.

Os requisitos para os eletrodos de tungstênio são dados na ultima edição da ANSI/ AWS 5.12. [13] As fontes para soldagem com o processo TIG são frequentemente corrente constante. [11] [12]

2.2.3.1. APLICAÇÕES

O processo de soldagem TIG é usado extensivamente para soldagem de aço inoxidável, alumínio, magnésio, cobre e materiais reativos (como exemplo, titânio e tântalo). O processo pode ser utilizado para unir aços carbono e aço ligado. Em aços carbono, é primariamente utilizado para soldagem de passe de raiz com aplicação de insertos consumíveis ou técnicas com aberturas nas raízes em tubulações. A faixa de espessura vai de milésimos de milímetros a centenas. [14]

2.2.3.2. VANTAGENS DO PROCESSO

O processo de soldagem TIG é um processo que produz soldas de alta qualidade e baixa distorção, tendo como uma de suas principais características a ausência de respingos.

Pode ser usado com ou sem metal de adição, solda a maioria dos metais, incluindo dissimilares.

O processo TIG é aplicável quando uma maior qualidade de solda é requerida. Ele pode ser usado para soldar quase todo tipo de material. O operador tem excelente controle do aporte térmico, e sua visão não é limitada por fumos do processo. [14]

2.2.3.3. DESVANTAGENS DO PROCESSO

O processo de soldagem TIG produz taxas de deposição menor quando comparada a outros processos a arco.

Ademais, requer maior habilidade e coordenação do soldador do que nos processos MIG/MAG e eletrodo revestido, menos econômico do que outros processos a arco para espessuras maiores que 9 mm.

Problemas na soldagem em ambientes abertos por não ter gás suficiente para proteção da poça.

Alguns problemas adicionais com este processo podem incluir como a inclusão de tungstênio se o eletrodo entrar em contato com a poça de fusão, contaminação do metal de solda, se a proteção do gás não é mantida corretamente.

Este processo possui baixa tolerância para contaminantes no metal de adição ou de base. [14]

2.2.3.4. PARÂMETROS DO PROCESSO

A corrente é uma das mais importantes condições de operações de soldagem para se controlar, porque ela está relacionada à profundidade da penetração, velocidade de soldagem, taxa de deposição e qualidade da solda

Fundamentalmente, existem três escolhas para corrente de soldagem:

Corrente contínua eletrodo negativo

Corrente Contínua eletrodo positivo

Corrente alternada

O processo TIG utilizava o gás hélio como gás de proteção para soldagem de magnésio e alumínio, contudo, hoje o argônio é o gás predominante.

O argônio é o mais barato dos gases inertes utilizados no processo TIG, isto o torna grandemente utilizado, este gás tem um baixo potencial de ionização $2.52 \times 10^{-18} \text{ J}$, ou (15.7 eV), facilitando a formação do arco plasma mais do que em outros gases. O argônio é 1,4 vezes mais pesado do que o ar, desta forma ele remove o ar, tornando-se um excelente protetor da poça de fusão.

O hélio tem um potencial ionizante de $3.92 \times 10^{-18} \text{ J}$ (24.5 eV), que resulta em maior dificuldade de iniciar o arco em operação de altas tensões. Quanto mais alta a tensão do arco, V , maior será o aporte de calor, Q , para um dado comprimento de arco e corrente, I :

$$Q = IVt \text{ (EQ 1)}$$

onde: Q está em Joules, I em Amperes; e t em segundos.

Este aporte de calor alto pode ser bastante benéfico quando na soldagem de cobre, alumínio e outros materiais de alta condutividade.

As espessuras das peças a serem soldadas determinarão a necessidade da adição de metais de adição. Materiais mais finos do que 3,2 mm podem com sucesso serem soldados sem material de adição. O material de adição pode ser adicionado manualmente ou mecanicamente e são fornecidos em forma de varetas. [13]

2.2.4. SOLDAGEM TIG COM PASSE DE REVENIMENTO [14]

Por muitos anos metalurgistas tem reconhecido que a soldagem pode trazer tanto efeitos positivos quanto negativos nas propriedades dos materiais. Historicamente um caminho para minimizar alguns destes efeitos deletérios é o tratamento térmico pós soldagem. O tratamento térmico pós soldagem é muitas vezes chamado de tratamento de alívio de tensão porque ele reduz a tensão na junta soldada. Para aços carbono e baixa liga, o tratamento térmico pós soldagem também revine as microestruturas duras como martensita, aprimorando a resistência a trinca por meio de melhoria na ductilidade do metal de base e da zona afetada pelo calor.

Para otimizar as propriedades das soldas nos aços modernos em que o tratamento térmico pós soldagem não é realizado, ou as propriedades em que este tratamento é desejável mas não é possível praticá-lo, técnicas especiais de soldagem tem sido aplicadas, entre estas temos a soldagem com passe de revenimento.

O código ASME IX define a soldagem com passe de revenimento como:

Um cordão de solda depositado em um lugar específico na superfície de uma solda com o propósito de afetar as propriedades metalúrgicas da zona afetada pelo calor ou do material previamente depositado.

Contudo a técnica de soldagem com passe de revenimento tem sido desenvolvida para simular o efeito do revenimento no tratamento térmico após soldagem. Existem dados que as propriedades mecânicas na ZAC podem ser melhoradas similarmente as propriedades do tratamento térmico após soldagem convencional. O passe de revenimento objetiva melhorar a resistência à fratura e reduzir o valor máximo de dureza.

Dois fatores podem determinar quais microestruturas existem na ZAC depois que uma solda com revenimento é depositada.

O primeiro é a análise química do metal de base, frequentemente expressa usando a fórmula de carbono equivalente (CE) publicada pelo Instituto Internacional de Soldagem (IIW): $CE=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$, demonstrando que, quanto mais alto o CE, mais endurecível é o aço e menor a sua soldabilidade.

Outro fator é a taxa de resfriamento, os materiais mais espessos resfriam mais rápidos do que os finos. Soldas feitas com baixo aporte de calor resfriam mais rápido do que as soldas feitas com alto aporte de calor. Soldas feitas em metais de base que não são pré aquecido resfriam mais rápido do que em materiais pré aquecidos.

[15]

2.3. RELAÇÃO ENTRE OS CICLOS TÉRMICOS E EXTENSÃO DA ZAC.

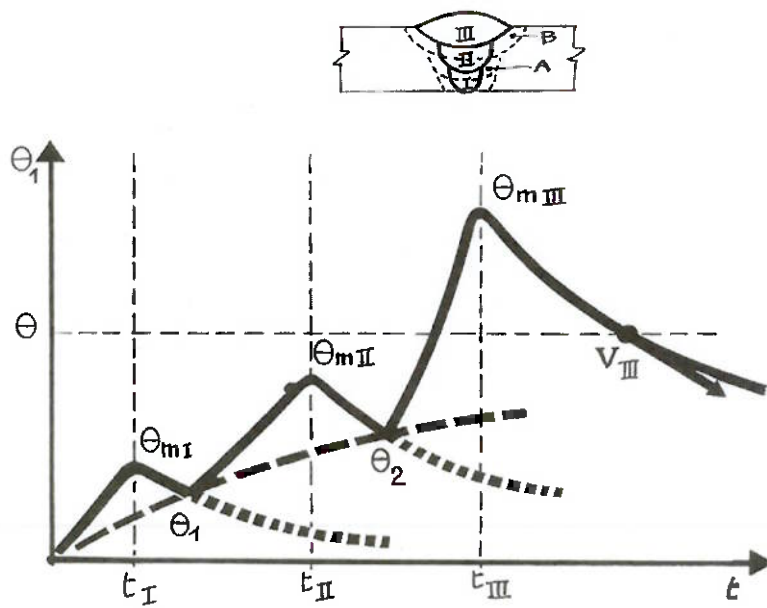
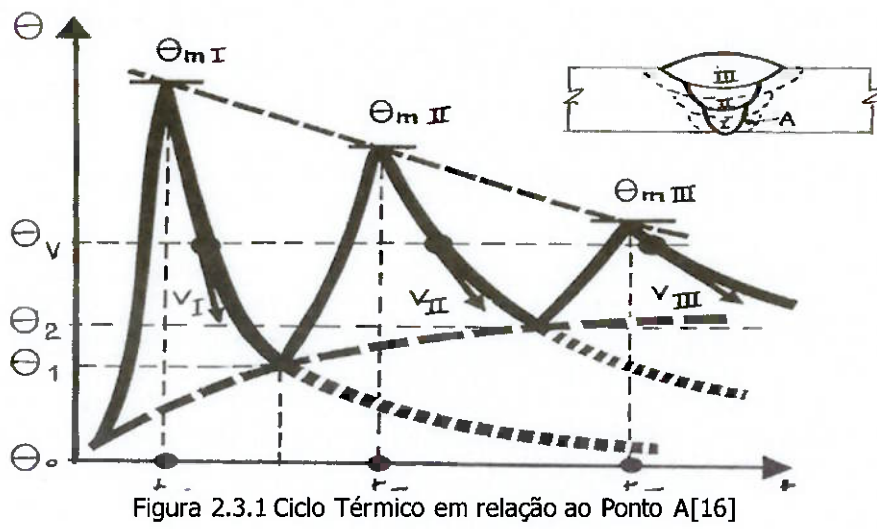
A importância dos ciclos térmicos a que são submetidos os materiais durante a soldagem é bem conhecida, uma vez que eles influenciam diretamente na estrutura cristalina, e, portanto nas propriedades finais dos materiais.

Um ciclo térmico de soldagem consiste basicamente, em três fases: a etapa de aquecimento vigoroso do material no início do processo; a fase em que a temperatura máxima do ciclo é atingida; e a etapa de resfriamento gradual, até que a temperatura retorne ao valor inicial.

Durante a soldagem, cada ponto de material processado passa por um ciclo térmico cuja intensidade será em função de sua localização em relação à fonte de energia, eletrodo. Verifica-se que, em qualquer ponto do corpo, o conjunto de temperaturas é em função das seguintes grandezas e variáveis: intensidade da fonte de calor, propriedades termodinâmicas do material, temperatura inicial do sólido, velocidade de deslocamento da fonte móvel de energia e das coordenadas do ponto onde se deseja conhecer o valor da temperatura.

No caso da figura 2.3.1 a fonte de energia se afasta do ponto de referência que está próximo ao cordão da raiz da solda em quanto que na figura 2.3.2 a fonte de energia se aproxima do ponto de referência que está próximo a superfície resultando em ciclos térmicos de maior intensidade.

Neste estudo prático, a simulação com a variação de temperatura, espessura das chapas e distância entre os reparos, tem o intuito de verificar o efeito dos ciclos térmicos de soldagem em cada abertura. Em relação às estruturas dos aços inoxidáveis martensíticos ela é determinada não somente pela composição química, mas também pelo tratamento térmico aplicado, mostrando-se decisivo nas propriedades finais do material. [7]



3. OBJETIVOS.

Este trabalho tem por objetivo verificar a influência da variação dos parâmetros da soldagem na estrutura e propriedades mecânicas do reparo realizado e por meio disto estabelecer limites a serem alcançados e um valor ideal a ser seguido para cada faixa de espessura em que a região soldada obtenha características mais próximas ao aço inoxidável martensítico CA6NM. E, esta análise será realizada mediante ensaios como dureza, metalografia e análise química.

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1. MATERIAL DE BASE UTILIZADO

Para execução do experimento foi utilizado como material base o aço inox martensítico CA6NM.

Foram utilizados dois blocos fundidos da mesma corrida nº C4618A, nas dimensões de 120mm x 200mm x 300mm, fundidos pela VOITH HYDRO fundição,

com certificado de qualidade nº 0618 / 2012, este certificado se encontra em anexo:

Anexo 1

Destes blocos fundidos foram retirados oito corpos de provas para realização da simulação dos reparos nas seguintes dimensões:

Tabela 4.1 Dimensão dos corpos de prova do metal base

<i>Quantidade</i>	<i>Espessura</i>	<i>Largura</i>	<i>Comprimento</i>
4 Corpos de Prova	10 mm	200 mm	300 mm

Tabela 4.2 Dimensão dos corpos de prova do metal base

<i>Quantidade</i>	<i>Espessura</i>	<i>Largura</i>	<i>Comprimento</i>
4 Corpos de Prova	50 mm	200 mm	300 mm



Figura 4.1 Blocos fundidos de Aço Inox Martensítico CA6NM para realização dos corpos de prova

Composição química:

Tabela 4.3 Composição química do metal base

Corrida	Análise	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Ceq	Mo	Cr	Ni	Nb	V	Ti
4618A	P : (%)	0.025	0.71	0.03	0.002	0.45	-	-	-	0.4	12.3	3.7	-	-	-

4.1.1. CONSUMÍVEIS:

Na realização da soldagem foi utilizado o arame ER 410 NiMo com diâmetro de 2,4 mm fornecido pela empresa Weld Inox com o certificado nº100619 , ver anexo 2

Referência comercial: Weld Inox Soldas Especiais

Normas de referência: AWS A5.9 ER 410 NiMo

ASME SFA 5.9 ED10 AD11 ER 410 NiMo

Análise Química (valores em porcentagem):

Tabela 4.4 Análise química do arame consumível

Corrida N°	Unidade	C	Mn	Cr	Si	Mo	Ni
920078	60 Kg	0.0180	0.5500	12.0800	0.3300	0.4200	4.5600

P	S	Cu	Co	Ti	Nb	V	Al	N
0.0150	0.0045	0.0860	0.0440	0.0020	0.0040	0.0730	0.0020	0.0130

4.1.2. PROCEDIMENTO DE PREPARAÇÃO DOS CORPOS E SOLDAGEM

A fim de realizar-se uma simulação mais condizente com a realidade fabril foram medidas várias aberturas de reparos a serem soldadas nas pás para rotores e os valores médios encontrados foram tomados como referência conforme tabela.4.5. Para o distanciamento entre os reparos dos blocos fundidos foram utilizadas duas medidas (10 e 30 mm) devido à variação no valor de distanciamento destas aberturas nas superfícies das pás. (figuras de 4.2 a 4.5)

Tabela 4.5 Valores médios reais das aberturas a serem soldadas tomados como referência para a simulação

Distanciamento entre as aberturas	Diâmetro	Profundidade
10 e 30 mm	10 mm	5 mm

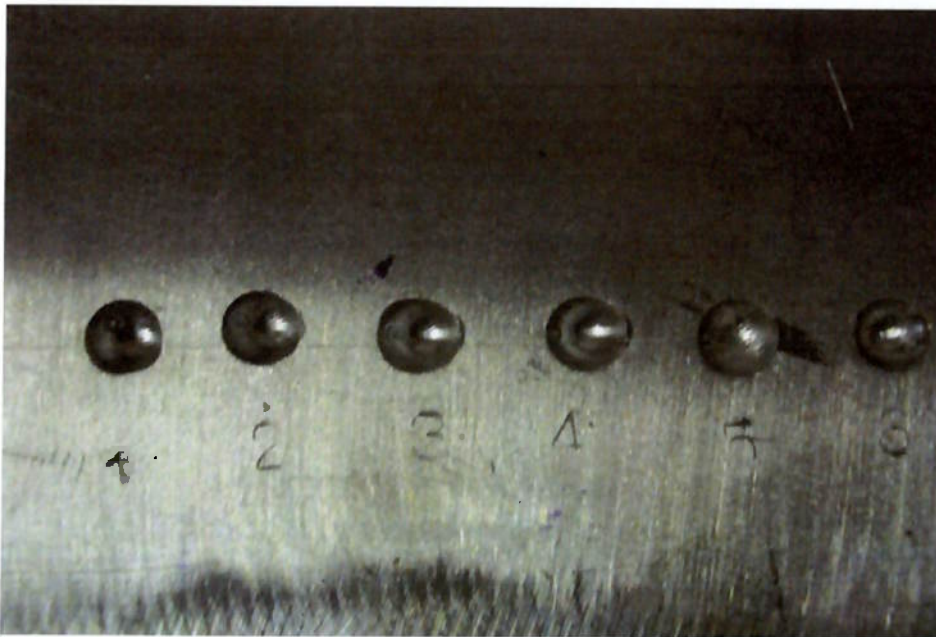


Figura 4.2 Corpo de prova fundido com 6 aberturas com distância de 10 mm

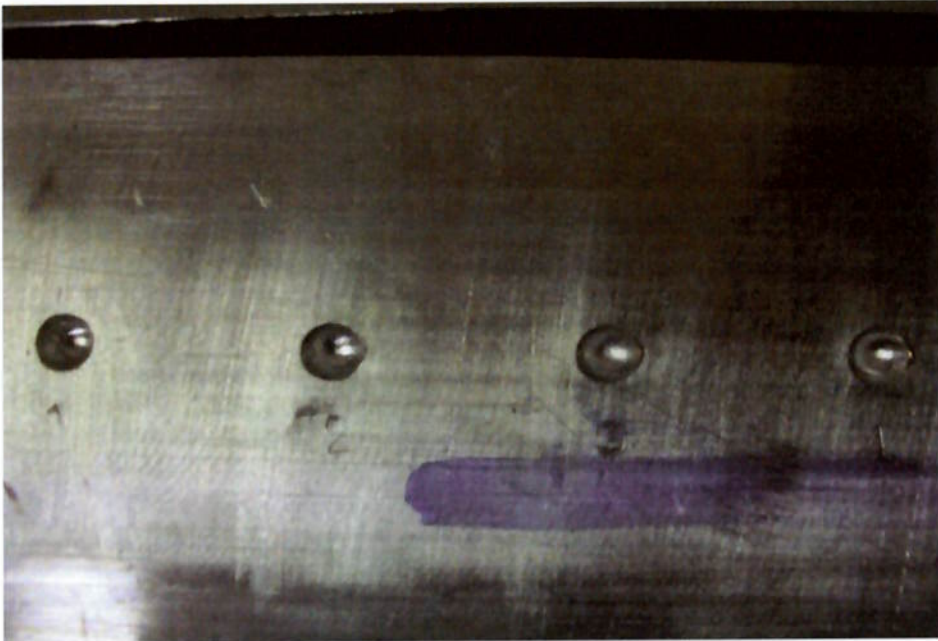


Figura 4.3 Corpo de prova fundido com 4 aberturas com distância de 30 mm



Figura 4.4 Corpos de prova fundidos na espessura de 10 mm com 6 e 4 aberturas



Figura 4.5 Corpos de prova fundidos na espessura de 50 mm com 6 e 4 aberturas

Tabela 4.6 Valores encontrados das aberturas a serem soldadas

Furo	1		2		3		4		5		6	
	Ø	p	Ø	p	Ø	p	Ø	p	Ø	p	Ø	p
50.1	10,30	4,90	10,50	5,00	10,20	4,70	9,70	4,80	10,65	5,10	10,20	4,80
10.1	10,80	5,30	10,10	5,05	10,20	5,00	10,30	4,90	10,60	4,90	10,50	5,10
50.2	10,30	4,90	9,90	4,90	10,00	4,70	10,40	4,80	-	-	-	-
10.2	10,40	5,00	10,30	5,00	10,50	4,90	10,80	5,20	-	-	-	-
50.3	10,70	4,80	10,60	4,80	10,10	4,65	11,00	4,90	10,60	4,90	10,20	4,70
10.3	10,30	5,20	10,60	5,20	10,40	5,10	10,90	5,10	11,00	4,90	10,40	4,90
50.4	10,30	5,25	10,75	5,25	10,50	4,85	10,40	5,10	-	-	-	-
10.4	10,30	5,10	10,25	5,10	10,10	4,80	10,00	4,90	-	-	-	-

Os valores encontrados nas aberturas realizadas para a simulação estão descritos na tabela 4.6

A soldagem destas aberturas foi executada pelo processo de TIG, com a Fonte para soldagem Miller TIG Maxstar 350, obedecendo a uma sequência específica para todos os cordões sempre finalizando a soldagem nas aberturas do centro do corpo de prova fundido. (Figuras 4.6 e 4.8)

