

Características Mecânicas de Vergalhões de Aço Auto - Revenido

Dissertação de Mestrado

Autor: Matheus de Faria e Oliveira Barreto

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Cetlin

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

2009

MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO

Características Mecânicas de Vergalhões de Aço Auto - Revenido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Cetlin

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

2009

Barreto, Matheus de Faria e Oliveira
B273c Características mecânicas de vergalhões de aço auto-revenido [manuscrito] /
Matheus de Faria e Oliveira Barreto. – 2009.
157 f., enc. : il.

Orientador: Paulo Roberto Cetlin.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.: 130-157.

Bibliografia: f. 128-129.

1. Construção civil – Teses. 2. Aço – Propriedades mecânicas – Teses. I. Cetlin, Paulo Roberto. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU:691 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE VERGALHÕES DE AÇO AUTO – REVENIDO

Matheus de Faria e Oliveira Barreto

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr . Paulo Roberto Cetlin
DEMET/DEMC/UFMG – (Orientador)

Prof. Dr. Haroldo Beria Campos
DEMEC/UFMG

Profa. Dra. Elaine Carballo Siqueira Corrêa
CEFET/MG

Belo Horizonte, 28 de dezembro de 2009.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela saúde, vitalidade, força e paz para que eu pudesse desenvolver este trabalho de pesquisa.

A minha mamãe Margarida e a minha noiva Aline, pelo apoio irrestrito, dedicação e compreensão em todos os momentos.

Ao Prof. Dagoberto Brandão por ter disponibilizado toda a estrutura do Laboratório de Metalografia e Tratamentos Térmicos e de Microscopia Eletrônica da UFMG para que eu pudesse fazer os ensaios de caracterização das amostras, bem como os técnicos em laboratório Breno César e Patrícia Azevedo que me auxiliaram nos ensaios.

A Prof.^a Teresa Aguilar e ao Prof. Paulo Cetlin por também disponibilizarem seus laboratórios para os ensaios mecânicos.

A toda a equipe do laboratório de Metalurgia Mecânica da Universidade de Itaúna, principalmente ao Prof. Ewerton, pela ajuda com as usinagens e nos ensaios mecânicos.

Aos professores Antônio Neves Junior e Adriano de Paula que sempre deram apoio ao trabalho.

A FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa.

E por último e mais importante ao Prof. Paulo Cetlin e a Prof^a Maria Teresa Aguilar, pela orientação comprometida e desinteressada, pela lealdade e apoio irrestrito, e por todos os ensinamentos durante os dois anos de desenvolvimento deste trabalho.

Dedico este trabalho primeiramente às duas pessoas mais importantes na minha vida, que me apóiam incondicionalmente, me dão Amor, Carinho, Atenção, Muita Dedicção e que **sempre** acreditaram em mim e que Eu tanto Amo. Minha Alma Gêmea Aline e Minha Mamãe Margarida.

Dedico também a todos que me ajudaram nesta jornada e me mostraram a real importância e o significado do título de Mestre, além de terem despertado em mim o gosto pela Ciência.

“Algo só é impossível até que alguém duvide e
acabe provando o contrário.”
(Albert Einstein)

“Excelência é uma habilidade conquistada
através de treinamento e prática. Nós somos
aquilo que fazemos repetidamente. Excelência,
então, não é um ato, mas um hábito”.
(Aristóteles)

“Duas coisas são infinitas:
o universo e a estupidez humana.
Mas, no que respeita ao universo,
ainda não adquiri a certeza absoluta”
(Albert Einstein)

RESUMO

O vergalhão de aço é um dos materiais de uso mais difundido na construção civil brasileira e mundial, porém é necessário conhecer com mais detalhes o comportamento do vergalhão como material e não somente como elemento estrutural. A cada dia a construção civil busca novas alternativas para maximizar o uso dos materiais, desde novas ferramentas de cálculo estrutural a novas técnicas de solda em vergalhões. Neste sentido este trabalho se propôs a estudar as características mecânicas de vergalhões de aço auto-revenido destinados à construção civil, elegendo as barras de 6,3 a 25,4mm de diâmetro para o estudo. O processo de resfriamento dos vergalhões, após a laminação, conhecido como auto-revenimento produz um vergalhão com ótimas características mecânicas e com baixo custo para a usina, porém o vergalhão passa a ser constituído por camadas concêntricas com propriedades mecânicas diferentes entre si. Para estudar a influência destas camadas no comportamento mecânico do vergalhão foi feita a caracterização microestrutural por meio de análises em microscópio eletrônico de luz transmitida e de varredura, além de ter sido traçado o perfil de microdureza Vickers de todas as amostras. A partir dos resultados foi constatado que apenas as barras de 20 e 25mm de diâmetro possuíam um tratamento térmico por auto-revenimento relevante. Optou-se então por descascar a barra de 20mm de diâmetro e obter as curvas de tensão-deformação do material completo e descascado a fim de se obter seu comportamento com a extração das camadas externas, com dureza superior. Os resultados obtidos mostram que com a retirada da primeira camada e redução do diâmetro do vergalhão de 20mm para 17mm, a curva tensão-deformação sofre um decréscimo substancial e que a partir das demais reduções o decréscimo passa a ser irrisório.

Palavras-chave: Vergalhões, Aço auto – revenido, Características mecânicas.