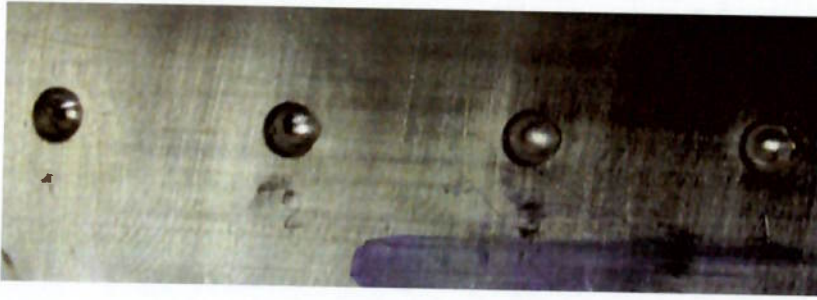


Figura 4.6 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 4 aberturas

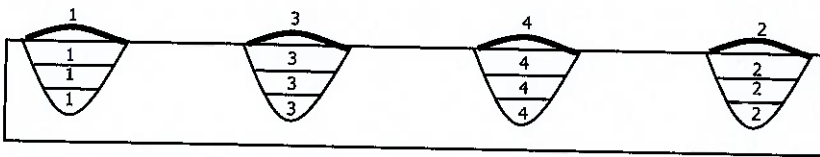


Figura 4.7 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 4 aberturas

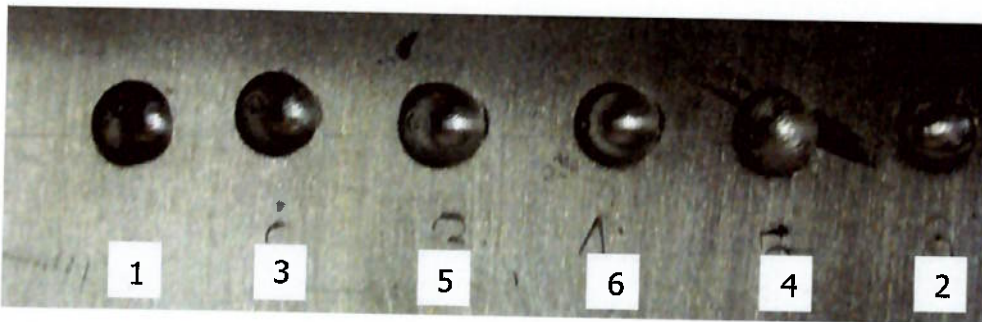


Figura 4.8 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 6 aberturas

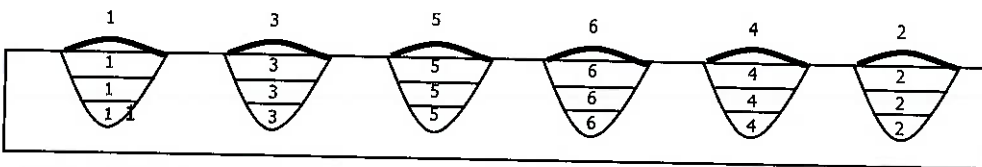


Figura 4.9 Sequência de Soldagem no corpo de prova com 6 aberturas

Em cada abertura foram realizados três cordões finalizando com o passe de revenimento obedecendo a mesma sequência para cada passe (figuras 4.7 e 4.9),

sendo que para cada passe eram respeitados os limites de pré-aquecimento e interpasse, conforme demonstrados nas tabelas as seguir:

4.1.2.1. CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 10 mm

6 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.7 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,8	12,2	12	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	85	93	95	90

Abertura 2

Tabela 4.8 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12	11,8	12,3	11,9
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	85	90	92	95

Abertura 3

Tabela 4.9 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	11,9	12,2	12,3
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	90	95	98	98

Abertura 4

Tabela 4.10 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	11,8	12	11,7
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	90	100	110	100

Abertura 5

Tabela 4.11 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,7	11,9	12,3	12,3
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	90	95	92	95

Abertura 6

Tabela 4.12 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,3	12	11,6	12,6
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	85	90	88	90

4.1.2.2. CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 30 mm

4 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.13 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,8	12,7	11,7	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	80	130	103	90

Abertura 2

Tabela 4.14 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	12,3	12,2	12,1
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	85	125	110	100

Abertura 3

Tabela 4.15 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,3	11,9	11,6	11,8
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	125	110	110	105

Abertura 4

Tabela 4.16 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	11,8	12,5	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	80	82	90	90

4.1.2.3. CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 10 mm

6 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.17 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12	12,2	12,8	12,2
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	178	180	215	205

Abertura 2

Tabela 4.18 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,5	12,8	12,6	12,5
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	155	180	210	190

Abertura 3

Tabela 4.19 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	12,2	12,2	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	160	180	220	195

Abertura 4

Tabela 4.20 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,8	12,3	12,4	12,2
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	175	160	180	195

Abertura 5

Tabela 4.21 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passes Beneficiamento
Passes	12	12,5	12,5	12,2
Tensão	160	160	160	160
Corrente	190	200	220	200

Abertura 6

Tabela 4.22 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passes	12	12	13	12,6
Tensão	160	160	160	160
Corrente	160	210	170	180

4.1.2.4. CORPO DE PROVA COM 10 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 30 mm

4 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.23 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passes	12	12,1	12	12,3
Tensão	160	160	160	160
Corrente	150	151	170	175

Abertura 2

Tabela 4.24 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passe	12,4	13	13,4	13
Tensão	160	160	160	160
Corrente	154	163	170	175

Abertura 3

Tabela 4.25 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passe	11,8	13,6	13,5	13
Tensão	160	160	160	160
Corrente	156	190	195	190

Abertura 4

Tabela 4.26 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passe	11,2	12,7	13	12,8
Tensão	160	160	160	160
Corrente	152	165	175	180

4.1.2.5. CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 10 mm

6 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.27 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	12	11	11,8	11
Tensão	160	160	160	160
Corrente	81,6	90	105	100

Abertura 2

Tabela 4.28 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	11,2	11,6	12	12
Tensão	160	160	160	160
Corrente	92	105	115	110

Abertura 3

Tabela 4.29 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	11	11,7	12	12
Tensão	160	160	160	160
Corrente	105	115	120	110

Abertura 4

Tabela 4.30 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	11,4	11,6	12,2	12
Tensão	160	160	160	160
Corrente	91	115	110	110

Abertura 5

Tabela 4.31 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	11,4	11,3	12,2	12,1
Tensão	160	160	160	160
Corrente	90	110	120	110

Abertura 6

Tabela 4.32 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	12,7	12,3	12	12,3
Tensão	160	160	160	160
Corrente	85	82	85	90

4.1.2.6. CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 30 mm

4 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.33 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passo	11	11,7	12,1	11,8
Tensão	160	160	160	160
Corrente	84	100	95	90

Abertura 2

Tabela 4.34 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passes	11,2	12,8	12,3	11,9
Tensão	160	160	160	160
Pré-aquecimento	80	85	85	90

Abertura 3

Tabela 4.35 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passes	11,5	12,2	12,7	12,5
Tensão	160	160	160	160
Pré-aquecimento	82	102	103	95

Abertura 4

Tabela 4.36 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Revenimento
Passes	11,2	11	12,5	12,4
Tensão	160	160	160	160
Pré-aquecimento	81	82	80	85

4.1.2.7. CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 10 mm.

6 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.37 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,2	12	12	12,6
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	186	210	205	190

Abertura 2

Tabela 4.38 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,8	11,4	13,1	12,8
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	195	205	200	190

Abertura 3

Tabela 4.39 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12	12,7	12,5	11,8
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	210	205	210	200

Abertura 4

Tabela 4.40 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	11,8	12,5	12,8	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	195	190	190	200

Abertura 5

Tabela 4.41 Parâmetros de soldagem para abertura 5 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,4	12,3	12,4	12,2
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	178	189	180	185

Abertura 6

Tabela 4.42 Parâmetros de soldagem para abertura 6 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,5	12,6	12,2	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	170	186	163	180

4.1.2.8. CORPO DE PROVA COM 50 MM DE ESPESSURA

Espaçamento entre as aberturas 30 mm

4 aberturas diâmetro de 10 mm e profundidade de 5mm

Abertura 1

Tabela 4.43 Parâmetros de soldagem para abertura 1 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12,5	12,2	12,8	12,5
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	180	190	200	200

Abertura 2

Tabela 4.44 Parâmetros de soldagem para abertura 2 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passe Beneficiamento
Passe				
Tensão	12	12	12,9	12
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	172	210	190	200

Abertura 3

Tabela 4.45 Parâmetros de soldagem para abertura 3 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passes Beneficiamento
Passes				
Tensão	11,5	12,5	12	12,2
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	200	200	200	190

Abertura 4

Tabela 4.46 Parâmetros de soldagem para abertura 4 do corpo de prova

Parâmetros observados	Registros obtidos			
	1°	2°	3°	Passes Beneficiamento
Passes				
Tensão	12,5	11,5	12,8	12,6
Corrente	160	160	160	160
Pré-aquecimento	180	190	195	190

Os corpos de prova resfriaram-se ao ar livre até a temperatura ambiente (Figuras 4.8 e 4.9)

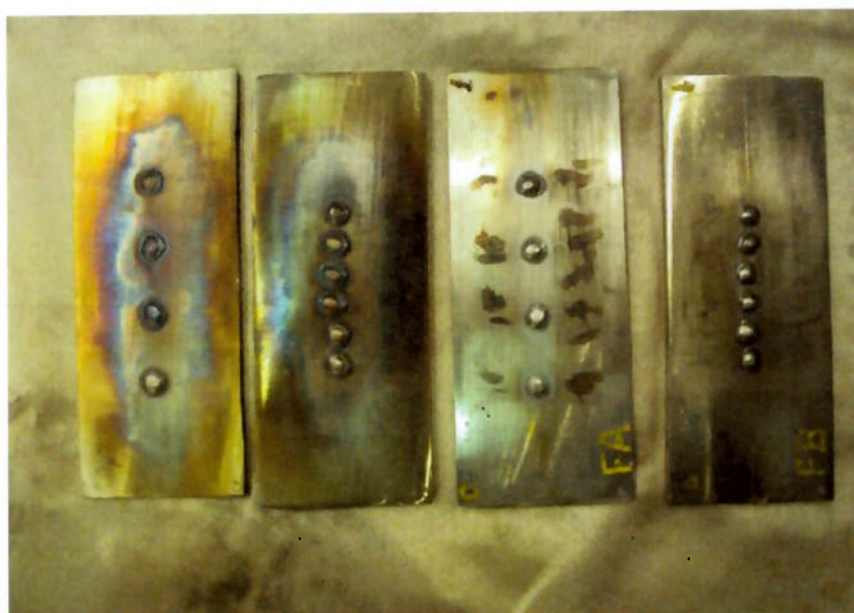


Figura 4.8 Corpo de Prova soldado espessura de 10 mm



Figura 4.9 Corpo de Prova soldado espessura de 50 mm

Logo apos o resfriamento, foi necessário a esmerilhagem para remover o passe de revenimento e dar acabamento na superfície dos corpos de prova (Figura 4.10).



Figura 4.10 Corpo de Prova com o passe de revenimento lixado

O Ensaio não destrutivo por Líquido Penetrante foi realizado em todos os corpos de provas não sendo encontrados defeitos (Figuras 4.11 e 4.12).



Figura 4.11 Corpo de Prova soldado com líquido penetrante

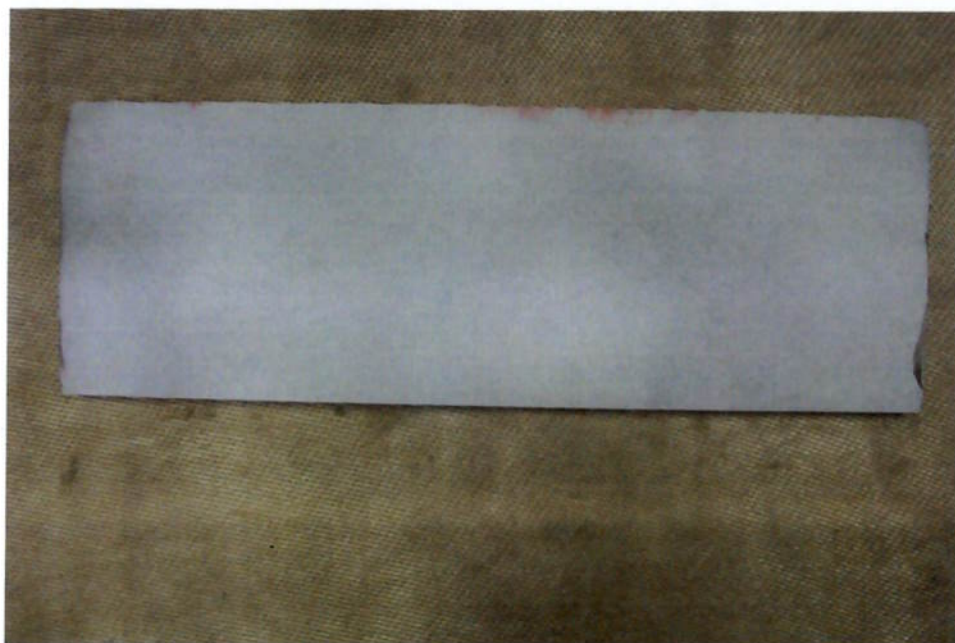


Figura 4.12 Corpo de Prova soldado com revelador, soldas sem defeitos

4.1.3. ENSAIO DE DUREZA

O método para a medição de dureza utilizado foi Vickers com carga de 10 kg conforme ASTM E92 (Figuras 4.13 e 4.14) [17]. Os corpos de prova foram previamente polidos e atacados com reagente Vilella, sendo utilizado para a análise micrográfica o microscópio Ótico Leitz aumento de 100x.



Figura 4.13 Durômetro AMSLER modelo DIA TESTOR 2RCS6 HV10

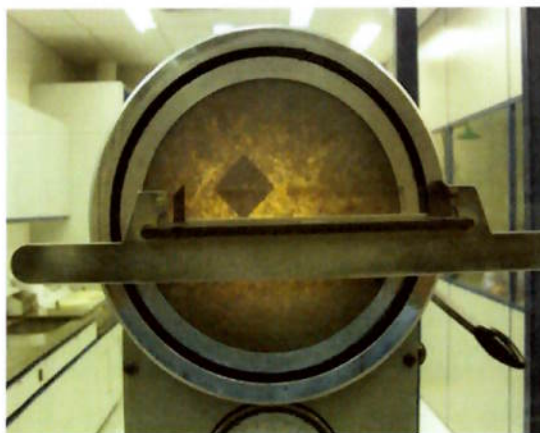


Figura 4.14 Medição de Dureza de Vickers com carga de 10 Kg e visualização com aumento de 140X

As medições foram realizadas considerando o ponto de referência a Zona de Ligação, ou seja, o ponto "0" estava a 1,5 mm da zona de ligação em direção a solda (Figura 4.15).

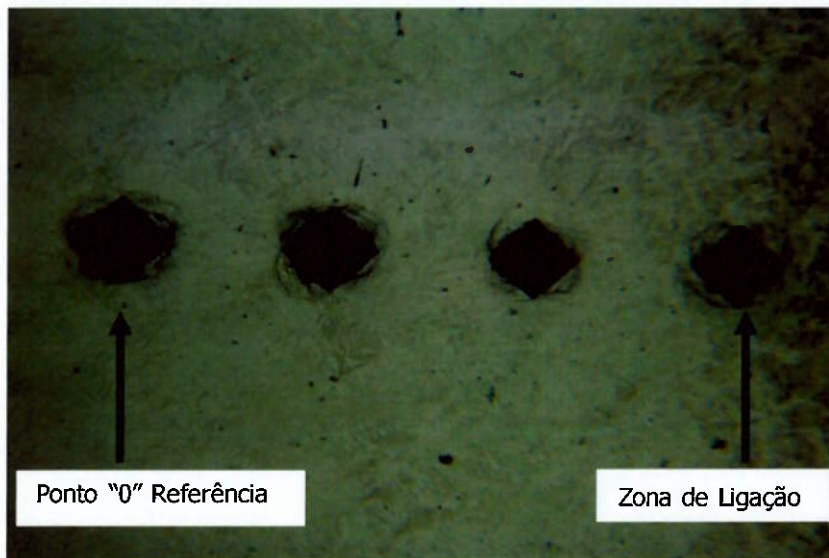


Figura 4.15 Sentido da medição de dureza

Em todas as aberturas soldadas foram realizadas medições de dureza em pontos aleatórios na superfície da solda. As medições de dureza foram realizadas na superfície da solda, a escolha por realizar a medição na superfície e não na solda em corte foi com intuito de obter resultados mais próximos aos das medições realizadas em reparos reais (Figura 4.16). A fim de realizar um comparativo detalhado na solda, metal base e ZAC, quantidade maiores de pontos foram medidos na 1ª e 3ª abertura de todos os corpos de prova, sendo estas medições realizadas a cada 0,5 mm, tanto na direção vertical (perpendicular as aberturas) quanto na horizontal (mesmo sentido das aberturas). (Figura 4.17)

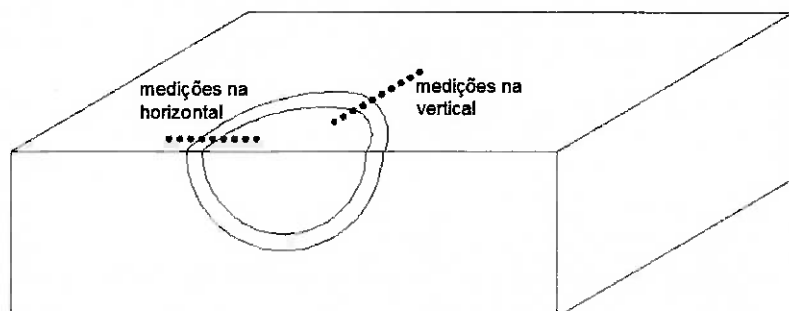


Figura 4.16 Orientação de medição na superfície do corpo de prova

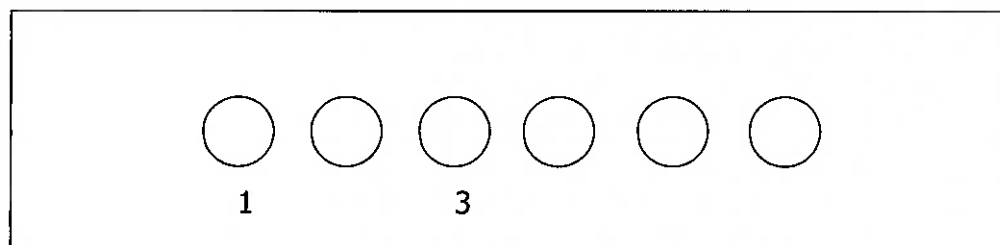


Figura 4.17 Indicação das aberturas medidas

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Neste capítulo serão mostrados e comparados os dados colhidos do registro do ensaio de dureza, analisando a extensão e o valor máximo de dureza da ZAC, resultado de ensaio metalográfico e análise química. Os valores de dureza relacionados como especificação nas tabelas a seguir, no caso do metal base é baseado na norma ASTM A 743M e em relação à ZAC o valor refere-se uma especificação interna da empresa VOITH HYDRO, sendo que estas especificações são baseadas em valores de dureza Brinell e foram convertidos com referência na norma ASTM E 140 conversão para aços não austeníticos para Vickers. [18]

5.1. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.1 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	322	330	383	366	383	366	351	292	281	-	-	-

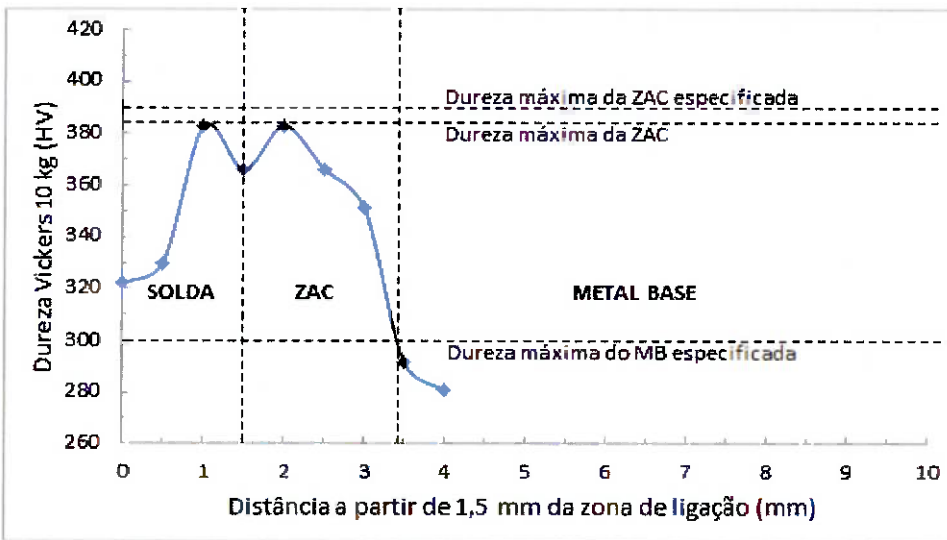


Figura 5.1 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.2 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova - horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

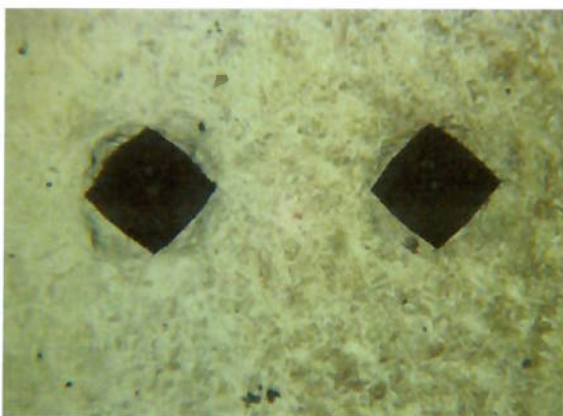


Figura 5.3 Micrografia do corpo de prova - solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

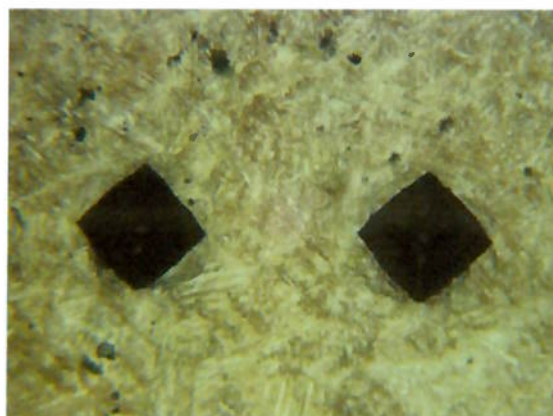


Figura 5.2 Micrografia do corpo de prova - ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.2. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.3 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	309	336	336	360	376	383	351	281	274	-	-	-

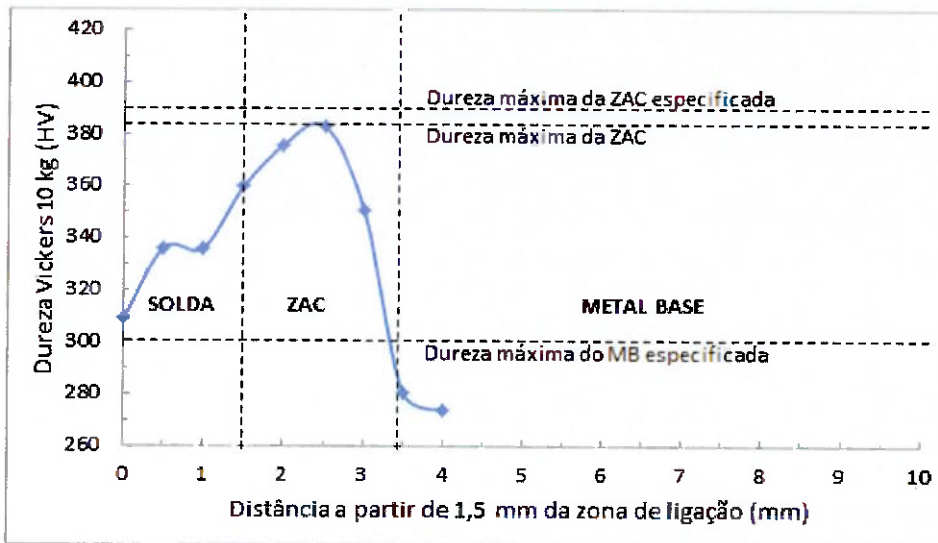


Figura 5.4 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.4 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

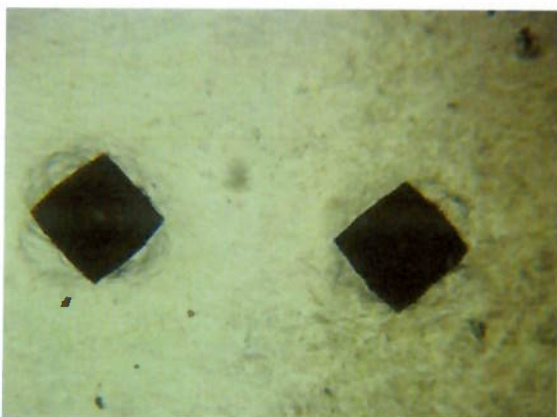


Figura 5.5 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.6 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.3. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.5 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	317	336	360	366	394	394	360	314	309	-	-	-

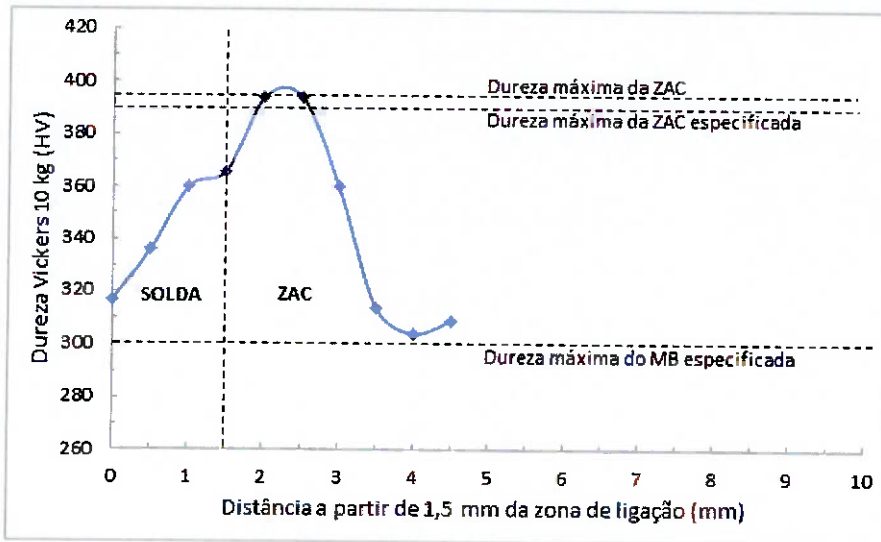


Figura 5.7 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.6 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	NA

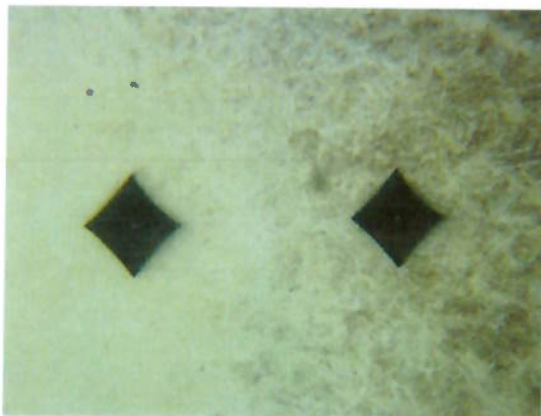


Figura 5.9 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.8 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.4. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.7 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	345	317	360	373	383	401	394	383	317	285	281	-

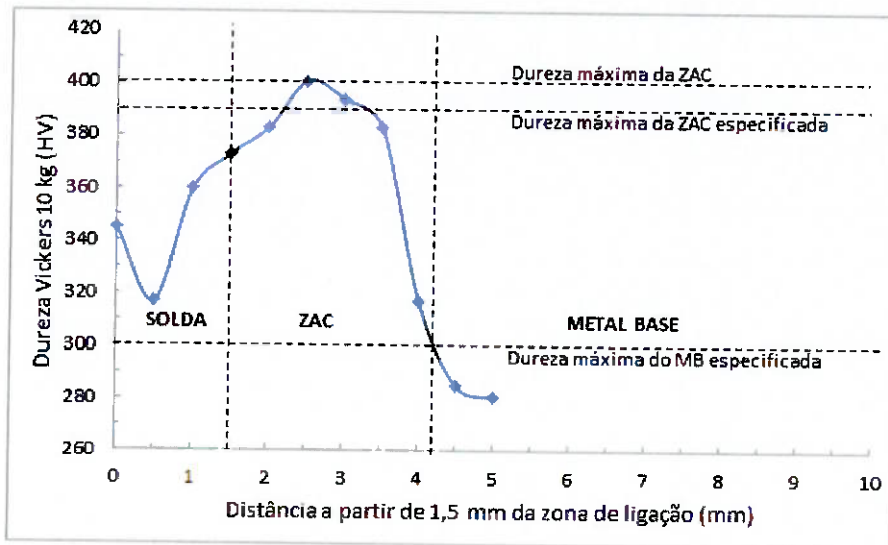


Figura 5.10 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.8 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

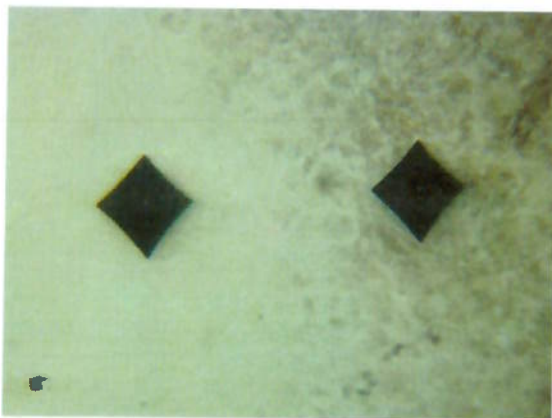


Figura 5.12 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.11 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.5. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.9 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	360	348	366	383	376	383	376	322	281	274	-	-

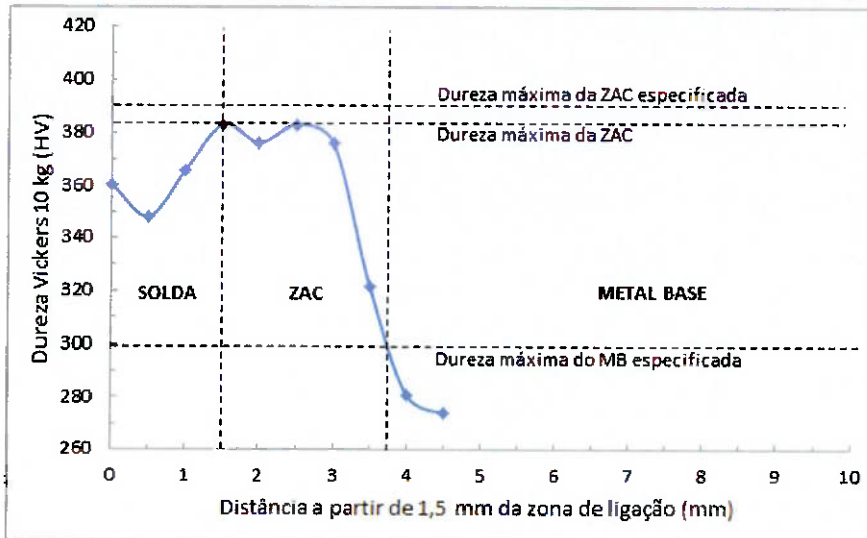


Figura 5.13 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.10 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	2,0 mm



Figura 5.14 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

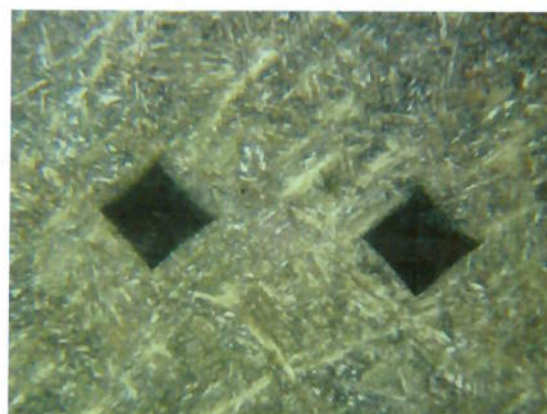


Figura 5.15 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.6. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.11 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical - 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	345	345	351	366	390	390	383	366	351	274	274	-

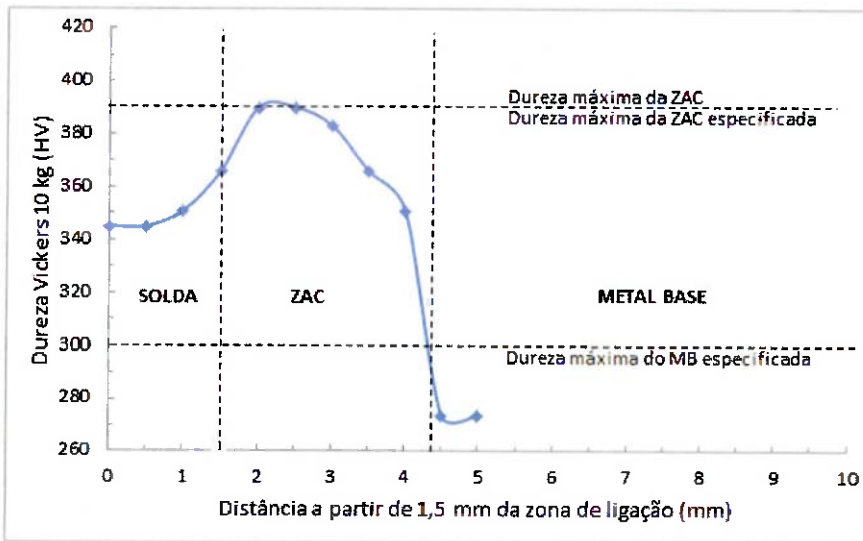


Figura 5.16 Medição realizada no sentido vertical - 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.12 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	0
Comprimento ZAC	2,5 mm

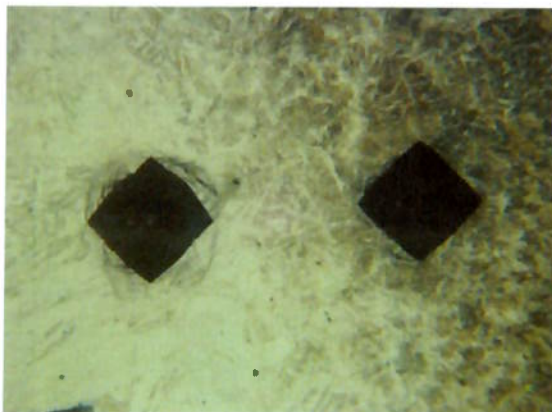


Figura 5.18 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

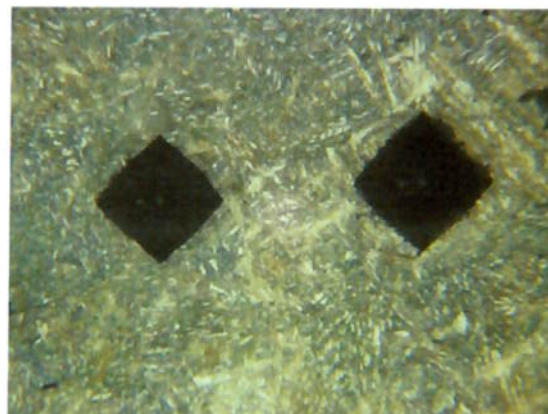


Figura 5.17 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.7. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.13 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	330	330	366	394	394	376	345	274	274	-	-	-

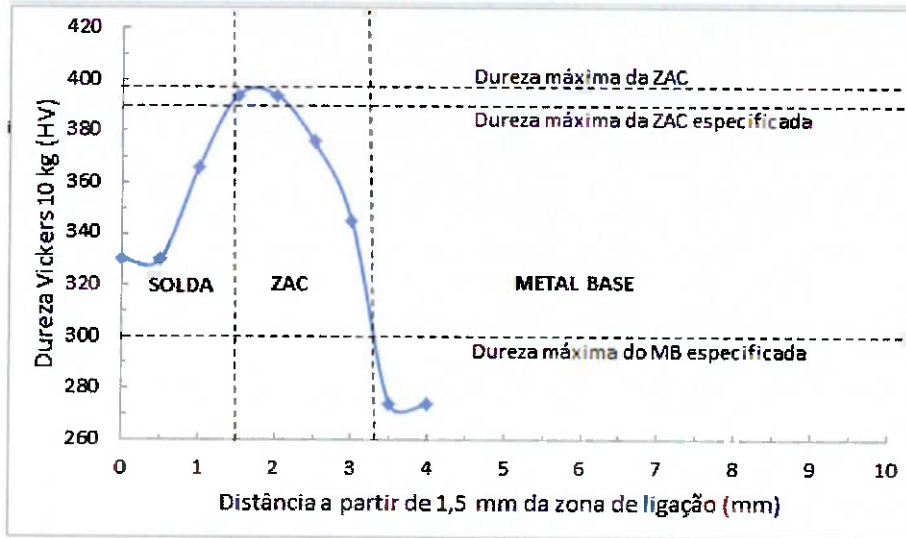


Figura 5.19 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.14 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

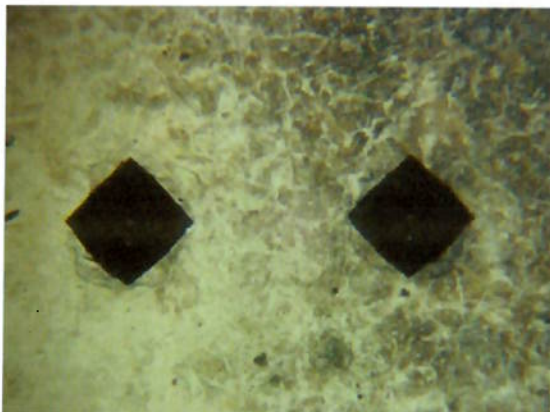


Figura 5.20 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

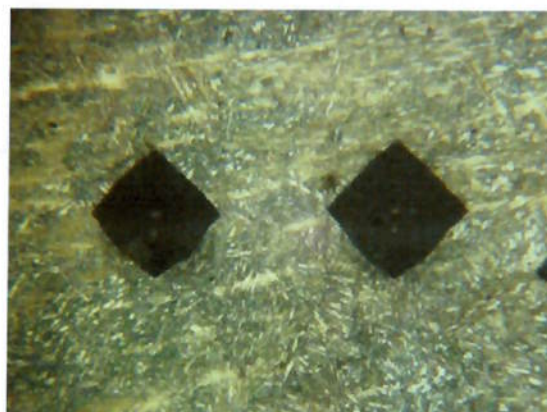


Figura 5.21 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.8. Fundido com 10 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.15 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	322	351	366	394	394	376	366	330	281	264	-	-

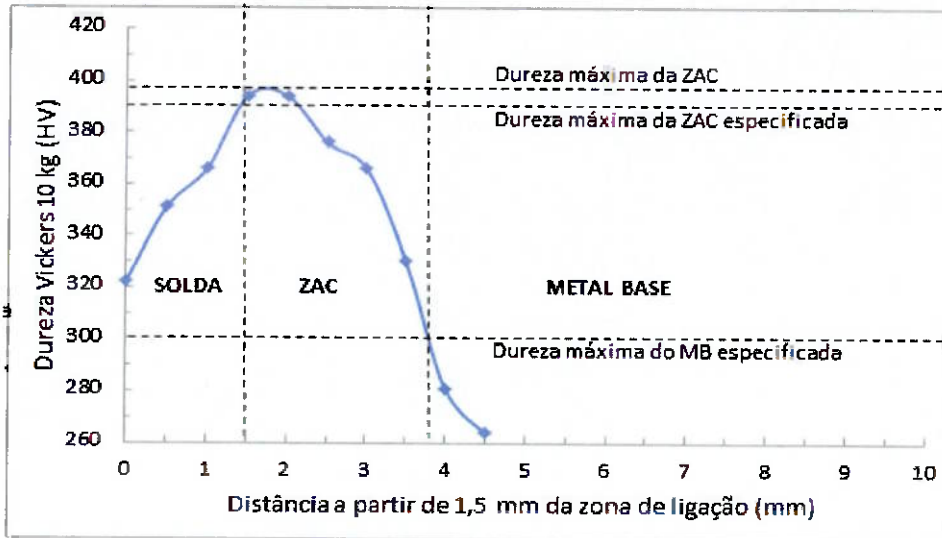


Figura 5.22 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.16 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	2,0 mm

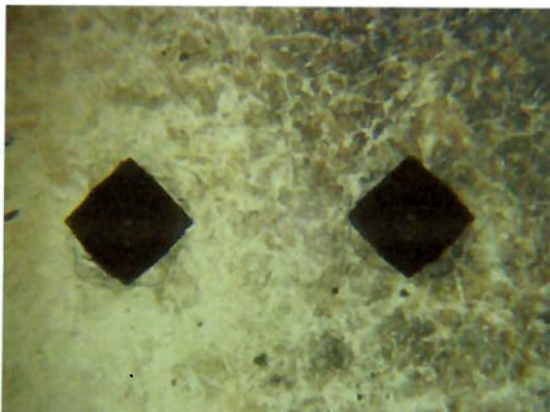


Figura 5.23 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

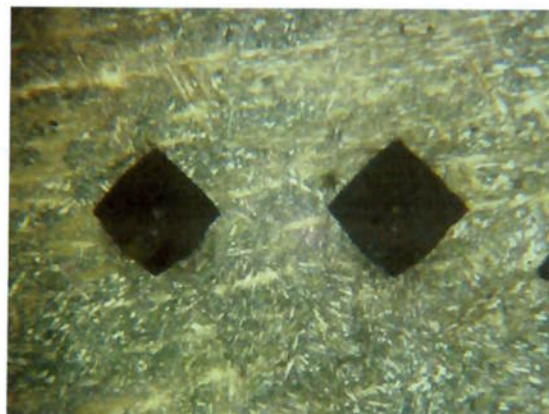


Figura 5.24 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.9. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.17 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	366	366	383	394	383	383	376	360	336	336	336	336

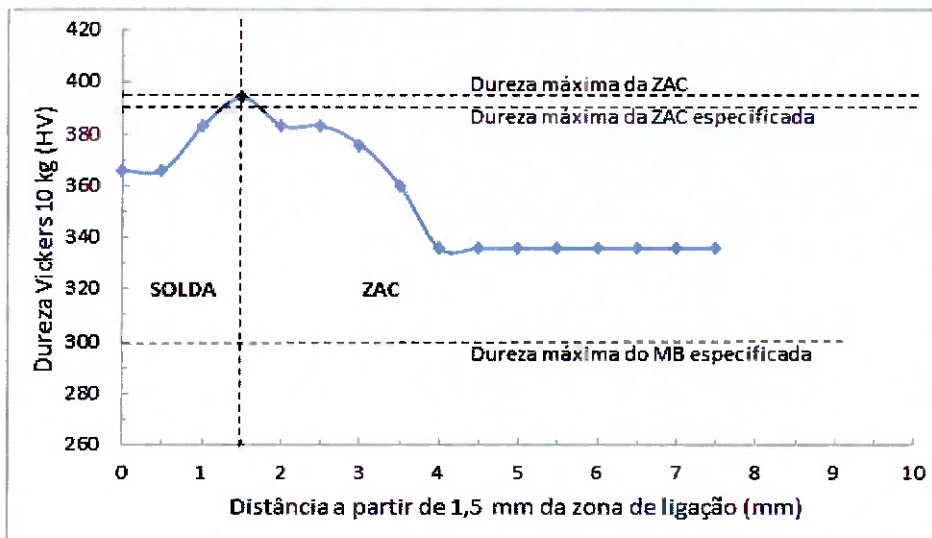


Figura 5.25 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.18 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	NA