ABSTRACT

The rebar steel is one of the most utilized and diffused materials in Brazilian civil construction, as it is in the whole world, but it's necessary to know more details about the rebar behavior as a material and not only as a structural element. Each day civil engineering searches for new alternatives to maximize the use of materials, from new structural calculation tools, to new techniques in welding rebar steel. In that sense, this study shows the mechanic characteristics of the self-tempering rebar steel used in civil construction, analyzing in this case the 6.3 to 25.4mm bar diameter. The cooling process of the rebar, after lamination, known as self-tempering, produces a rebar steel with great mechanical characteristics, and low costs to the industry, but the beam turns to be constituted, in this process, by concentric layers with different mechanical proprieties. To study the influence of these layers in the rebar steel mechanical behavior, a microstructure characterization was made through analyses using optical and scanning electron microscopes, besides showing the profile of microhardness Vickers in every sample. From the results, we could see that only the 20 and 25.4mm bar had a thermal treatment by self-tempering of some relevance. It was chosen then, to peel the 20mm bar to obtain the tensile-deformation curves from the complete and peeled material, in order to observe its behavior within the extraction of the external layers, of superior hardness. The obtained results show that, with the extraction of the first layer and the reduction of the bar diameter from 20mm to 17mm, the tensile-deformation curves suffer a substantial decreasing, and from this point, the decreasing in the other reductions turns to be derisive.

Key-words: Rebar Steel, Steel self-tempering, Mechanical characteristics.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS COMPOSTOS	21
3.1.1 Regra das Misturas	22
3.2 VERGALHÕES DE AÇO AUTO-REVENIDO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	25
3.2.1 Uso do Vergalhão de Aço Auto – Revenido na Construção Civil	25
3.2.2 Auto-revenimento Aplicado aos Vergalhões para Construção Civil ..	29
3.2.3 Principais Sistemas de Tratamento Térmico de Auto-revenimento..	33
3.2.3.1 Sistema Tempcore.....	33
3.2.3.2 Sistema Thermex.....	35
3.2.4 Características Mecânicas dos Vergalhões Auto-Revenidos	37
3.2.4.1 Propriedades Mecânicas	38
3.2.4.2 Relação Dureza – Temperatura de Revenimento.....	39
3.2.5 Vantagens do Auto-revenimento para a Construção Civil.....	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
4.1 MATERIAIS	47
4.2 MÉTODOS.....	47
4.2.1 Metalografia	48

4.2.2 Microscopia Ótica.....	48
4.2.3 Microdureza Vickers.....	50
4.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	52
4.2.5 Ensaio de Tração	53
4.2.6 Obtenção das curvas tensão-deformação.....	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1 Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV.....	57
5.2 Microdureza Vickers	101
5.3 Ensaio de Tração.....	117
5.4 Modelagem Teórica	126
6 CONCLUSÕES	127
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
8 ANEXO.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Composição química (% em peso) do aço estudado	47
Tabela 8.1 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 6,3 mm.....	130
Tabela 8.2 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 6,3 mm.....	130
Tabela 8.3 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 8,0 mm.....	130
Tabela 8.4 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 8,0 mm.....	131
Tabela 8.5 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 10,0 mm.....	131
Tabela 8.6 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 10,0 mm.....	131
Tabela 8.7 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 12,5 mm.....	132
Tabela 8.8 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 12,5 mm.....	132
Tabela 8.9 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 16,0 mm.....	133
Tabela 8.10 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 16,0 mm.....	133
Tabela 8.11 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 20,0 mm.....	134
Tabela 8.12 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 20,0 mm.....	134
Tabela 8.13 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 25,4 mm.....	135
Tabela 8.14 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 25,4 mm.....	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Evolução da Produção Brasileira de Aço Bruto no período de 1980 a 2008. Adaptado Abracave (1980 a 1997) e IBS (1998 a 2009).	26
Figura 3.2 – Evolução da Produção Brasileira de Aços Laminados Longos e Planos no período de 1980 a 2006. Adaptado Abracave (1980 a 1997) e IBS (1998 a 2006).	27
Figura 3.3 – Produção anual de vergalhões para construção civil de 2001 a 2006. Adaptado IBGE (2009).	28
Figura 3.4 – Participação dos sistemas estruturais na construção civil brasileira de 1999 a 2007. Adaptado CBCA (2009).	28
Figura 3.5 – Corte em seção transversal de vergalhão com tratamento térmico superficial. (FILHO, 2004).	31
Figura 3.6 – Evolução da produção de vergalhões (em milhões de toneladas/ano) com a utilização do processo Tempcore. (SIMON et al., 1984).	32
Figura 3.7 – Curva de variação de temperatura da barra para diferentes posições de raio durante o processo de tratamento térmico superficial. (FILHO, 2004).	34
Figura 3.8 – Comparativo entre sistema Thermex e Tempcore – curvas de temperatura superficial. (TAMM, 2003).	37
Figura 3.9 - Perfil de Durezas em seção transversal de barra de aço submetida ao processo Tempcore para barra de 22 mm. (RODRIGUES et al., 1993).	40
Figura 3.10 - Perfil de temperaturas de revenimento em seção transversal de barra de aço submetida ao processo Tempcore para barra de 22 mm. (RODRIGUES et al., 1993).	41
Figura 3.11 – Perfis de dureza normalizado de barras CA50. Adaptado Filho (2004).	42
Figura 3.12 - Conceitos de análise de faixas de segurança na fabricação de aços para construção civil. (FILHO, 2004).	43
Figura 4.1 – Fluxograma simplificado do projeto de pesquisa.	45
Figura 4.2 – Fluxograma completo do projeto de pesquisa.	46
Figura 4.3 – Microscópio utilizado na caracterização das amostras.	49