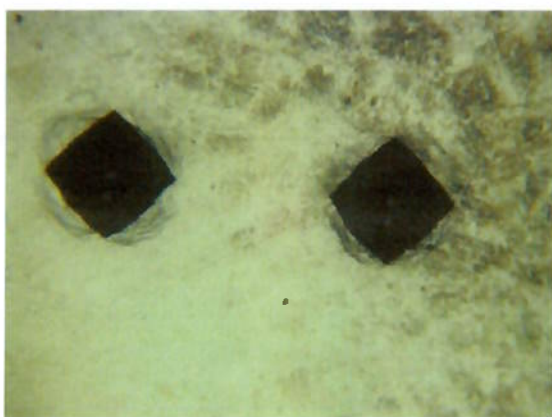


Figura 5.27 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

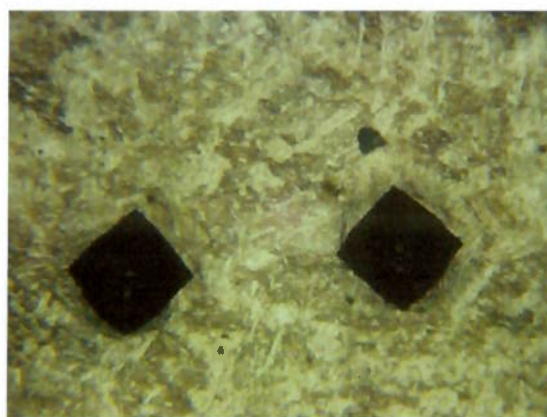


Figura 5.26 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.10. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.19 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura														
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dureza Vickers	376	376	376	383	383	383	394	394	383	383	376	336	351	348

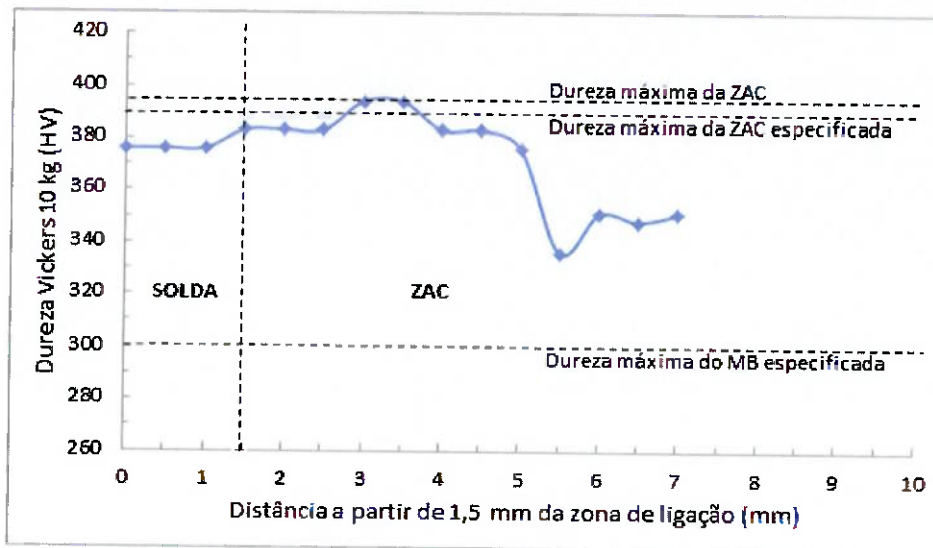


Figura 5.28 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.20 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	NA



Figura 5.30 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.29 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.11. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.21 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura													
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dureza Vickers	351	348	360	376	383	401	401	383	360	345	345	336	317

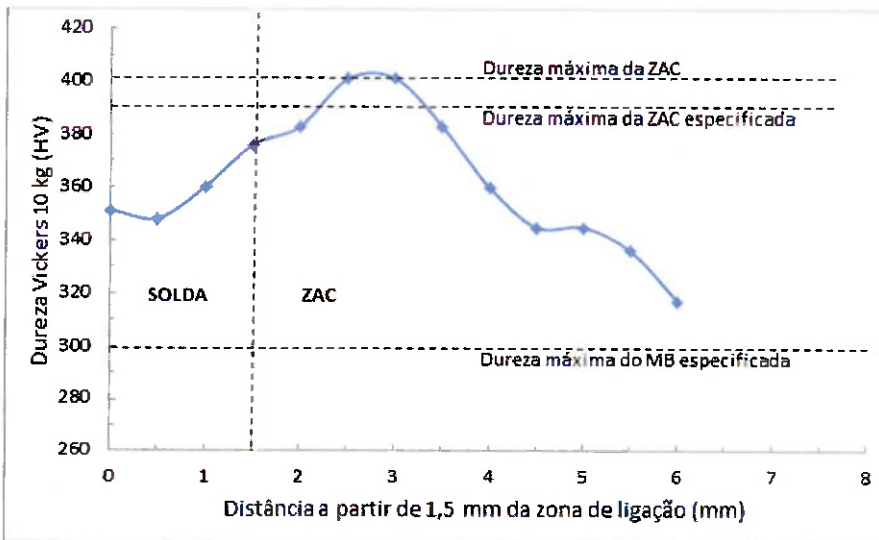


Figura 5.31 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.22 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	NA

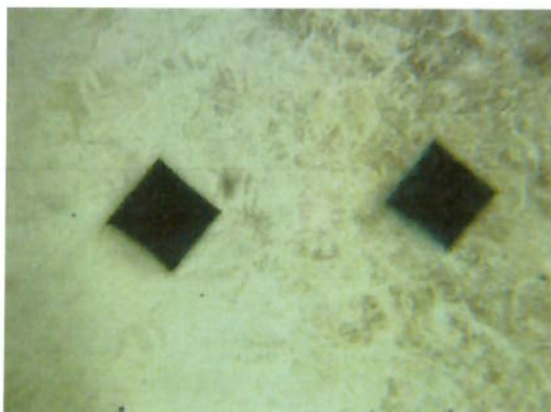


Figura 5.33 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

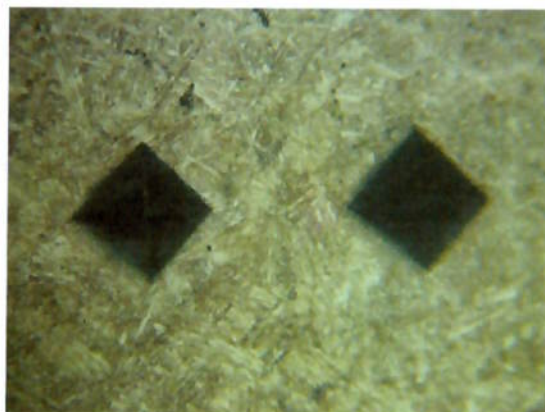


Figura 5.32 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.12. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.23 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura														
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dureza Vickers	351	376	376	376	401	383	383	383	351	330	336	336	351	332

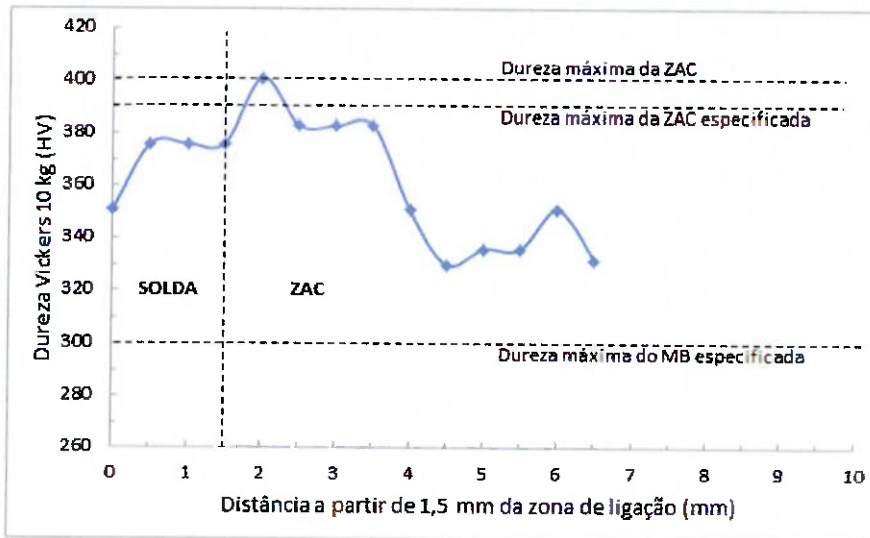


Figura 5.34 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.24 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	NA

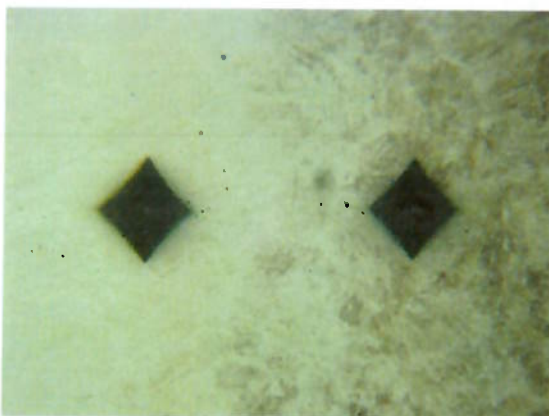


Figura 5.36 35 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

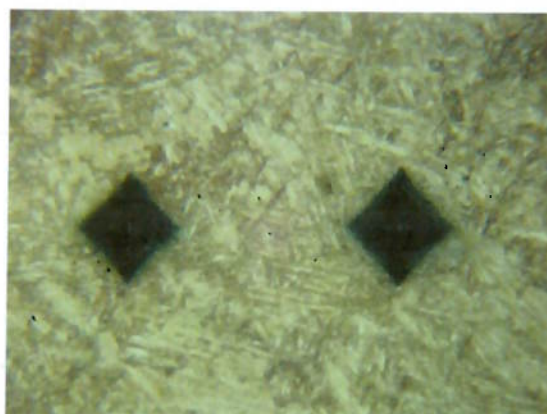


Figura 5.35 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.13. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.25 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal - 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	322	366	376	383	401	383	366	330	297	274	281

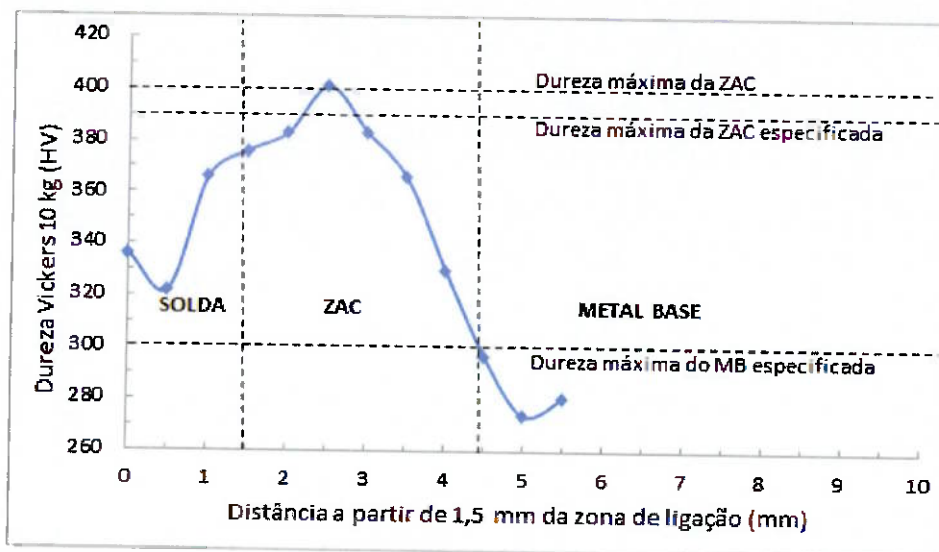


Figura 5.37 Medição realizada no sentido horizontal - 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.26 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

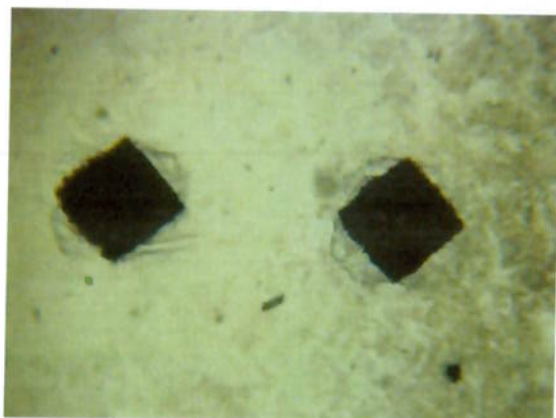


Figura 5.38 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

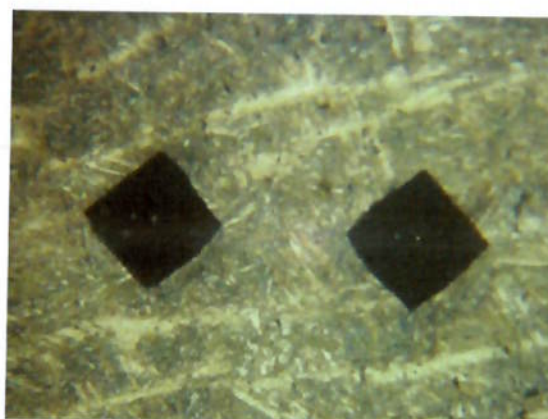


Figura 5.39 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.14. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.27 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura													
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dureza Vickers	366	373	373	383	394	401	394	383	366	336	309	292	285

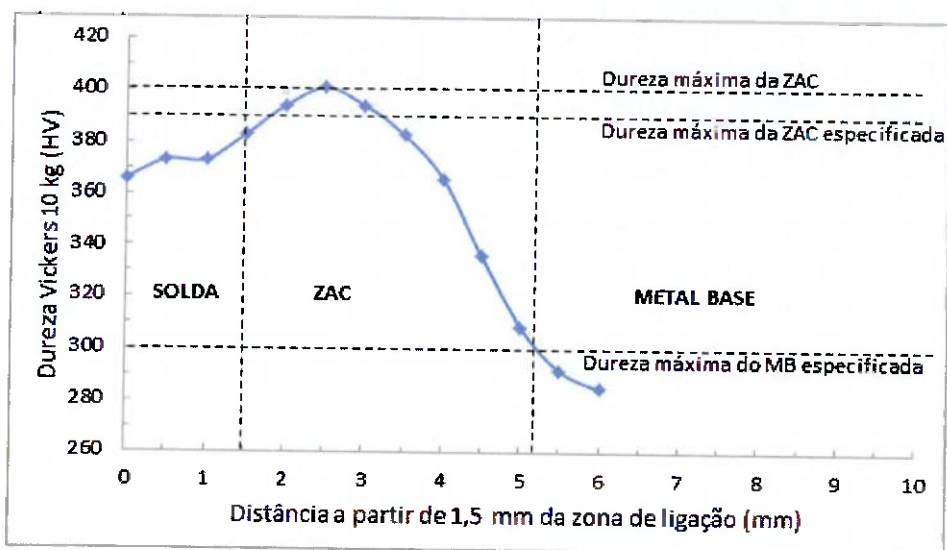


Figura 5.40 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.28 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	3,5 mm

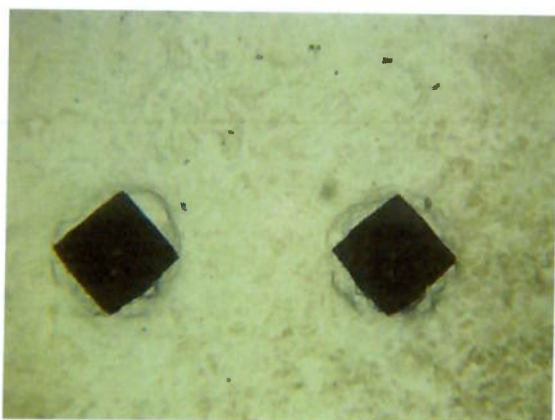


Figura 5.41 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

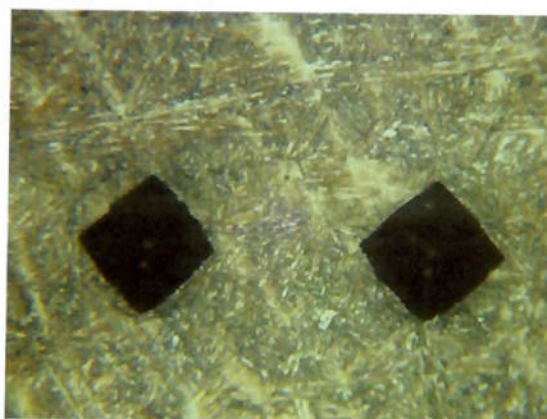


Figura 5.42 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.15. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.29 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura														
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dureza Vickers	360	351	383	394	401	394	376	360	345	336	336	336	322	330

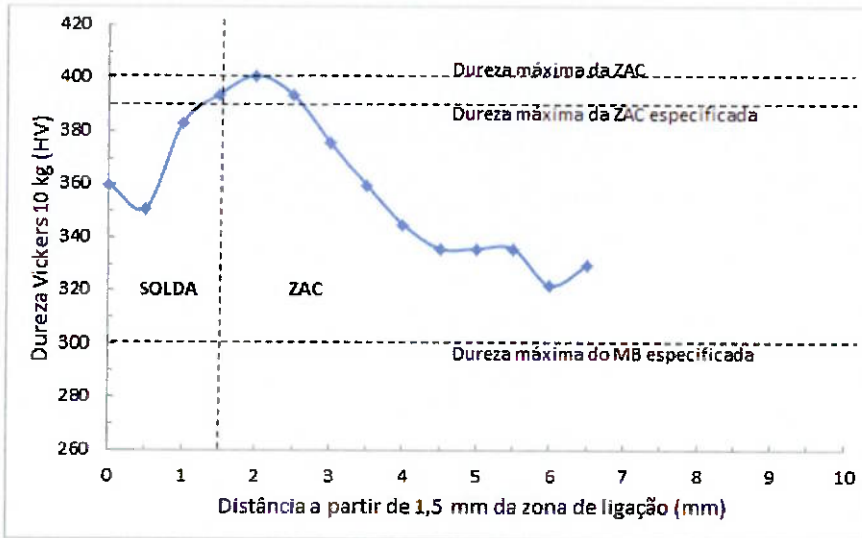


Figura 5.43 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.30 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	NA

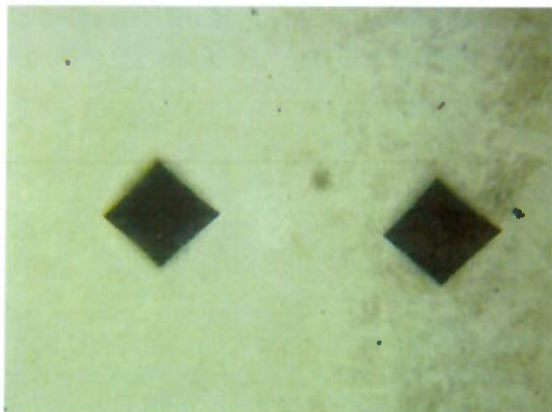


Figura 5.45 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

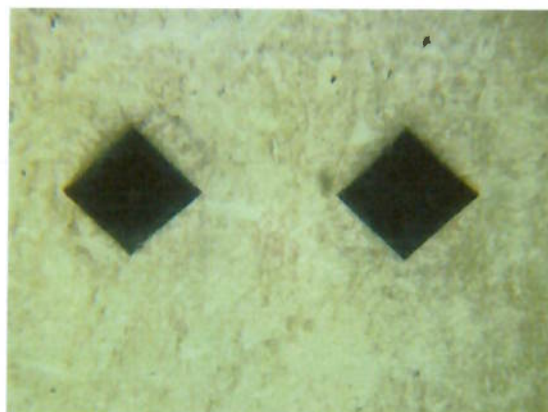


Figura 5.44 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.16. Fundido com 10 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.31 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura											
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dureza Vickers	351	376	376	401	401	383	351	330	304	292	292

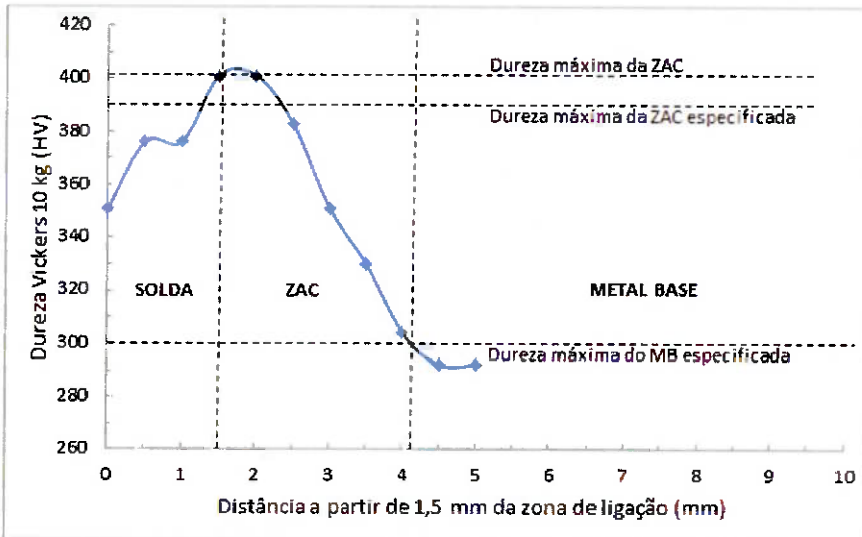


Figura 5.46 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.32 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

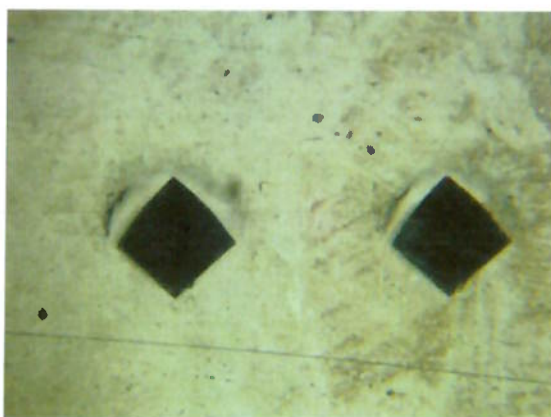


Figura 5.47 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.48 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.17. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.33 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	336	376	366	366	383	383	383	351	351	297	285