Figura 4.4 – Lupa estereoscópica utilizada na caracterização das amostras.	49
Figura 4.5 – Perfis de microdureza Vickers avaliados.	50
Figura 4.6 – Equipamento de microdureza.	51
Figura 4.7 – Perfis perpendiculares de microdureza Vickers, barra de 8mm.....	51
Figura 4.8 – Detalhe da impressão deixada na amostra pelo ensaio de microdureza Vickers, aumento de 1000 vezes.	52
Figura 4.9 – Microscópio eletrônico de varredura.	53
Figura 4.10 – Usinagem do corpo de prova, torno Nardini-Ms 175E.	54
Figura 4.11 – Corpos de prova usinados.	54
Figura 4.12 – Ensaio de tração utilizando a máquina Mohr Federhaff Losenhausen (UIT).	55
Figura 4.13 – Detalhe do extensômetro eletrônico utilizados nos ensaios.	55
Figura 5.1 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	59
Figura 5.2 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 4, c) Região 5.	60
Figura 5.3 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	61
Figura 5.4 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 4, c) Região 5.	62
Figura 5.5 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	63
Figura 5.6 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	64
Figura 5.7 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	65
Figura 5.8 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	66
Figura 5.9 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	67
Figura 5.10 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	68
Figura 5.11 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.	69

Figura 5.12 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	70
Figura 5.13 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	71
Figura 5.14 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 4, c) Região 5.	72
Figura 5.15 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	73
Figura 5.16 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 4, c) Região 5.	74
Figura 5.17 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	75
Figura 5.18 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	76
Figura 5.19 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	77
Figura 5.20 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	78
Figura 5.21 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	79
Figura 5.22 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	80
Figura 5.23 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	81
Figura 5.24 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.	82
Figura 5.25 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	83
Figura 5.26 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 4, c) Região 5.	84
Figura 5.27 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	85
Figura 5.28 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 4, c) Região 5.	86

Figura 5.29 – MEV da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	87
Figura 5.30 – MEV da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	88
Figura 5.31 – MEV da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	89
Figura 5.32 – MEV da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	90
Figura 5.33 – MEV da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	91
Figura 5.34 – MEV da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	92
Figura 5.35 – MEV da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	93
Figura 5.36 – MEV da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	94
Figura 5.37 – MEV da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	95
Figura 5.38 – MEV da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	96
Figura 5.39 – MEV da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	97
Figura 5.40 – MEV da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	98
Figura 5.41 – MEV da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	99
Figura 5.42 – MEV da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.....	100
Figura 5.43 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.....	103
Figura 5.44 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.....	103
Figura 5.45 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.	104
Figura 5.46 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 6,3 mm.	104

Figura 5.47 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.....	105
Figura 5.48 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.....	105
Figura 5.49 – Impressões perpendiculares da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.....	106
Figura 5.50 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.	106
Figura 5.51 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.....	107
Figura 5.52 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.....	107
Figura 5.53 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 10,0 mm.	108
Figura 5.54 – Impressões perpendiculares da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.....	108
Figura 5.55 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.....	109
Figura 5.56 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.....	109
Figura 5.57 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 12,5 mm.	110
Figura 5.58 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.....	110
Figura 5.59 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.....	111
Figura 5.60 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.....	111
Figura 5.61 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.....	112
Figura 5.62 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.....	112
Figura 5.63 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.....	113
Figura 5.64 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.....	113
Figura 5.65 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.....	114
Figura 5.66 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.....	114
Figura 5.67 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.....	115
Figura 5.68 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 25,4 mm.	115
Figura 5.69 – Gráfico da microdureza Vickers para todas as barras.	116
Figura 5.70 – Gráfico da microdureza Vickers para todas as barras.	116

Figura 5.71 – Curva tensão-deformação do vergalhão de 20 mm de diâmetro.	118
Figura 5.72 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 17 mm de diâmetro.	118
Figura 5.73 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 16 mm de diâmetro.	119
Figura 5.74 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 14 mm de diâmetro.	119
Figura 5.75 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 12 mm de diâmetro.	120
Figura 5.76 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 10 mm de diâmetro.	120
Figura 5.77 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 8 mm de diâmetro.	121
Figura 5.78 – Curvas tensão-deformação de camadas do vergalhão de 20 mm usinados com vários diâmetros.	121
Figura 5.79 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm de diâmetro.....	122
Figura 5.80 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 17 mm de diâmetro.	122
Figura 5.81 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 16 mm de diâmetro.	123
Figura 5.82 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 14 mm de diâmetro.	123
Figura 5.83 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 12 mm de diâmetro.	124
Figura 5.84 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 10 mm de diâmetro.	124
Figura 5.85 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 8 mm de diâmetro.	125
Figura 5.86 – Curvas de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm completo e usinado com 17 mm de diâmetro.	125
Figura 5.87 – Curva de escoamento prevista para a camada retirada do vergalhão de 20 mm.	126

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

Os aços laminados longos comumente chamados de vergalhões são produtos utilizados em larga escala na construção civil brasileira e mundial, proporcionando resistência ao concreto e sendo comumente utilizados como armadura de pilares, vigas e lajes de concreto, conferindo a estes, resistência à tração, compressão, flexão, fissuração, dentre outros. Eles são muito utilizados, por exemplo, para construção de casas, conjuntos habitacionais, edifícios comerciais e residenciais, supermercados, shoppings, galpões, pré-fabricados, viadutos, pontes, barragens, obras de saneamento, dentre outros.

Segundo dados do CBCA (2009), o uso de estruturas de concreto armado no Brasil corresponde a aproximadamente 83% das soluções estruturais adotadas na construção civil, o que evidencia a importância do vergalhão no contexto do desenvolvimento do país.

Somente no ano de 2004 as usinas siderúrgicas brasileiras produziram aproximadamente trinta e três milhões de toneladas de aço laminado, deste total a construção civil é o segundo maior consumidor de produtos siderúrgicos laminados, sendo responsável por aproximadamente 13,9% do consumo aparente destes e os vergalhões aparecem em uma posição de absoluto destaque, representando um consumo de cerca de três milhões de toneladas somente para o mercado interno brasileiro.

O consumo cada vez mais crescente dos vergalhões na construção civil é um ótimo indicativo do desenvolvimento econômico que o país vem passando nos últimos anos, como Brasil enfrenta um déficit habitacional muito grande e também um déficit histórico de investimentos em infra-estrutura, a construção civil se aproveita do bom momento da economia mundial para crescer em ritmo empolgante devido ao crescimento exposto acima e as demais demandas reprimidas do setor.

Abordando agora o processo industrial de fabricação do vergalhão, uma das formas mais usuais de obtenção que gera um produto com elevada resistência mecânica e baixo custo de produção é chamado industrialmente de Thermex e Tempcore.

Estes processos consistem em produzir um aço que possui a peculiaridade de ser auto-revenido durante o processo de resfriamento, em função da alta diferença de temperatura entre o núcleo, mais quente e a borda mais fria.

Além disso, estes processos promovem um aumento de resistência mecânica nos aços através de tratamento térmico com água após processos de laminação a quente e se consolidaram como uma das alternativas mais práticas e rentáveis utilizadas. (FILHO, 2004).

Por esta razão o aço resultante deste processo de fabricação passa a ser constituído por camadas concêntricas com propriedades mecânicas diferentes entre si.

Visando contribuir para a determinação do comportamento mecânico dos vergalhões de aço auto-revenido, este trabalho se propõe a avaliar as características mecânicas destes aços a fim de evidenciar os diferentes comportamentos das camadas concêntricas no compósito vergalhão.

Capítulo 2

2 OBJETIVOS

Avaliar experimentalmente o comportamento mecânico de diferentes regiões do vergalhão auto-revenido. Sendo, os objetivos específicos deste trabalho:

- Avaliar a micro-estrutura da seção transversal de várias bitolas de vergalhões, obtidos pelo processo de auto-revenimento.
- Avaliar as propriedades mecânicas locais das diversas regiões da seção transversal dos vergalhões de aço auto-revenido, através do ensaio de microdureza.
- Avaliar o comportamento mecânico experimental, sob tração, de vergalhões de aço auto-revenido, tanto para sua seção completa quanto para seções reduzidas através de usinagem.

Capítulo 3

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os tópicos relevantes do levantamento bibliográfico realizado. Inicialmente é apresentado tópico sobre propriedades de materiais compostos.

E em um segundo momento, é abordado o auto-revenimento de vergalhões e seu uso na construção civil.

3.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS COMPOSTOS

Segundo Ferrante (1996), um material composto é formado por dois ou mais componentes, com identidade química e forma diferentes, que se conservam diferentes entre si após o processamento e que são separados por uma interface mais ou menos definida. A adesão entre esses componentes é tal que as cargas são transferidas para os elementos de maior resistência mecânica, geralmente dispersas no componente que atua como matriz.

Ainda segundo Ferrante (1996), basicamente os materiais compósitos se dividem em três grupos: fibrosos, laminados e particulados.

Os fibrosos possuem fibras contínuas ou descontínuas alojadas em uma matriz, como exemplos podem ser citados: madeiras, polímeros reforçados com fibras de vidro, etc.

Já os laminados possuem camadas alternadas de materiais diferentes como metais, tecidos, vidros, etc.

Os compósitos particulados são os materiais utilizados como reforço, são equiaxiais, podendo possuir forma esférica e apresentam-se com matriz metálica ou polimérica.

Sabariz et. al (2006) concordam e dizem que de acordo com as características do reforço, os materiais compósitos podem ser classificados em compósitos particulados com orientação preferencial ou aleatória, e compósitos fibrosos podendo ser constituídos por uma única camada ou por várias camadas de fibras. Estes últimos são chamados de laminados quando as camadas são constituídas pelo mesmo material.

Segundo Passos (2005), até o presente, quase todo o desenvolvimento de materiais compósitos teve como objetivo as aplicações estruturais. Devido à sua complexa microestrutura, estes materiais são de difícil caracterização. Na avaliação das propriedades mecânicas deve-se levar em conta a complexidade da interação mecânica entre o reforço e a matriz. Em relação às propriedades mecânicas, as de maior interesse são: resistência à tração, compressão, flexão, impacto, fadiga, e abrasão, além do módulo de elasticidade em tração e flexão, dureza e tenacidade à fratura.

Segundo Sabariz et. al (2006), a fase dispersa ou reforço, dos materiais compostos, exerce uma função estrutural e é a responsável pela resistência do compósito. A geometria do reforço é um dos principais parâmetros a ser considerado, visto que as propriedades mecânicas destes materiais dependem da forma e das dimensões do reforço.

Segundo Ferrante (1996), com relação às propriedades mecânicas do compósito, é possível inferir esta propriedade se forem conhecidas as propriedades mecânicas das fibras e da matriz, aplicando-se a regra das misturas.