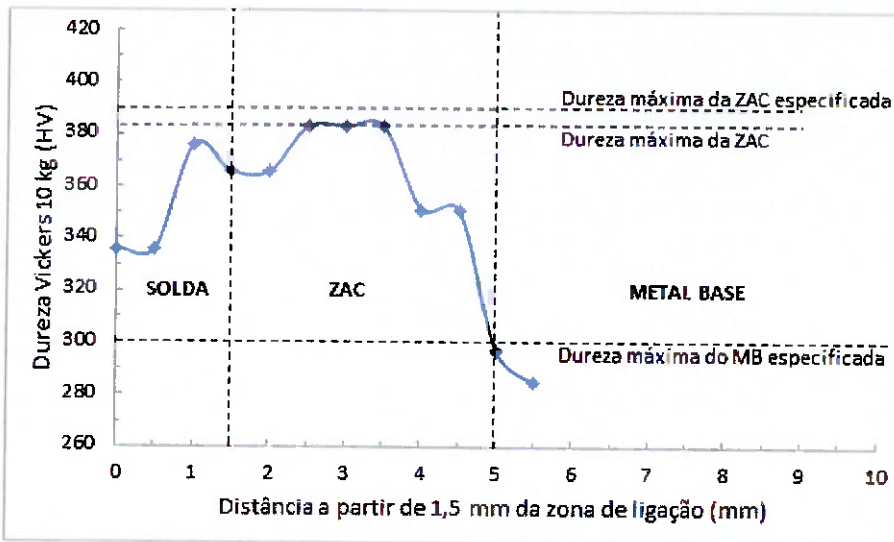


Figura 5.49 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.34 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	3,0 mm

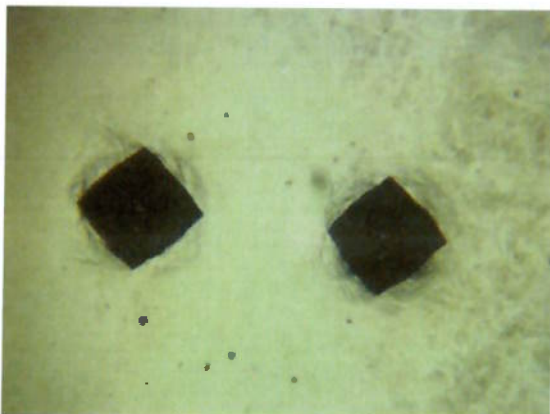


Figura 5.50 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

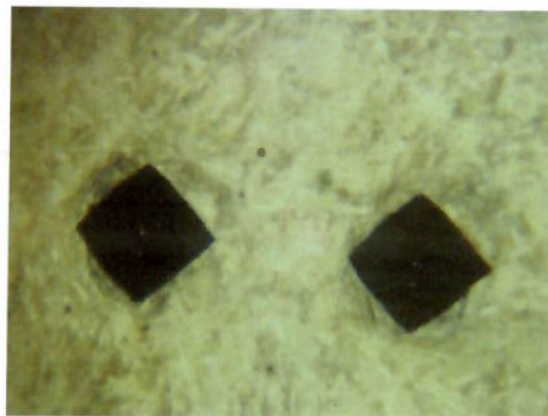


Figura 5.51 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.18. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.35 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	336	360	383	383	376	360	292	274	281	-	-

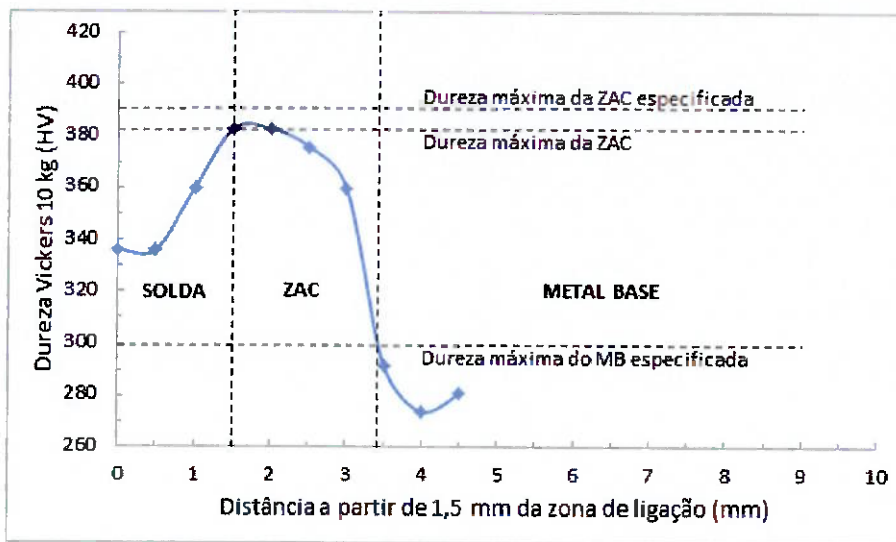


Figura 5.52 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.36 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

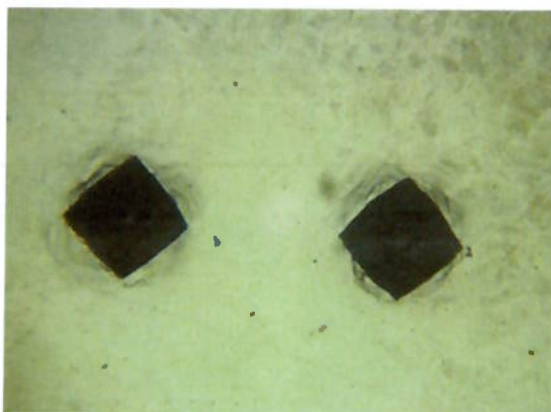


Figura 5.53 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

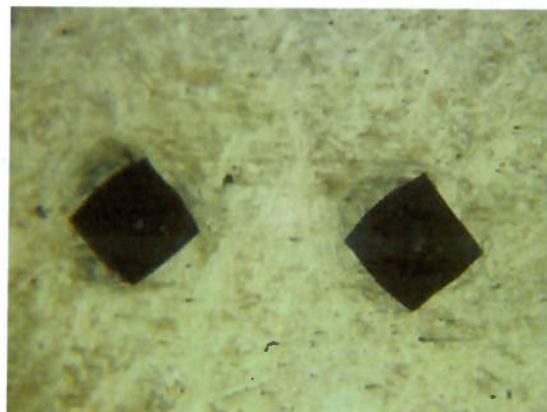


Figura 5.54 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.19. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.37 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	351	351	376	394	394	383	336	297	281	-	-	-

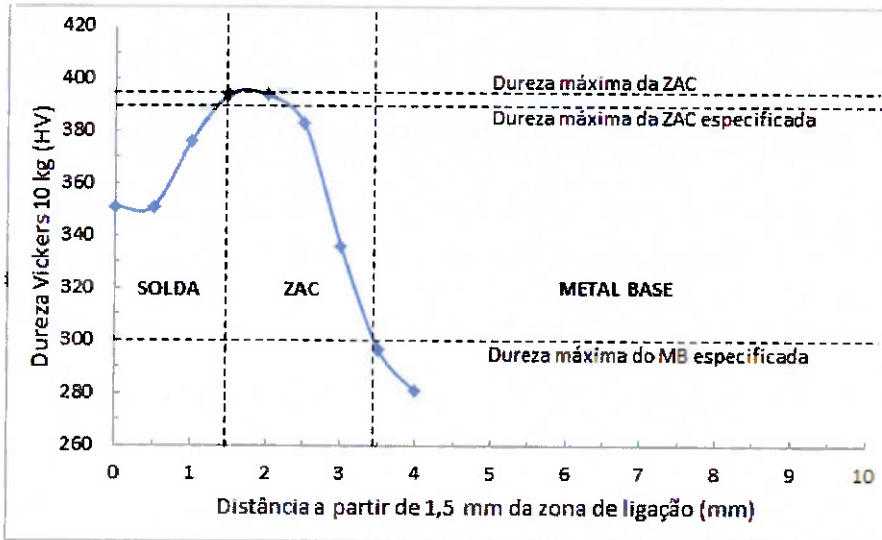


Figura 5.55 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.38 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

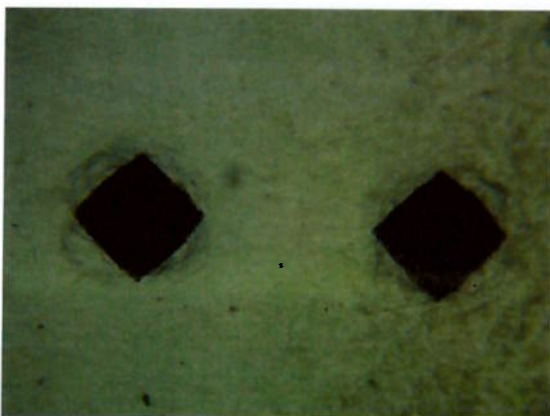


Figura 5.56 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

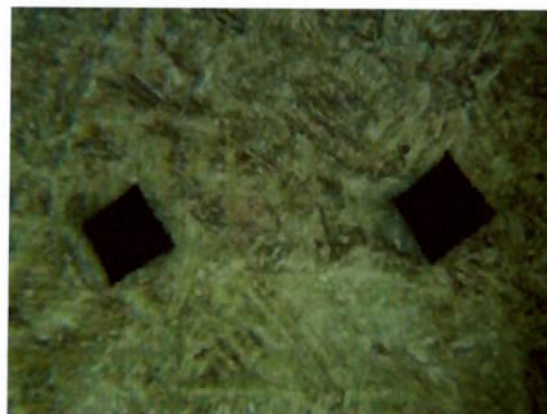


Figura 5.57 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.20. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.39 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	345	351	376	383	383	390	366	297	274	285	-	-

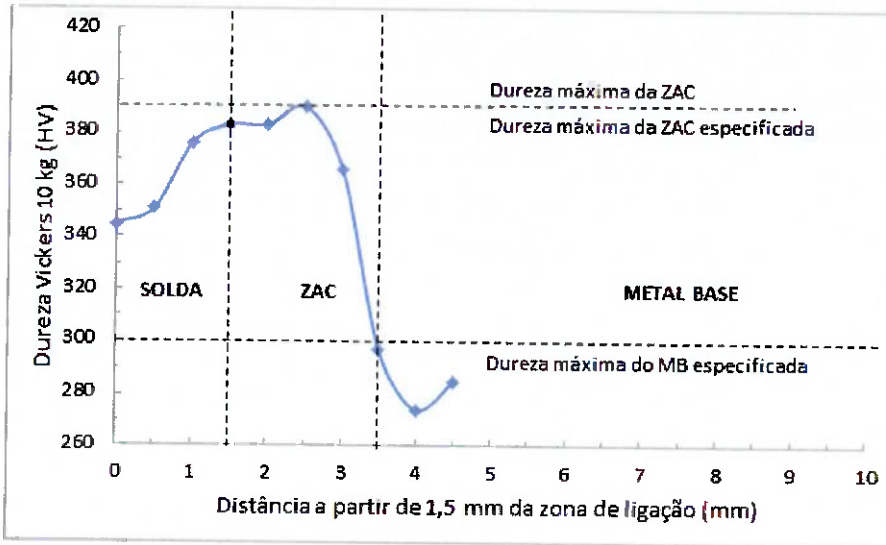


Figura 5.58 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.40 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	0
Comprimento ZAC	1,5 mm

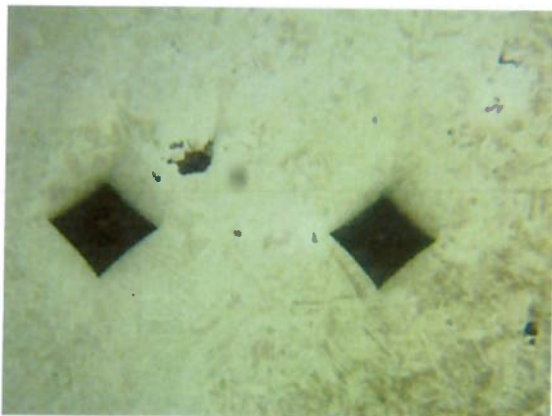


Figura 5.59 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

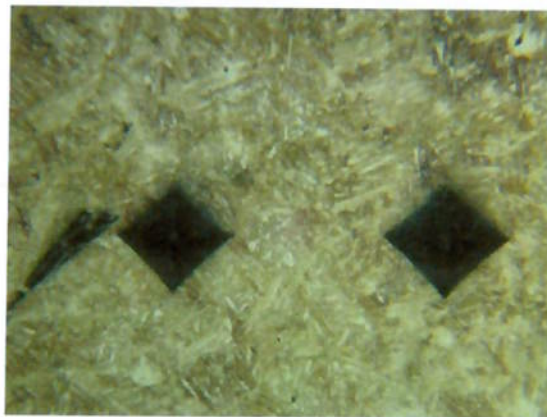


Figura 5.60 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.21. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.41 Medição realizada no sentido horizontal- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	366	345	366	390	383	360	317	285	274	-	-

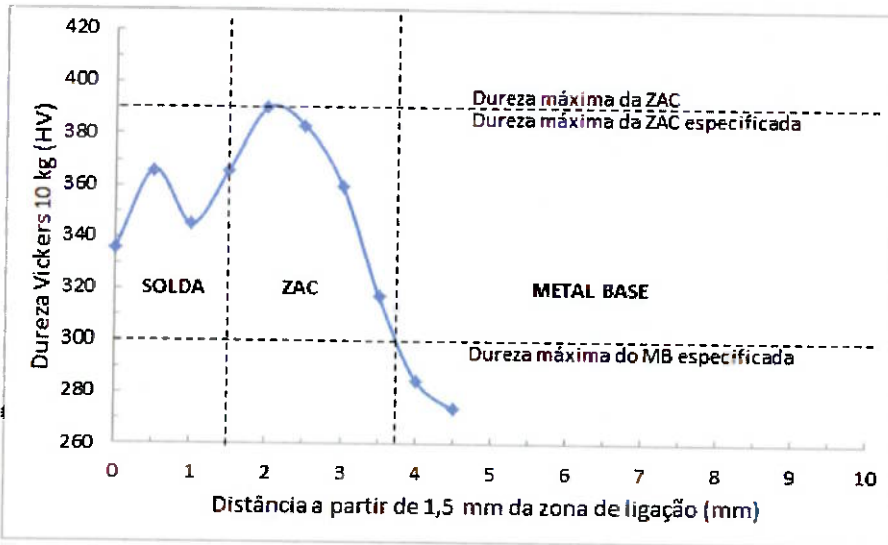


Figura 5.61 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.42 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	0
Comprimento ZAC	2,0 mm

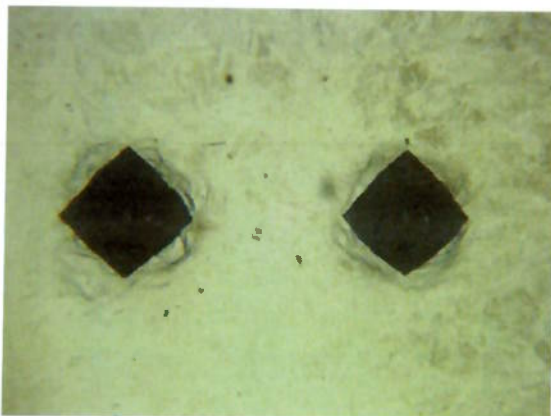


Figura 5.63 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.62 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.22. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.43 Medição realizada no sentido vertical- 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	330	366	383	383	383	363	322	272	274	-	-	-

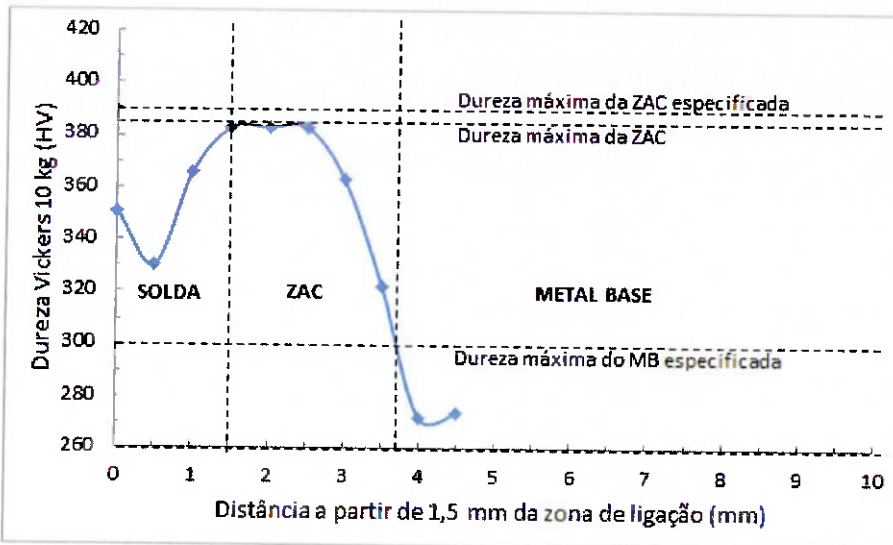


Figura 5.64 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.44 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	2,0 mm

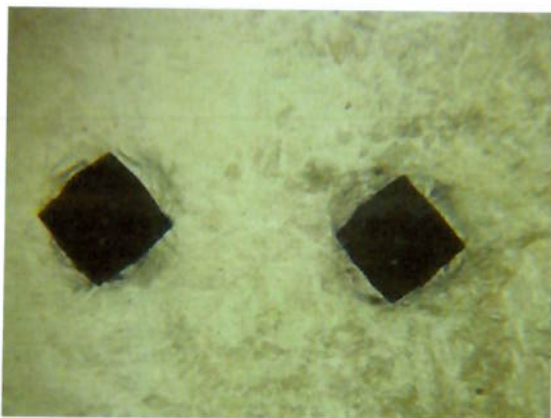


Figura 5.65 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

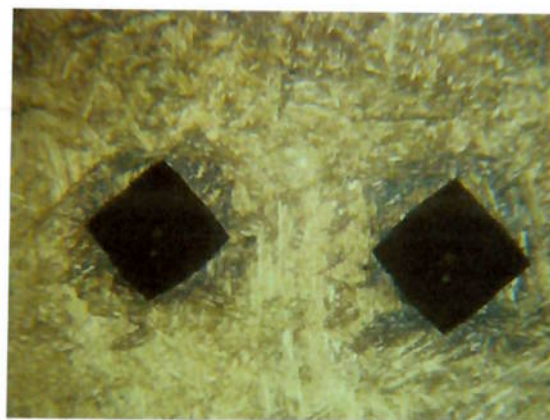


Figura 5.66 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.23. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.45 Medição realizada no sentido horizontal- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	345	336	383	401	394	366	366	274	274	-	-	-

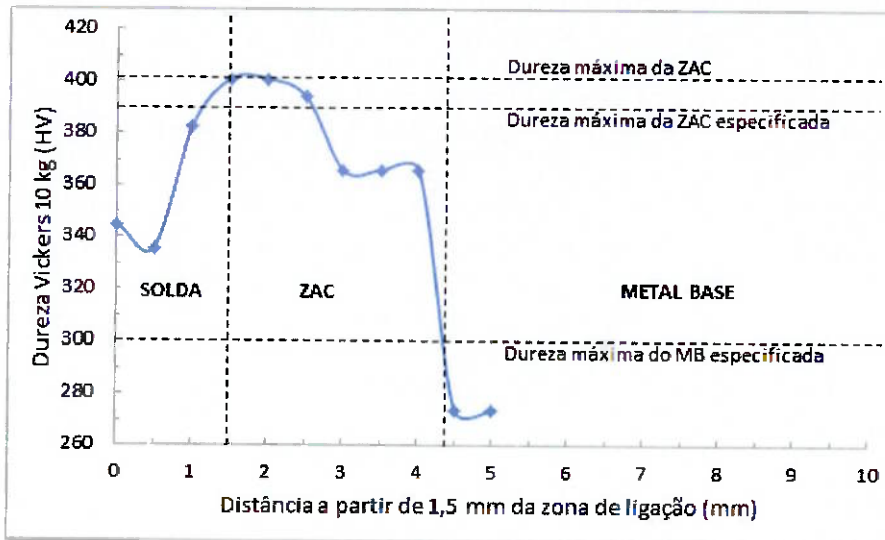


Figura 5.67 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.46 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