3.1.1 Regra das Misturas

Segundo Callister (2006), é considerado um compósito qualquer material multifásico que exibe uma porção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades. Segundo este princípio da ação combinada, melhores combinações de propriedades são criadas através de uma combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos.

Ainda segundo ele, para o material ser um compósito, as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e devem estar separadas por uma interface distinta.

Segundo Ferrante (1996), se for assegurada uma perfeita aderência fibra-matriz, sob a ação de uma tensão, a deformação das fibras será idêntica a deformação da matriz:

$$\epsilon_c = \epsilon_f = \epsilon_m \quad (1)$$

onde c, f e m indicam respectivamente compósito, fibras e matriz.

A regra das misturas para o módulo de elasticidade longitudinal do compósito, paralelo à direção das fibras, pode ser descrita da seguinte maneira:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2)$$

onde;

E = módulo de elasticidade longitudinal,

V = fração volumétrica,

c, f e m indicam respectivamente compósito, fibras e matriz.

Ainda segundo a regra das misturas, admitindo-se que a deformação em cada volume que compõe o material é a mesma, a tensão média de fluxo no material, considerando apenas dois volumes parciais, seria dada pela equação:

$$\sigma_{med} = V_1 \sigma_1 + V_2 \sigma_2 \quad (3)$$

onde, σ e v indicam, respectivamente, a tensão de fluxo e a fração volumétrica. SOUZA (1982).

Porém, a regra das misturas não é totalmente perfeita, ela não considera a interface entre as fases nos comportamento do material.

Segundo Ferrante (1996), a heterogeneidade do compósito faz com que o trabalho de fratura, perpendicular ao plano da trinca, para tensões σ_x não seja dado pela regra das misturas, isto é:

$$G_X \neq V_f G_f + V_m G_m \quad (4)$$

onde;

G = trabalho de fratura,

V = fração volumétrica,

f e m indicam respectivamente fibras e matriz.

Neste caso, fibras e matriz interagem de formas diferentes, ora aumentando ora diminuindo a energia global de fratura. Dependendo se as fibras do compósito são contínuas ou descontínuas, dois comportamentos diferentes manifestam-se. Para o primeiro caso, o trabalho de fratura é executado pela deformação da fibra e escorregamento desta na matriz. Já para o caso das fibras descontínuas, a energia dissipa-se principalmente no processo de arraste e destacamento das fibras. (FERRANTE, 1996).

3.2 VERGALHÕES DE AÇO AUTO-REVENIDO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Hoje em dia todo o aço na forma de vergalhão destinado à construção civil brasileira é produzido pelo processo denominado auto-revenimento, são vários os motivos para o sucesso de tal processo, conforme será abordado neste texto. Abaixo serão apresentadas algumas considerações sobre o uso do vergalhão na construção civil brasileira.

3.2.1 Uso do Vergalhão de Aço Auto – Revenido na Construção Civil

O aço é amplamente utilizado no Brasil e segundo IBS (2008), os maiores consumidores deste aço são os setores: automotivo, construção civil, embalagens e recipientes, fundição, bens de capital, máquinas e equipamentos, utilidades domésticas e comerciais, dentre outros. Devido a isso, a produção de aço é considerada um importante indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país.

Os aços laminados se dividem em planos (chapas e tiras) e longos (perfilados e trefilados). Na construção civil brasileira os aços laminados longos comumente chamados de vergalhões são os responsáveis por boa parte do consumo do aço neste setor, sendo comumente utilizados como armadura de pilares, vigas e lajes de concreto, conferindo a estes, resistência à tração, compressão, flexão, fissuração, dentre outros.

Já os aços laminados longos na forma de perfilados são comumente utilizados em obras industriais, na fabricação de estruturas industrializadas e em obras de infra-estrutura como em pontes, linhas ferroviárias, torres de transmissão de energia e de telefonia, dentre outros.

A figura 3.1 mostra a evolução da produção brasileira de aço bruto, usado como insumo para a produção dos laminados e semi-acabados. De acordo com este gráfico, observa-se que a produção brasileira segue uma tendência de aumento, apesar de algumas quedas eventuais. Segundo Carvalho (2008), através do cálculo da taxa geométrica de crescimento, tem-se

que a produção de aço bruto obteve um crescimento de 2,95% a.a. no período de 1980 a 2006.

Este aumento foi principalmente liderado pelo aumento da demanda tanto no mercado interno, quanto no mercado externo e pela elevação da intensidade dos investimentos e expansões no período pós-privatização, iniciado em 1994. Em virtude do crescimento nos investimentos, as empresas puderam modernizar seus parques industriais, aumentando a capacidade produtiva e também reduzindo custos, tornando a indústria nacional do aço mais competitiva.

A demanda nacional e internacional estimula a expansão do setor siderúrgico, que passa a oferecer produtos com grande padrão de qualidade e em quantidade suficiente para abastecer o mercado nacional e ainda exportar.

Outro dado relevante foi que no ano de 2007 o Brasil bateu o recorde histórico de 33,8 milhões de toneladas de aço bruto produzido, tendência de novo recorde de produção que se manteria em 2008 e 2009 se o mercado mundial do aço não tivesse se retraído devido a uma crise na economia americana e mundial, o que afetou diretamente a produção nacional de aço.