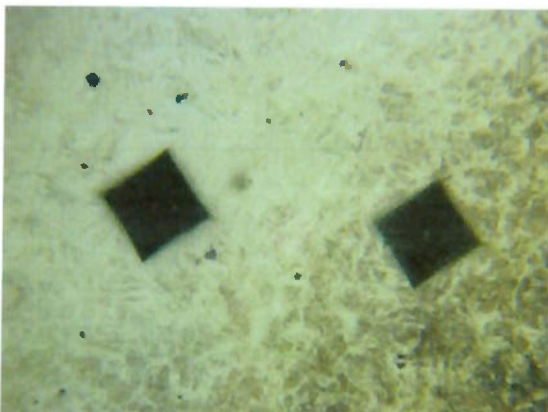


Figura 5.69 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

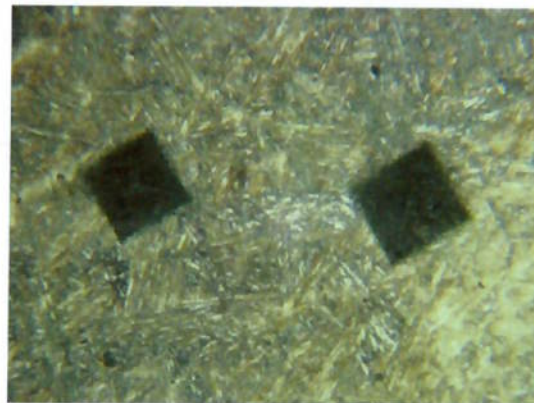


Figura 5.68 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.24. Fundido com 50 mm espessura / 80 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.47 Medição realizada no sentido vertical- 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical - 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	330	345	360	383	401	394	351	292	274	281	-	-

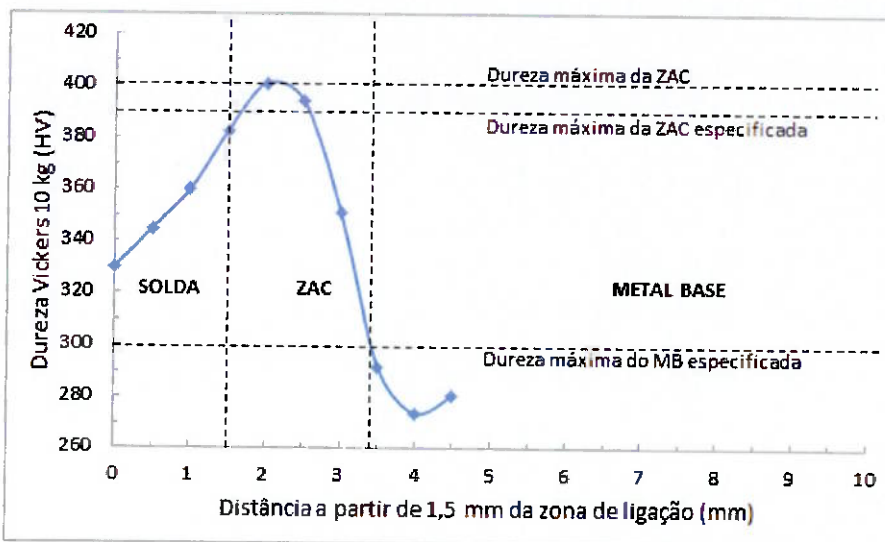


Figura 5.70 Medição realizada no sentido vertical - 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.48 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	11,0 HV
Comprimento ZAC	1,5 mm

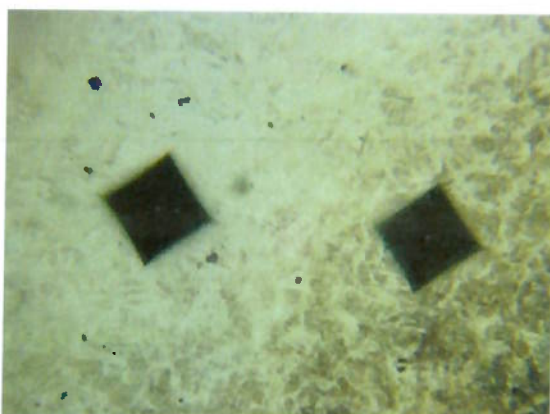


Figura 5.72 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.71 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.25. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.49 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura													
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dureza Vickers	345	366	376	394	394	394	394	366	366	330	292	274	270

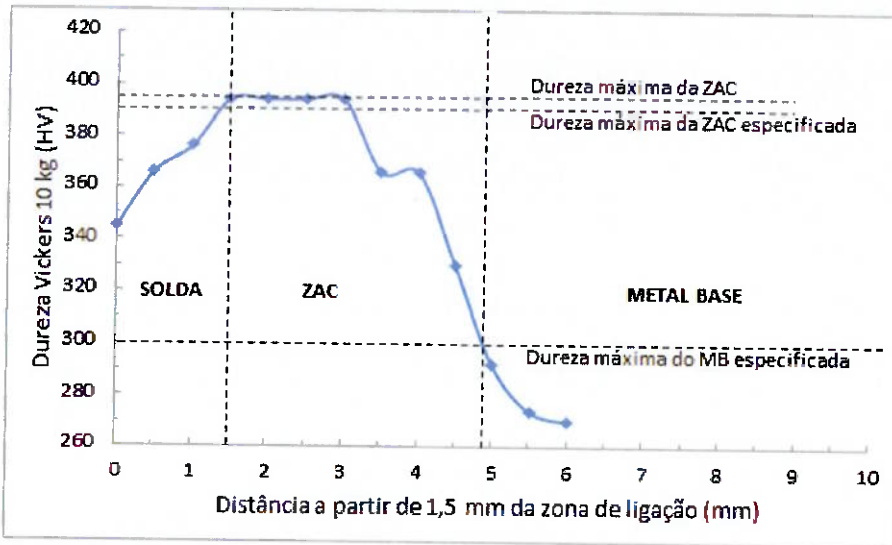


Figura 5.73 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.50 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	3,0 mm

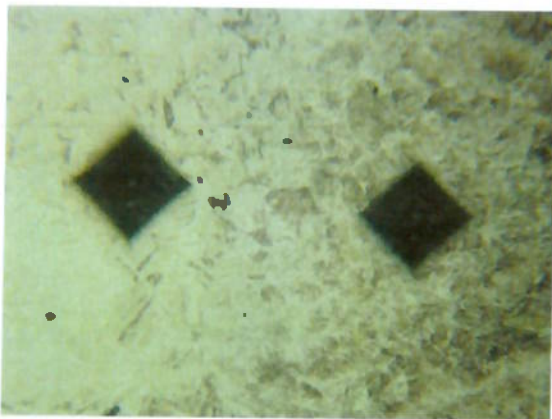


Figura 5.75 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

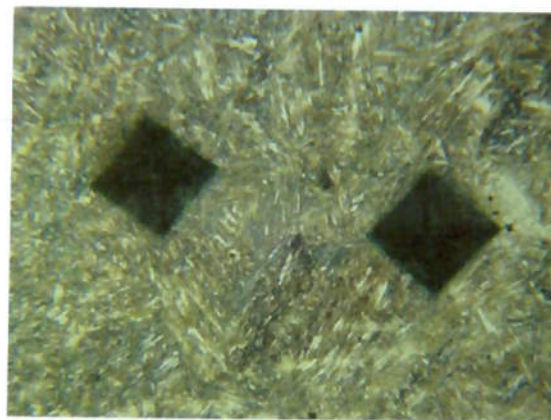


Figura 5.74 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.26. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.51 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	330	330	360	383	390	383	360	317	281	285	-	-

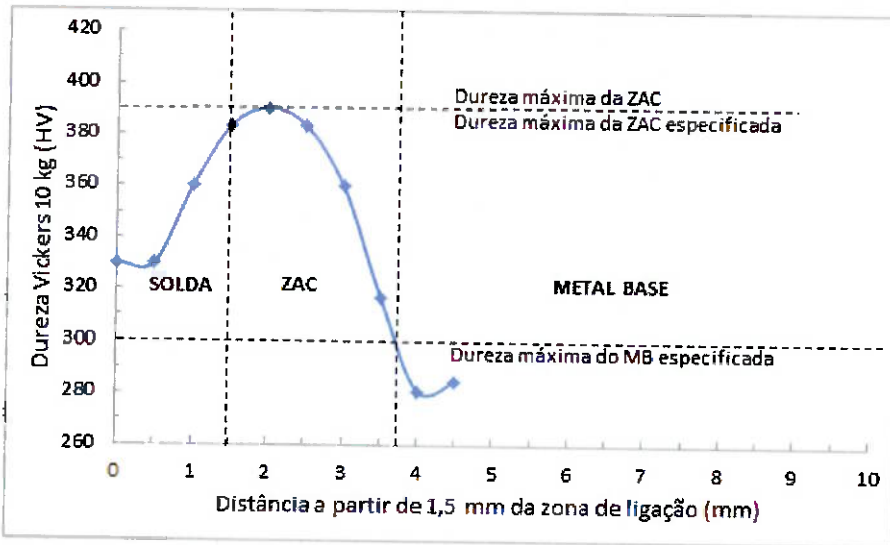


Figura 5.76 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.52 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	0
Comprimento ZAC	2,0 mm

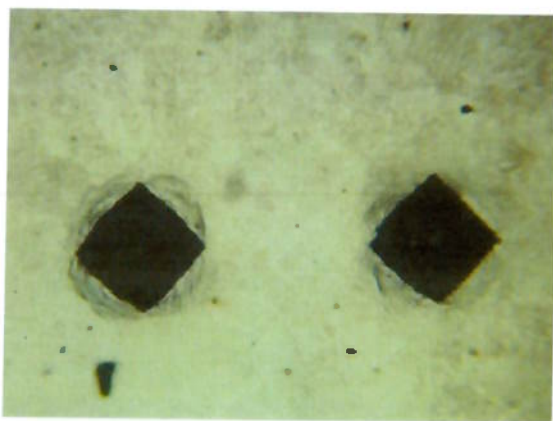


Figura 5.77 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

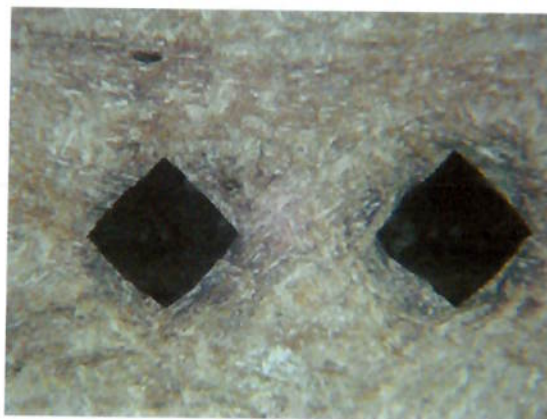


Figura 5.78 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.27. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.53 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	351	348	376	394	394	383	383	351	297	264	274	-

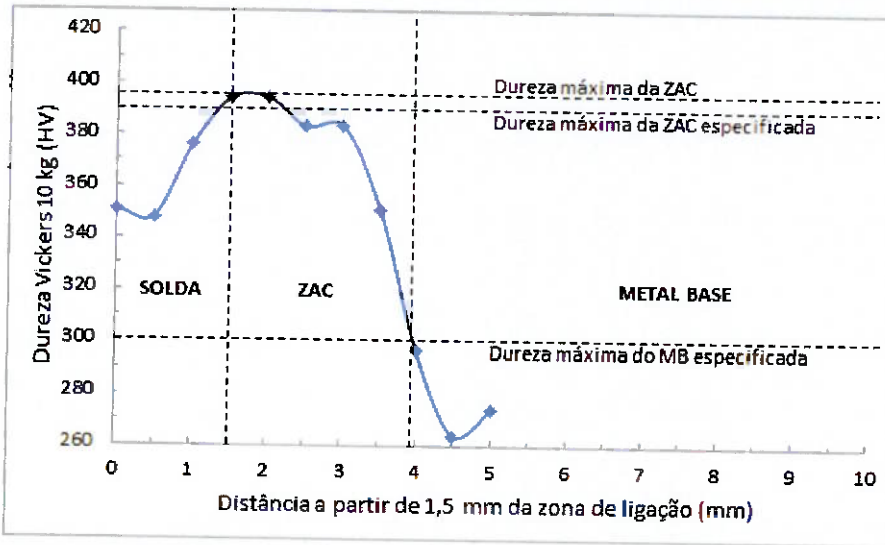


Figura 5.79 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.54 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	2,0 mm

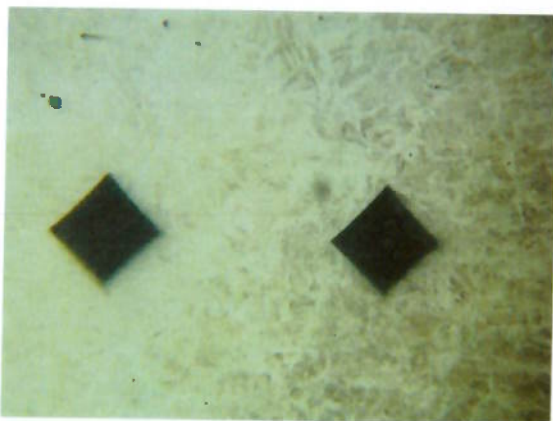


Figura 5.80 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

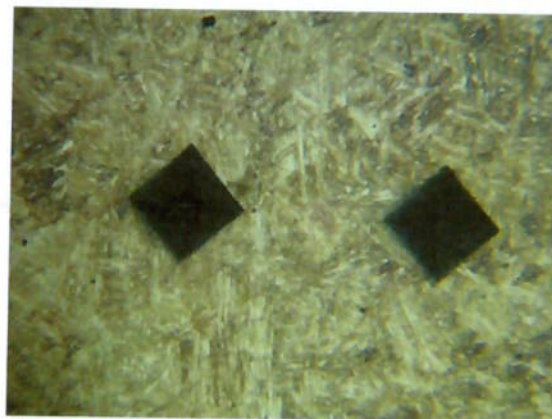


Figura 5.81 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.28. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 6 aberturas

Tabela 5.55 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	351	336	383	394	394	394	383	317	285	274	-	-

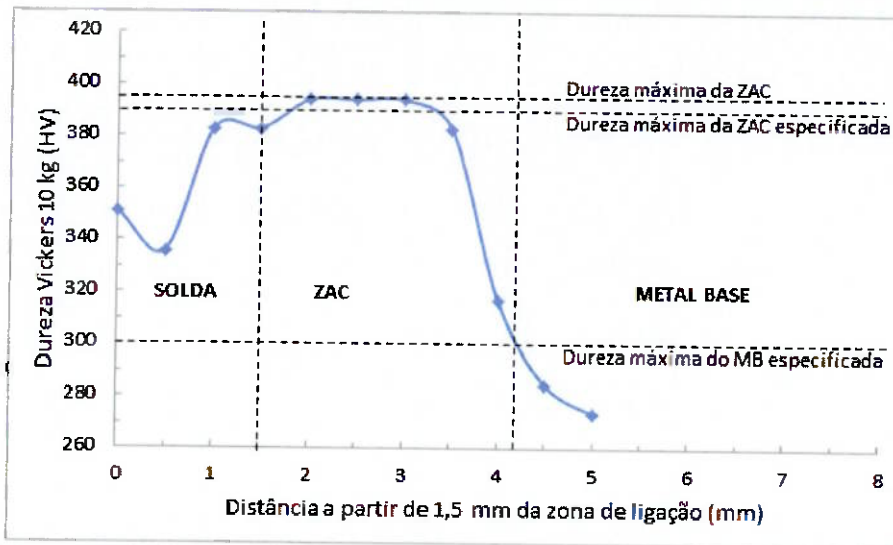


Figura 5.82 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.56 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

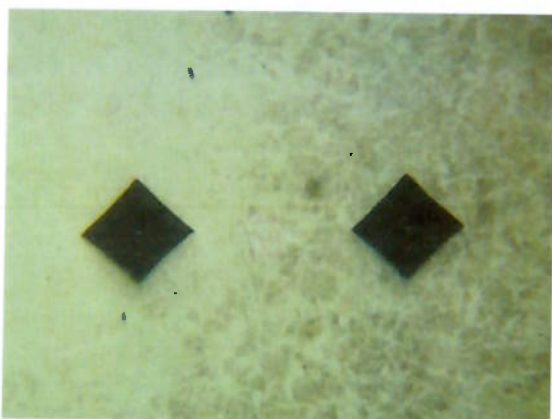


Figura 5.83 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.84 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.29. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.57 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	366	383	383	383	366	351	309	281	274	-	-

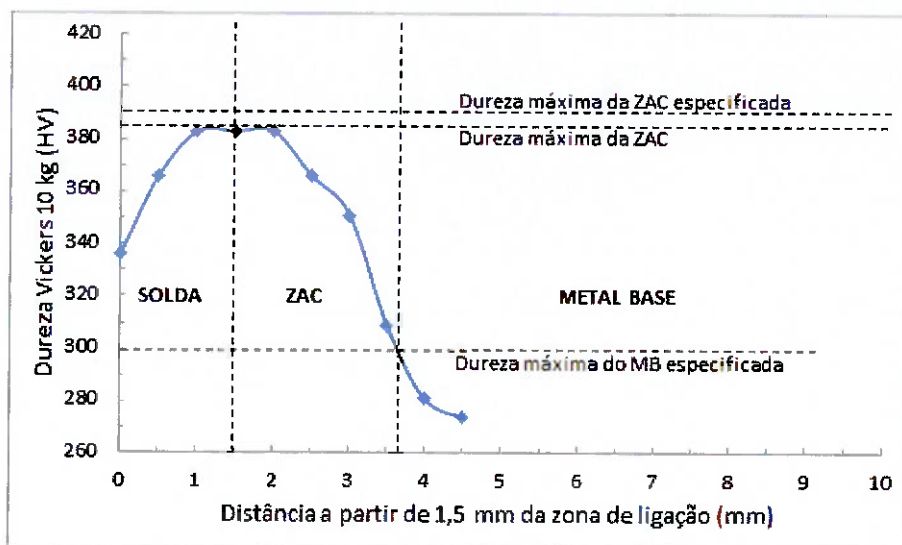


Figura 5.85 Medição realizada no sentido horizontal – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.58 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	2,0 mm

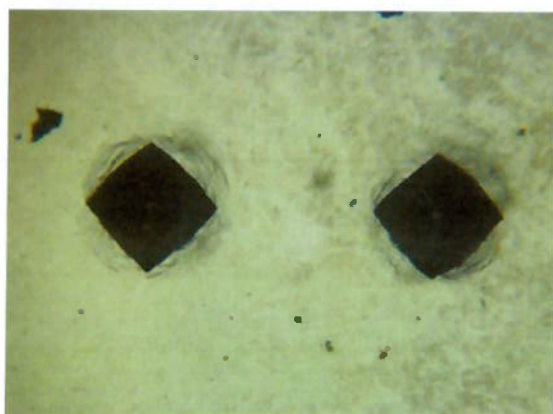


Figura 5.86 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

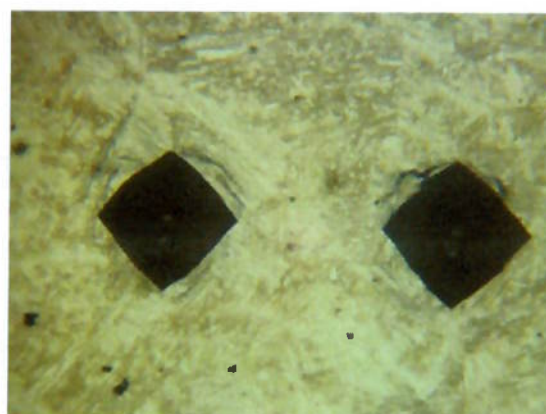


Figura 5.87 87Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.30. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.59 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 1ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	336	360	366	383	380	330	322	309	264	264	-	-

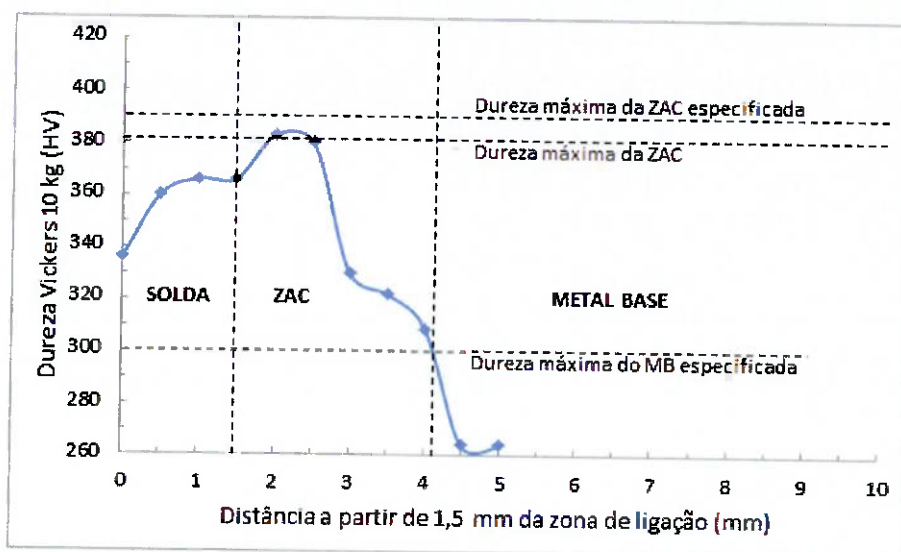


Figura 5.88 Medição realizada no sentido vertical – 1ª abertura corpo de prova

Tabela 5.60 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	-7,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