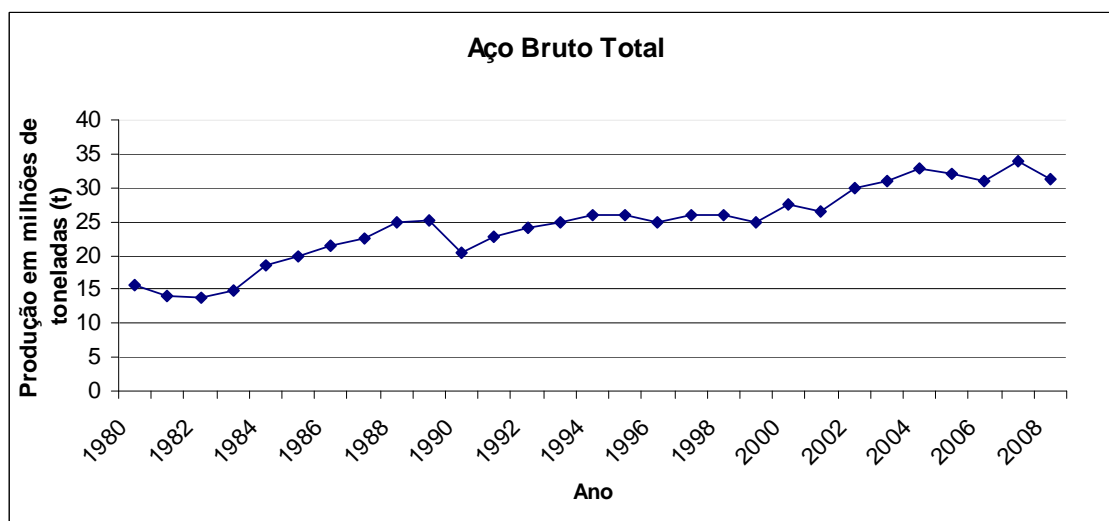


Figura 3.1 - Evolução da Produção Brasileira de Aço Bruto no período de 1980 a 2008. Adaptado Abracave (1980 a 1997) e IBS (1998 a 2009).

Segundo IBS (2009), quase 96% da produção de aço bruto e 92% dos laminados e semi-acabados no Brasil se concentra na região sudeste e que Minas Gerais é o maior estado brasileiro produtor de aço.

Observa-se na figura 3.2 que a produção de aços laminados planos é maior que a de laminados longos no período compreendido entre 1980 e 2006 e que, suas respectivas taxas de crescimento geométrico são de 2,81% a.a. e de 1,83% a.a.. Com relação à comercialização de tais produtos, Carvalho (2008), destaca uma tendência de permanência dos preços dos produtos laminados planos superiores aos dos longos, devido ao maior valor agregado do primeiro, sendo isto um dos motivos da maior produção no Brasil.

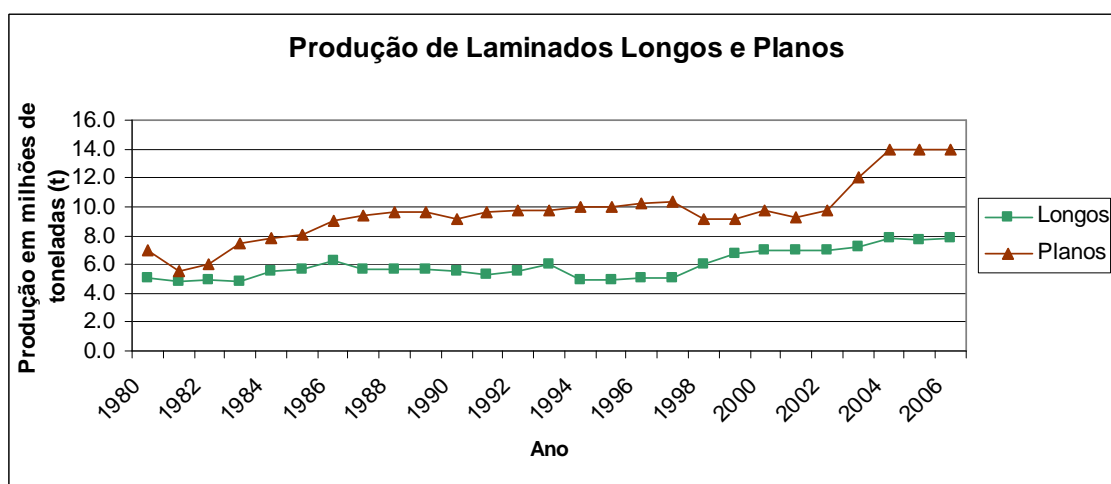


Figura 3.2 – Evolução da Produção Brasileira de Aços Laminados Longos e Planos no período de 1980 a 2006. Adaptado Abracave (1980 a 1997) e IBS (1998 a 2006).

Já o setor de construção civil, segundo maior consumidor de produtos siderúrgicos laminados, é caracterizado como um setor não exportador, responsável por 13,9% do consumo aparente destes, dos quais 60% são produtos longos, destacando-se os vergalhões para concreto armado. Na figura 3.3 pode ser acompanhada a produção de vergalhões no Brasil de 2001 a 2006.