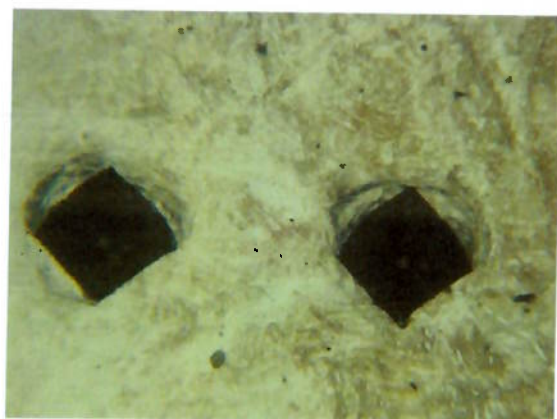


Figura 5.89 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

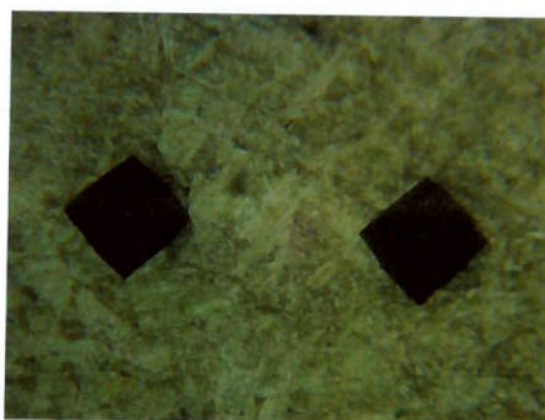


Figura 5.90 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.31. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.61 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Horizontal – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	360	360	383	394	376	360	317	297	285	274	-	-

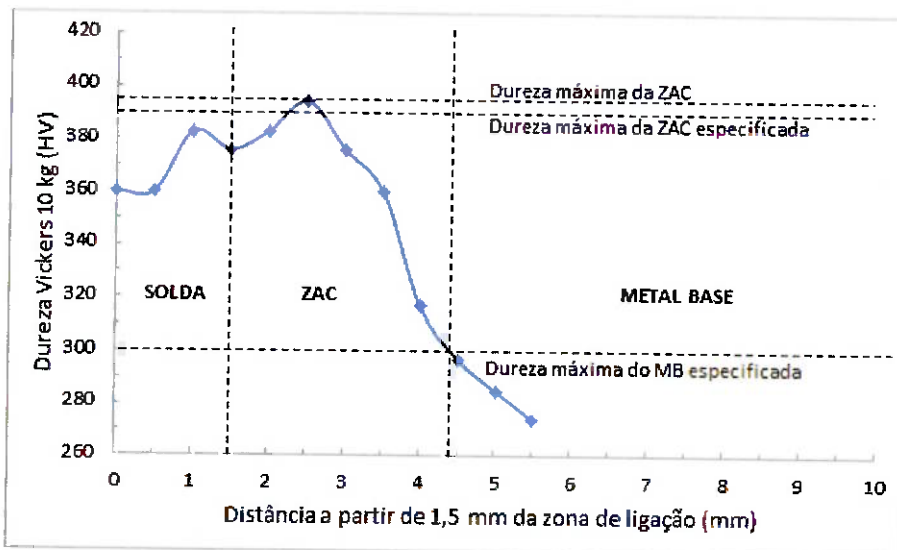


Figura 5.91 Medição realizada no sentido horizontal – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.62 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova horizontal

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

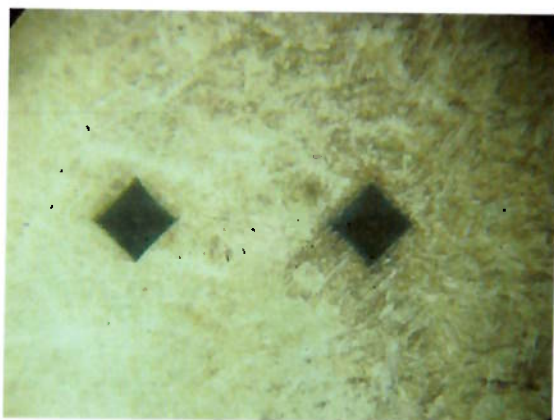


Figura 5.92 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x



Figura 5.93 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.32. Fundido com 50 mm espessura / 150 °C pré-aquecimento / 4 aberturas

Tabela 5.63 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Medição Realizada no sentido Vertical – 3ª Abertura												
Número de Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dureza Vickers	360	376	394	401	394	394	380	336	309	297	285	285

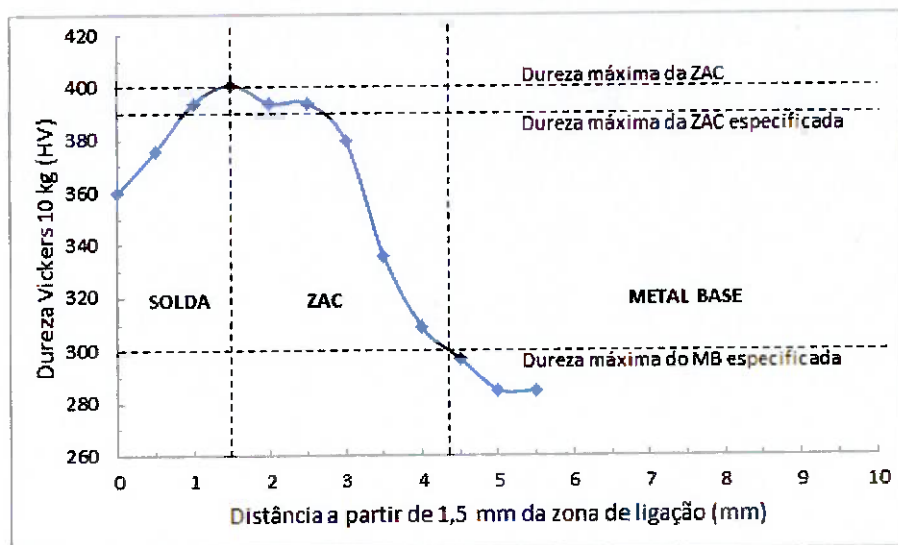


Figura 5.94 Medição realizada no sentido vertical – 3ª abertura corpo de prova

Tabela 5.64 Valores de referência para dimensionamento da ZAC do corpo de prova vertical

Valores de referência para o dimensionamento da ZAC	
Valor dureza máxima - Valor dureza máxima especificada	4,0 HV
Comprimento ZAC	2,5 mm

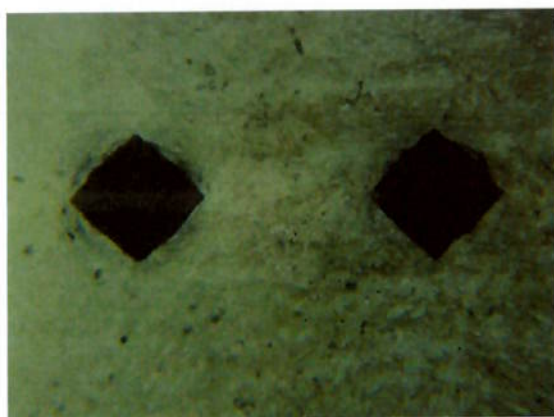


Figura 5.95 Micrografia do corpo de prova solda e zona de ligação. Ataque Vilella aumento 100x

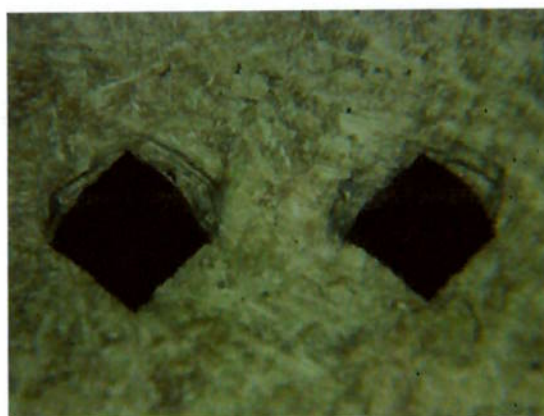


Figura 5.96 Micrografia do corpo de prova ZAC e metal base. Ataque Vilella aumento 100x

5.33. ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E METALGRÁFICA.

Foram executados ensaios de análise química e metalografia do metal de solda e metal de base, sendo que para a metalografia, as regiões do metal soldado, zona de ligação e metal de base apresentavam-se com regiões definidas e para análise química os resultados estão demonstrados na tabela 5.65.

Tabela 5.65 Análises de composição química e metalográfica

CP	LOCAL	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
10.2.1	METAL BASE	0,024	0,450	0,700	0,029	0,003	12,330	3,750	0,400
10.2.1	SOLDA	0,012	0,400	0,590	0,021	0,004	12,200	4,150	0,390
10.2.3	METAL BASE	0,029	0,460	0,710	0,030	0,004	12,340	3,770	0,400
10.2.3	SOLDA	0,012	0,410	0,580	0,019	0,004	12,160	4,190	0,400
50.2.1	METAL BASE	0,024	0,440	0,690	0,026	0,003	12,290	3,660	0,390
50.2.1	SOLDA	0,011	0,400	0,590	0,021	0,005	12,200	4,240	0,390
50.2.3	METAL BASE	0,028	0,450	0,700	0,026	0,003	12,300	3,690	0,390
50.2.3	SOLDA	0,014	0,400	0,590	0,020	0,004	12,160	4,170	0,390

Pode ser observado por meio da tabela que a composição química não sofre variação significativa com as alterações de espessura, distanciamento entre aberturas e pré-aquecimento.