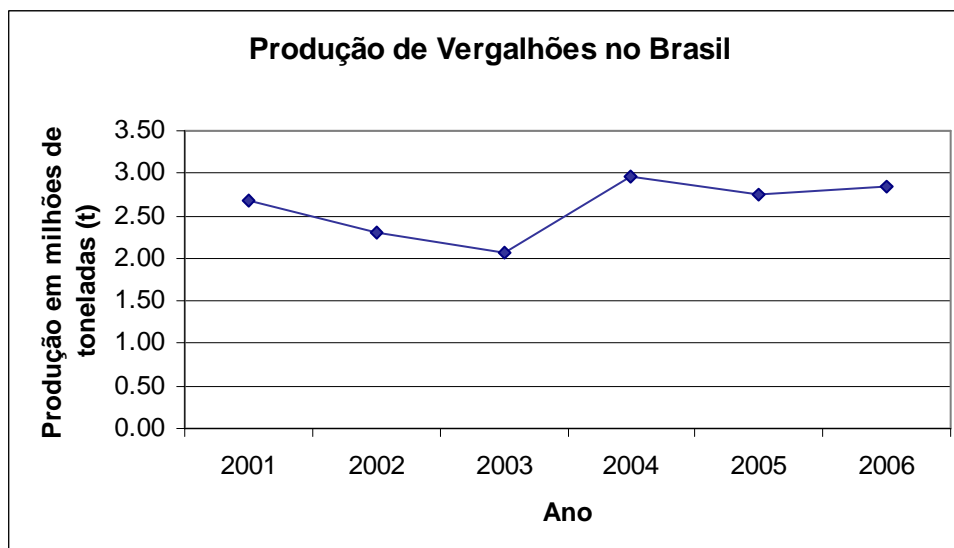


Figura 3.3 – Produção anual de vergalhões para construção civil de 2001 a 2006. Adaptado IBGE (2009).

Já na figura 3.4, podemos ver a participação do sistema estrutural concreto armado, o maior consumidor de aço da cadeia da construção civil. O uso das estruturas de concreto armado é muito difundido no Brasil o que explica o grande consumo e a importância dos vergalhões para a engenharia brasileira.

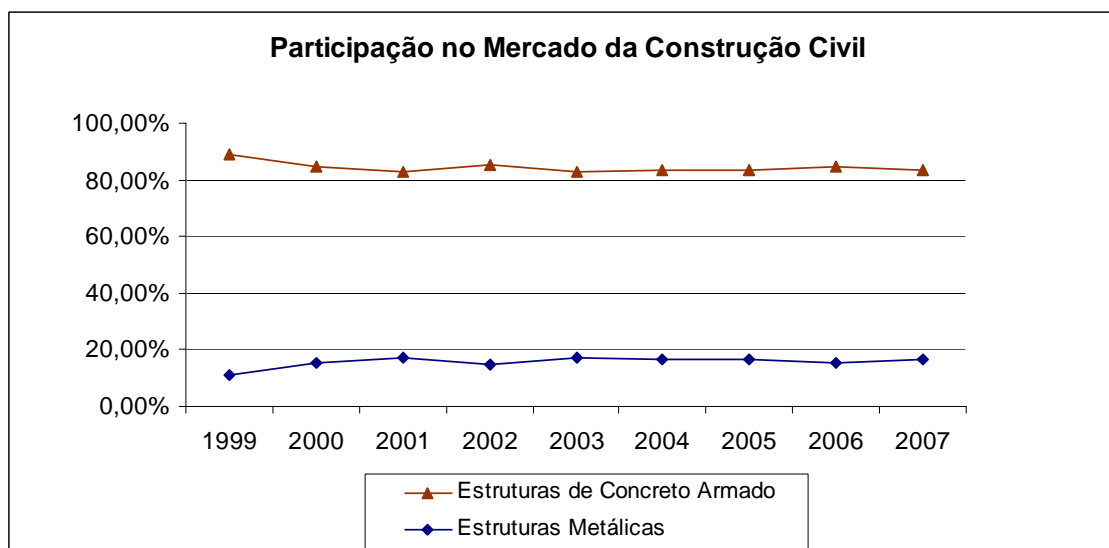


Figura 3.4 – Participação dos sistemas estruturais na construção civil brasileira de 1999 a 2007. Adaptado CBCA (2009).

3.2.2 Auto-revenimento Aplicado aos Vergalhões para Construção Civil

Segundo Simon et al. (1984), quando se refere ao processo de fabricação de barras de aço destinadas à construção civil e à indústria de uma forma geral, possuindo alto limite de escoamento e boa ductilidade, existem dois métodos as quais se podem fabricá-las.

No primeiro método, o material, em forma de tarugos (também denominados “billets”), é laminado a quente, com subsequente resfriamento ao ar até a temperatura ambiente. Neste método, é comum o aço possuir um teor de carbono elevado (0,4%), o que gera prejuízo em suas características de soldabilidade. Utiliza-se então adições variadas de elementos de liga (Nióbio e Vanádio) com o objetivo de reduzir o teor de carbono e melhorar a capacidade de soldagem das barras. Porém, isto implica em um aumento de custos do material.

No segundo método as barras são encruadas por trabalho a frio após o processo de laminação. A resistência ao escoamento é aprimorada por acréscimos na quantidade de deformação no aço, possibilitando a produção de barras com elevada resistência e excelente soldabilidade, porém, também possuem um acréscimo nos custos devido a este processo. (FILHO, 2004).

Segundo Simon et al. (1984), de modo a evitar os inconvenientes gerados pelos métodos alternativos, a partir de década de 70, começaram a surgir os primeiros projetos de sistemas de tratamentos térmicos de vergalhões. Este método inovador inseriu no campo da siderurgia uma alternativa altamente eficiente e rentável se comparado com os métodos até então existentes.

Simon et al. (1984) menciona que posterior aos primeiros testes experimentais realizados em laboratório no Centre de Recherches Metallurgiques (C.R.M.) em Liege, Bélgica, surgem em 1975, as primeiras instalações industriais.