5.34.1. VALORES DE DUREZA

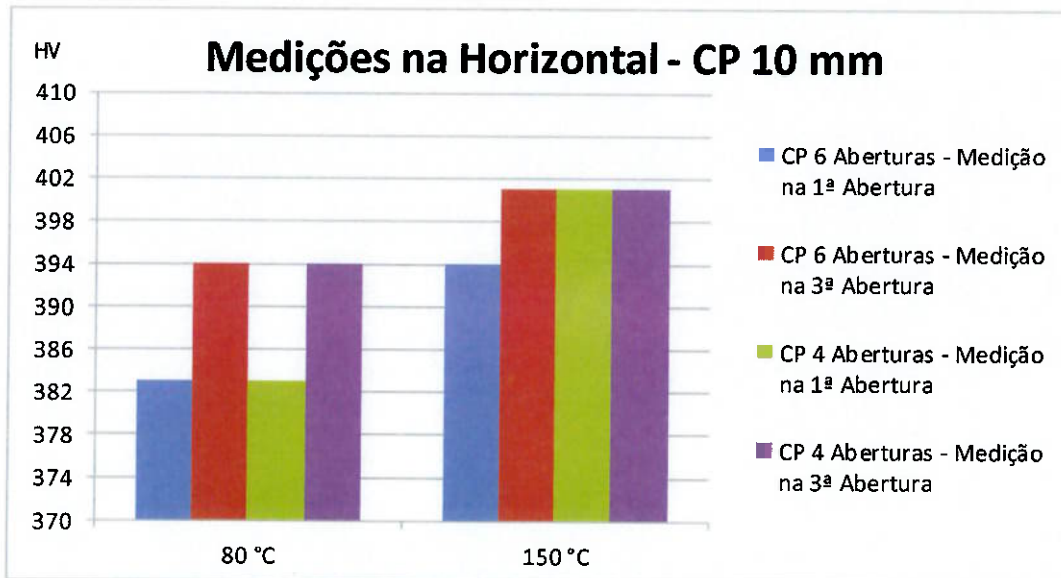


Figura 5.97 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 10mm

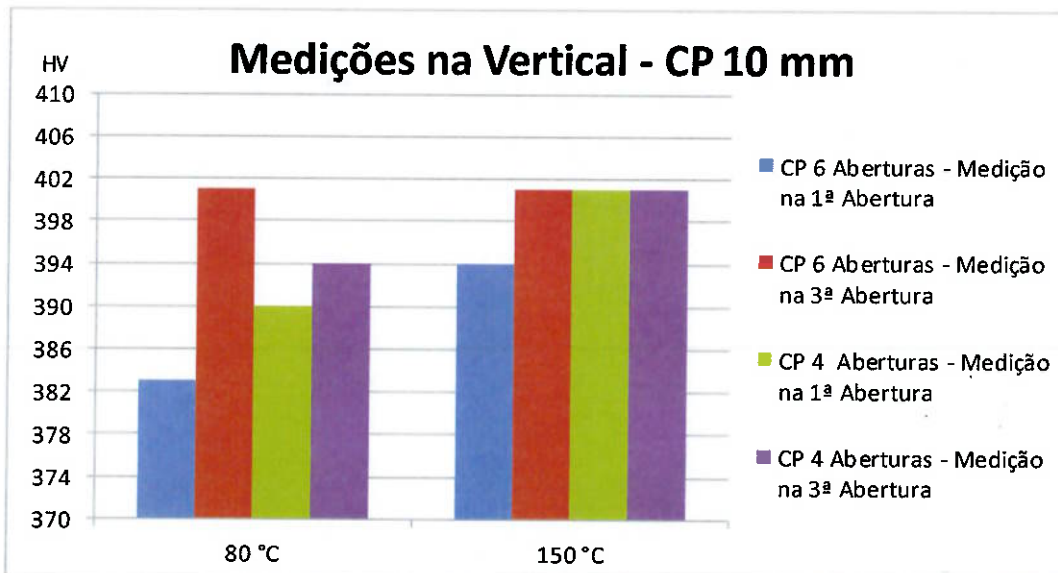


Figura 5.98 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 10mm

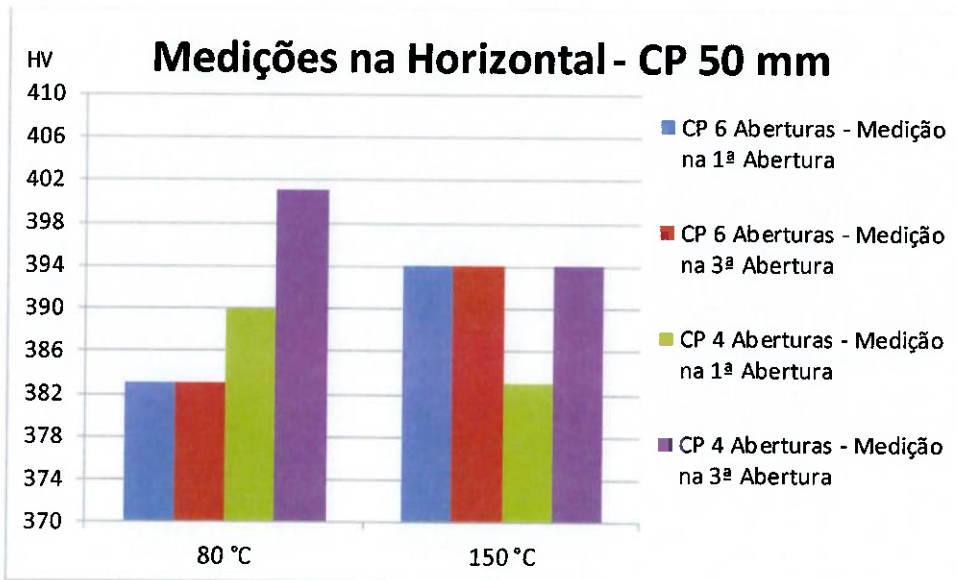


Figura 5.99 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 50mm

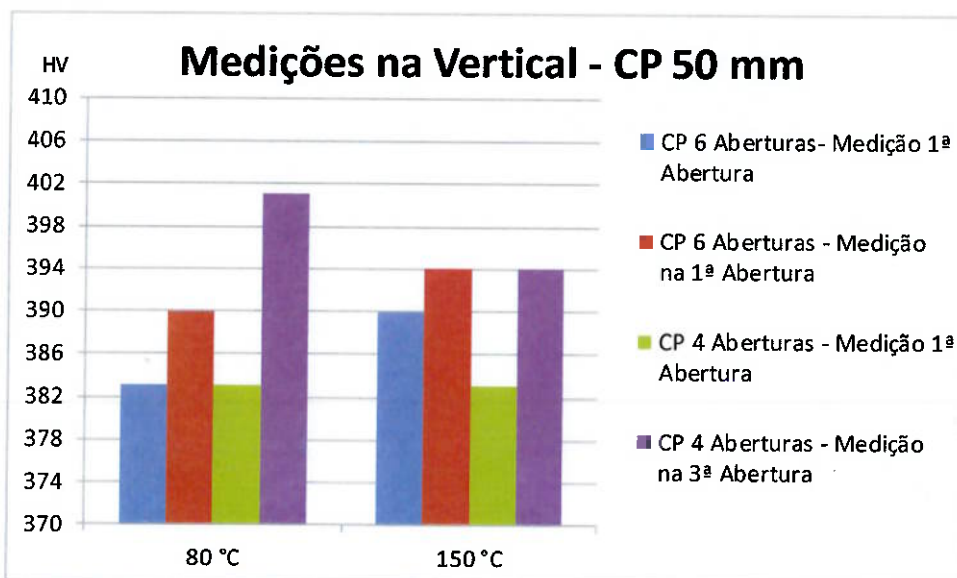


Figura 5.100 Gráfico de Medições de Dureza CP Espessura 50mm

5.34.2. DIMENSÃO ZAC

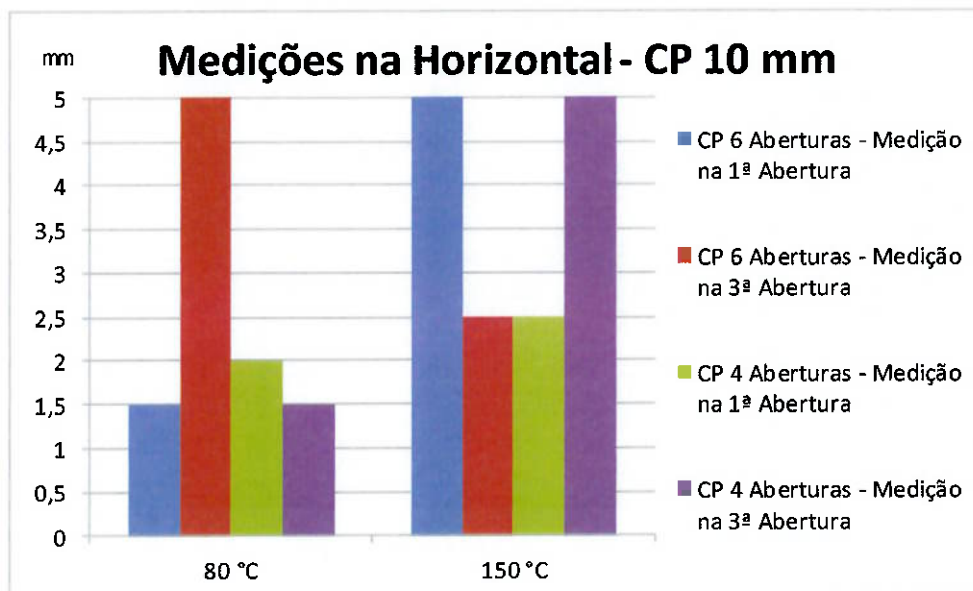


Figura 5.101 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 10mm

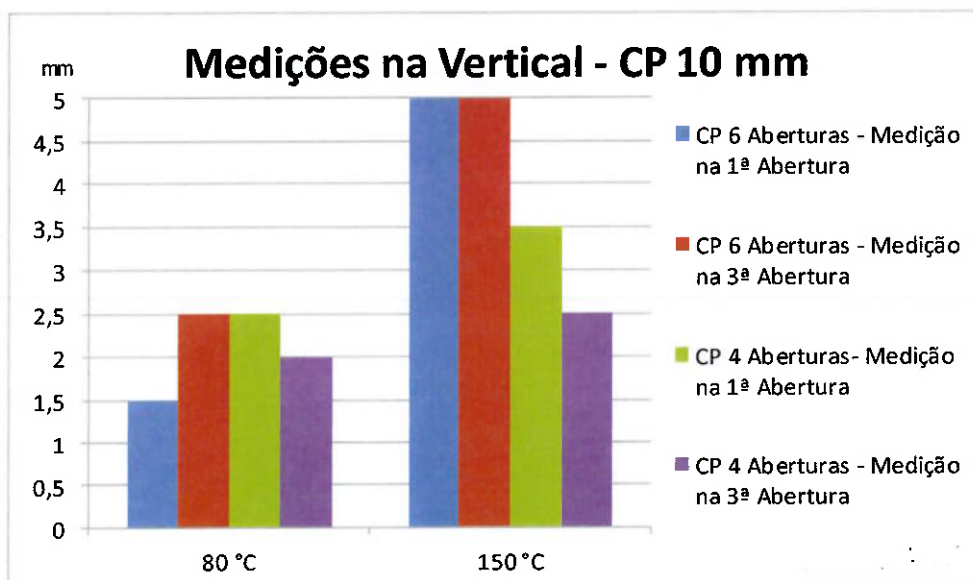


Figura 5.102 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 10mm

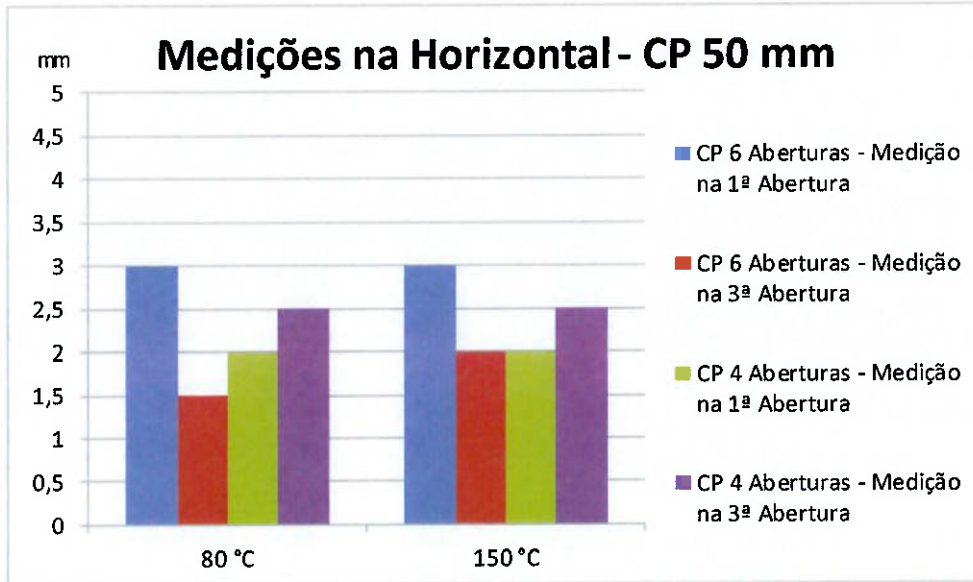


Figura 5.103 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 50mm

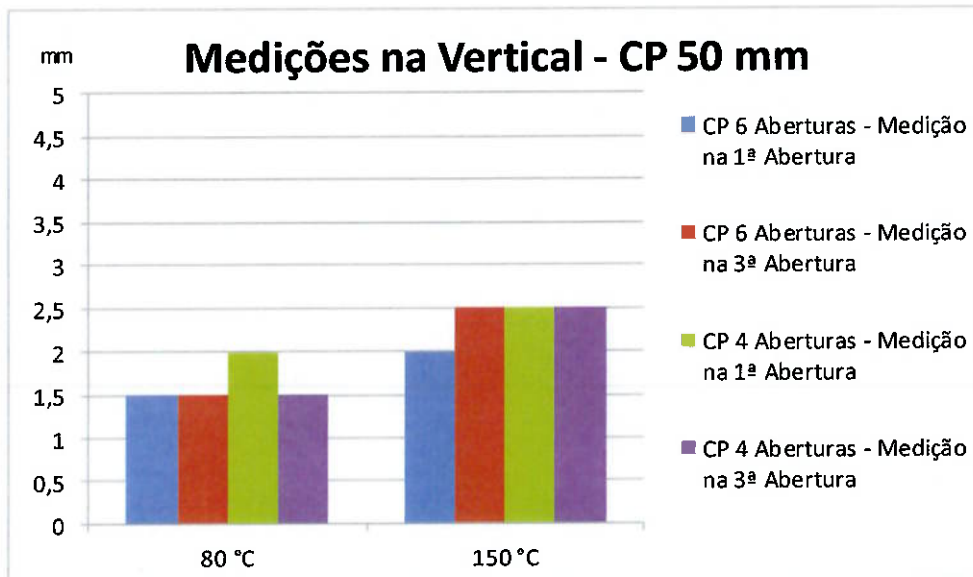


Figura 5.104 Gráfico Dimensão ZAC Espessura 50mm

Analisando os gráficos podemos constatar que no comparativo de dureza relativo ao pré-aquecimento, as aberturas soldadas que receberam maiores variações de ciclos térmicos foram as que alcançaram maiores valores de dureza, como no caso do corpo de prova com espessura de 10 mm e pré-aquecimento de 150 °C. Algumas possibilidades poderiam ter ocorrido aqui, visto que a espessura de 10 mm é considerada como chapa fina para este processo com este aporte de calor (ver figura 5.105), conseqüentemente a velocidade de resfriamento é mais lenta, pois na soldagem quanto maior a espessura menor a velocidade de resfriamento (ver figura 5.106). Para os aços CA6NM o resfriamento lento é evitado, pois pode ocasionar precipitação de carbonetos e conseqüentemente aumento no valor da dureza, contudo, contudo não foi possível visualizar uma presença significativa de carbonetos que justificassem esta possibilidade. Outra hipótese seria que para os aços CA6NM temperaturas de revenimento acima de 620°C favorecem a redução da austenita estável e o aparecimento da austenita instável capaz de se transformar em martensita não revenida durante o resfriamento [19], esta segunda possibilidade se aplicaria melhor a este caso, pois foi possível visualizar através dos gráficos uma quantidade maior de valores altos de dureza na ZAC, caracterizando uma maior presença de martensita não revenida. Esta mesma possibilidade se aplica para a extensão da ZAC, os corpos de prova que receberam maiores influências de ciclos térmicos com um resfriamento lento inerente a chapa de 10 mm apresentaram uma dureza de 320 HV no metal base, em uma região de até 5 mm no metal base a partir da solda.

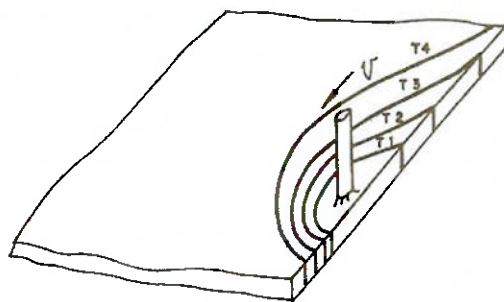


Figura 5.105 Isotermas nas chapas finas [13]

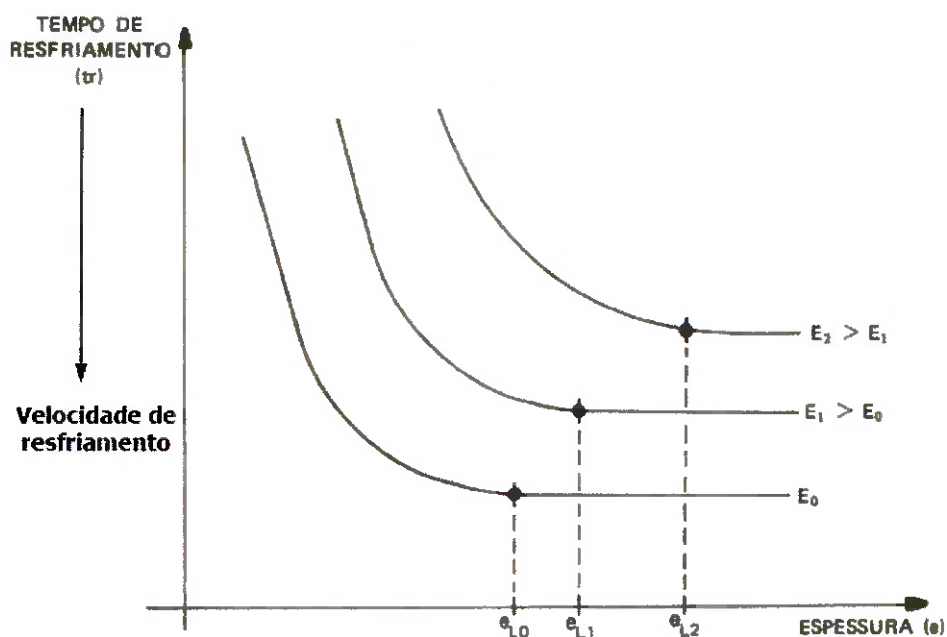


Figura 5.106 Velocidade de Resfriamento relacionado ao conceito chapa fina e grossa

Em relação ao corpo de prova de espessura de 50 mm o comportamento é um pouco diferente, devido a sua maior espessura que o classifica como chapa grossa resultando em um resfriamento mais rápido (ver figura 5.107), a influência dos ciclos térmicos somente é detectada no caso do corpo de prova com 6 aberturas

(espaçamento de 10 mm) com pré-aquecimento de 150° C. Neste caso a intensidade dos ciclos térmicos são maiores devido a quantidade de aberturas e o valor mais alto de pré-aquecimento, consequentemente aumentando a dureza, resultante de uma maior quantidade de martensita não revenida. Para a situação do corpo de prova com 4 aberturas (espaçamento de 30 mm), os ciclos térmicos atuam com menor intensidade e a temperatura se mantém inferior a 620 °C, e portanto, temos a formação da austenita estável e a dureza se mantém em valores menores como referência a figura 5.108. Na figura 5.109 demonstram-se os três tipos de austenita, au_1 austenita residual, au_2 austenita estável e au_3 austenita instável que podem estar presentes na microestrutura do CA6NM.

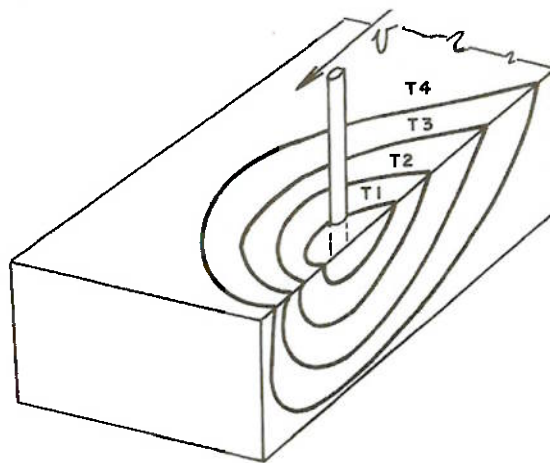


Figura 5.107 Isotermas nas chapas grossas[13]

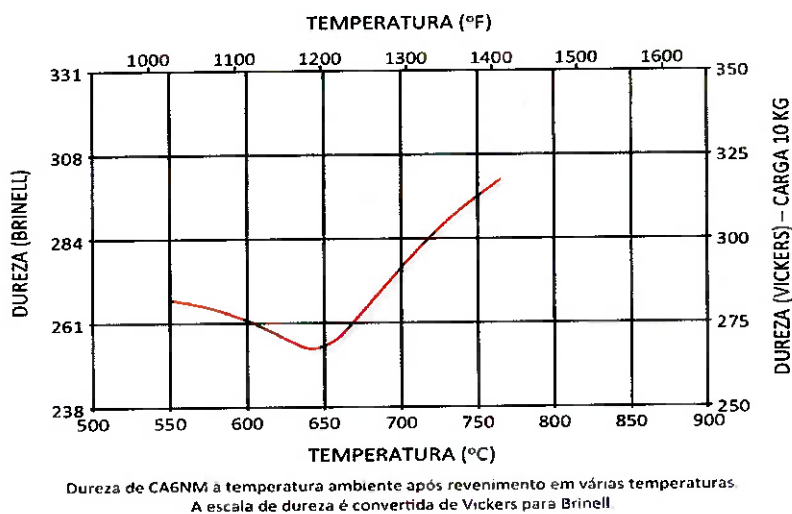


Figura 5.108 Relação entre o valor de dureza e a temperatura de revenimento [21]

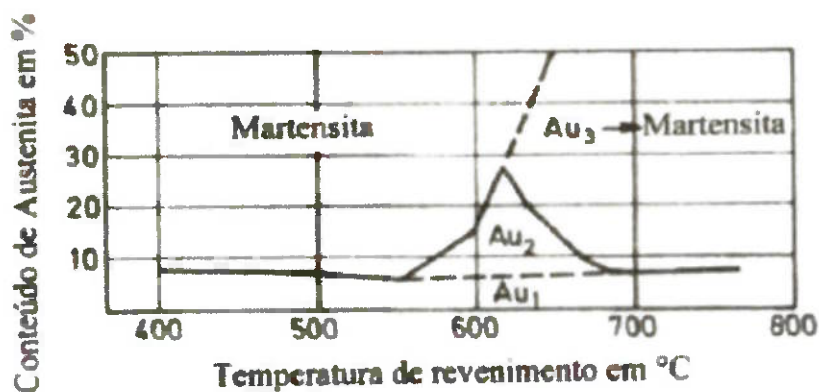


Figura 5.109 Relação entre a quantidade de austenita e temperatura de revenimento[21]

6. CONCLUSÕES.

Por meio da análise destes resultados podemos verificar a grande influência do ciclo térmico nos valores de dureza. Quanto maior a variação de calor, ou seja, maior número de pontos, menor espessura e maior temperatura de pré-aquecimento, maior será o valor de dureza.

Os valores máximos de dureza estavam entre 390 e 400 HV. Em algumas regiões da ZAC dos corpos de prova que foram submetidos a ciclos térmicos com altas temperaturas de pré-aquecimento e pouco distanciamento entre os pontos, podemos dizer que o revenimento realizado pelo último passe nestas aberturas foi praticamente anulado, pois estes valores de dureza são típicos de estruturas martensíticas não revenidas, estruturas frágeis propensas a propagação de defeitos. A realização de vários cordões influenciou diretamente nos valores de dureza, as primeiras aberturas de cada corpo de prova possuíam valores de dureza menores e aumentavam consideravelmente à medida que estavam localizadas próximas ao centro do corpo de prova fundido, isto ocorreu devido aos ciclos térmicos provenientes da soldagem das aberturas realizadas tanto na sua esquerda quanto na sua direita, mesmo que os parâmetros de pré-aquecimento e interpasse fossem respeitados. Outro ponto identificado foi que as aberturas sujeitas as grandes variações térmicas possuíam um aumento da dureza não somente na solda e ZAC, mas também nas regiões adjacentes no metal base.

Identificamos nas primeiras aberturas tanto do corpo de prova de espessura de 50 mm quanto de 10 mm que com pré-aquecimento de 80 °C valores de dureza

próximos aos especificados foram alcançados, assim, como o aporte de calor foi mantido constante, a realização de reparos reais deve ser direcionada de tal forma que exista um balanço do ciclo térmico a fim de que exista uma menor influência possível de um reparo sobre o outro, permitindo que o passe de revenimento seja o único responsável pela alteração da dureza e da micro estrutura na ZAC e metal soldado.

Podemos concluir que para espessuras de 10 mm o pré-aquecimento de 80 °C fornece valores de dureza menores, contudo quando houver vários pontos de reparos próximos, estas soldas devem ser feitas intercalando as aberturas para que haja uma menor influência dos ciclos térmicos das aberturas ao lado.

Para espessura de 50 mm com várias aberturas próximas (distanciamento 10 mm), a temperatura de pré-aquecimento de 80 °C deve ser aplicada, e para aberturas mais distante (distanciamento de 30 mm) o pré-aquecimento de 150 °C deve ser utilizado, intercalando a soldagem assim como é feito para os fundidos de 10 mm.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1. Simulação de reparos em aços inox martensíticos CA6NM com solda austenítica, verificando a dureza na solda, ZAC e metal de base, acompanhado de ensaios como o de impacto, para avaliar o material austenítico como alternativa para realização de reparos sem tratamento térmico posterior.

2. Simulação de reparos em aços inox martensíticos CA6NM com variação dos parâmetros de soldagem com intuito de identificar possíveis valores de aporte de calor que resultam em menores valores de dureza e com propriedades mecânicas similares ao metal base na realização de reparos diversos.

3. Verificar a utilização de outros processos de soldagem como o MIG/MAG, eletrodo revestido na realização de passe de revenimento em reparos maiores.

4. Estudar detalhadamente a ZAC da soldagem com materiais martensíticos analisando tensão residual e propriedades de ductilidade e resistência mecânica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASM METALS Handbook volume 15, p 54,55.
2. STEEL CASTING Handbook, Supplement 8 High Alloy Data Sheets Corrosion Series, Steel Founder's Society of America
3. CALLISTER, W. D., RETHWISCH, D. G. Materials Science and Engineering : An Introduction, 8th edition, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
4. LESLIE, W. C. The Physical Metallurgy of Steels. McGraw-Hill series in material science and engineering. Hemisphere Pub. Corp., 1981 - 396 p.
5. KRAUSS, G. Martensite in Steel: Strength and Structure. Materials Science and Engineering, A273-275, 1999, p 40-57.
6. ASTM A743 / A743M, Standard Specifications for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application.
7. GRACIOSO , J. F. F., Dissertação Submetida à Universidade Federal de Santa Catarina -. Efeito das condições de tempera na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA6NM. Fevereiro 2003.
8. IWABUCHI, Y. e SAWADA. S. Metallurgical Characteristics of a Large Hydraulic Runner. Casting of Type, 13Cr – Ni Stainless Steel, Stainless Steel ASTM STP 756. V>G Behal and A. S. Melilli. 1982.
9. AWS HB2-C04 p 2-3.
10. OKUMURA, T., TANIGUCHI, C., Engenharia de Soldagem e aplicações p 18 . Editora LTC, Rio de Janeiro, 1982.
11. KOU, S. , Welding Metallurgy, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2003, p 11.
12. R. MEREDITH, U.S. PATENT 2.
13. ANSI/ AWS 5.12, Especificação para eletrodos de tungstênio e suas ligas para soldagem.

14. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo: Edgar Blücher, p 365, 366.
15. COMINATO, R. Influência da Temperatura de Revenido e Meio de Resfriamento em Aços Inoxidáveis Martensíticos Fundidos Tipo CA6NM, Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2008.
16. GRANJON, H. – “Fundamentals of welding metallurgy”, Woodhead Publishing; p 240 p, 1991.
17. ASM METALS Handbook volume 06, p 590-604
18. ASTM E 140 Conversão de valores de dureza para aços não austeníticos para Vickers
19. SPERKO, W. J., Exploring Temper Bead Welding, As published in the welding journal, August, 2005.
20. ASTM E92, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials
21. CRAWFORD, J.D CA6NM na Update. In 29 th Annual Steel Founder’s Society of America Technical and Operating Conference. Nov 1974, p 1-13
22. FOLKHARD, E. Welding Metallurgy of Stainless Steels. Springer-Verlag Wien, New York, 1988

ANEXO I – Certificado de Composição Química do Metal Base

VOITH

Material Test
Inspection Certificate 3.1 - EN 10204
No. 0618 / 2012

Voith Hydro Ltda
02995-000 São Paulo SP - Brasil

Quality Department

Denomination : TEST COUPON
Reference : JEAN LESAGE
Identification No. : 96768, 96769, 96770, 96771, 96772 and
Quantity : 06
96773
Drawing No. : 300x200x120
Weight : 60 Kg/Piece
Pattern No. : -
WBS No. : 2-000612-01-TFV010153
Material : A 743 Grau CA6NM (Modified)
Customer :
Specification : TDS 2TFV01-0101-00724906 - Rev A
Purchase Order No. :

Melting process : Electric Induction Furnace, with separated refining in AOD Converter
Heat treatment condition : Quenched and Tempered
Furnace : F10 Charge : 1433
Test coupon : Attached- 60 x 80 x 200 mm

Chemical Composition (Heat Analysis)

Heat No.	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo
Specified Values :	0.035	1.00	1.00	0.04	0.030	11.5 to 14.0	3.5 to 4.5	0.4 to 1.0
max								
C4618A	0.025	0.45	0.71	0.03	0.002	12.2	3.7	0.4

Tensile Test, at room temperature

Heat No.	Specimen		Yield Strength	Tensile Strength	Elongation A4	Red. of area Z	Hardness Test	
	No.	Ø (mm)	Rp 0.2 (MPa)	Rm (MPa)	(%)	(%)	HB	
Specified Values : min.			550	755	15	35	Individual Values Average	
C4618A	96644	12.55	656	836	25	56		

Impact Test, at 0 °C temperature

Heat No.	Specimen No.	Absorbed Energy Type A			Av Average	Lateral Expansion	Shear Fracture	Bend Test
		Individual Values			(Joule)	(mm)	(%)	
Specified Values : min.		33			50			Ram Ø
C4618A	96644	139	141	151	144			Ø

Remarks :

We hereby certify, that the material described above has been tested and complies with terms of the order contract

Quality Department
The Manufacturer's Authorized Representative

Paulo
06470-8
superior

São Paulo, December 12th, 2012

VOITH

ANEXO II – Certificado de Composição Química do Metal de Adição



CERTIFICADO DE QUALIDADE QUALITY CERTIFICATE



Certificado No.
Report No. **100619**

Nota Fiscal No.
Invoice No. **27023**

Cliente / Customer
VOITH HYDRO LTDA

Código / Customer Code **03.400.080/0001-60 SP** Pedido do Cliente / Customer Order **001062**

Material / Material
VARETA WI. T 410NIMO

Diâmetro / Size **02,40mm** Código do material / Material Code **2.01.037** Corrida / Heat No. **920078**

Especificação / Specification
AWS A5.9/A5.9M-2006 ER410NiMo
ASME II P C ED07 AD09 SFA5.9/A5.9M ER410NiMo

Quantidade / Weight **60,0000** Unidade / Unit **KG** O.P. / Our Order **078** Data Fabricação / Manufac Date **21/03/2010**

ANÁLISE QUÍMICA (%) / CHEMICAL ANALYSIS (%)

C	Mn	Cr	Si	Mo	Ni	P	S	Cu	Co
0.0180	0.5500	12.0800	0.3300	0.4200	4.5600	0.0150	0.0045	0.0860	0.0440
Ti	Nb	V	Al	N					
0.0020	0.0040	0.0730	0.0020	0.0130					

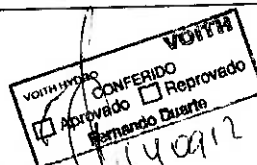
PROPRIEDADES MECÂNICAS / MECHANICAL PROPERTIES

Resistência à Tração (Mpa) / Tensile Strength (MPa)	Limite Escoamento (MPa) / Yield Strength (MPa)	Alongamento (%) / Elongation (%)	Resistência ao Impacto (J) / Impact Test (J)	Dureza / Hardness
760		15		

OUTRAS PROPRIEDADES FÍSICAS / OTHER PHYSICAL PROPERTIES

Radiografia / Radiographic Test	Teste de Filete / Fillet Test	No. Ferrita / Ferrite No.

Observações / Observations



Certificamos que o material foi produzido de acordo com suas normas de satisfazendo o requerido.
We hereby certify that the material described has been produced accordingly with the specification above, satisfying the requirements.

O material foi produzido conforme norma ISO 9001:2008.

The material has been produced in accordance with ISO 9001:2008.

Este certificado é emitido eletronicamente e é válido sem assinatura

This certificate is issued electronically and it is valid without signature.

Reclamações técnicas serão aceitas no máximo até 90 dias após a data do fornecimento. Devoluções somente serão aceitas após consulta e autorização do departamento técnico.

Technical complaints will be accepted until 90 days after the date of delivery. Sales returns will be accepted only after approval from technical department.

Diadema, 12 de setembro de 2012