Estas instalações referem-se ao sistema denominado Tempcore, que foi um dos primeiros a ser desenvolvido com o conceito de resfriamento de barras com água. O nome dado foi escolhido para ilustrar o fato de que a camada martensítica é revenida (em inglês “TEMPered”) pelo calor proveniente do

centro (em inglês “CORE”) da barra após estágio de têmpera superficial. A primeira instalação foi na Usina Siderúrgica de Schiffange em 1975, e posteriormente diversas siderúrgicas na Bélgica, Europa, estendendo-se a diversas partes do mundo. (SIMON et al., 1984).

Segundo Economopoulos et al. (1975), basicamente o processo Tempcore consiste em um tratamento térmico especial das barras de aço, realizado após o último passe de laminação, o qual se divide em três etapas básicas.

O vergalhão ao deixar a última cadeia de laminação passa através de uma série de canhões com sistema de resfriamento em água, onde são resfriadas bruscamente pelo contato com um fluxo de água dirigido no mesmo sentido da barra, passando a temperatura superficial da barra de cerca de 1000 °C para valores próximos de 300 °C. (RODRIGUES et al., 1993).

Neste instante ocorre uma têmpera da camada superficial da barra de aço transformando-se em martensita, enquanto o centro permanece austenítico. A quantidade de martensita transformada cresce do centro para a extremidade da barra. (SIMON et al., 1984).

Ainda segundo Simon et al. (1984), quando o vergalhão deixa o sistema de resfriamento, surge um gradiente de temperaturas ao longo da seção transversal da barra e o calor proveniente do seu centro aquece a camada de martensita, ocorrendo um auto-revenimento. Por último, no leito de estocagem, o centro da barra, austenítico, resfria-se lentamente até a temperatura ambiente, transformando-se em ferrita e perlita.

Na figura 3.5 pode-se visualizar as regiões afetadas através da transferência de calor citada acima.



Figura 3.5 – Corte em seção transversal de vergalhão com tratamento térmico superficial. (FILHO, 2004).

Considerando três estágios de fabricação, têmpera da camada superficial, auto-revenimento da martensita e a transformação do centro do vergalhão, observa-se como principais parâmetros de controle do processo a taxa de vazão de água durante o resfriamento, o tempo necessário para realizar a têmpera e a temperatura de revenimento das barras no leito de estocagem. (SIMON et al., 1984).

Ainda segundo ele, existe uma interdependência entre estes parâmetros, sendo a temperatura de revenimento a variável de controle do processo, uma vez que terá influência direta nas propriedades mecânicas do aço.

Nos estudos de Economopoulos et al. (1975) e Simon et al. (1984) esta interdependência é comprovada, onde é apresentado o aumento da resistência mecânica com o decréscimo na temperatura de revenimento, ou com o aumento da taxa de vazão de água durante o resfriamento das barras de aço, cujas composições químicas podem assumir padrões diferentes.

Ao apresentar a figura 3.6 podemos perceber a rápida evolução de utilização do sistema de tratamento térmico de barras desde sua implantação na década de 70.

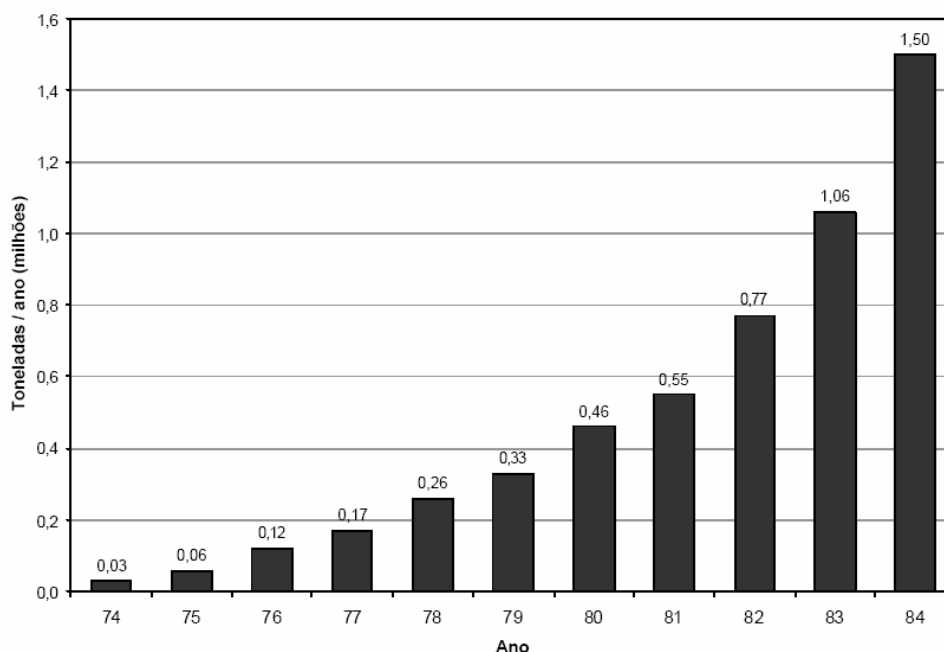


Figura 3.6 – Evolução da produção de vergalhões (em milhões de toneladas/ano) com a utilização do processo Tempcore. (SIMON et al., 1984).

Segundo Filho (2004), nos anos seguintes (entre 1980 e 1990), os sistemas de tratamentos térmicos se tornaram uma solução popular e viável para fabricação de barras nervuradas. Tendo em vista a vantagem referente ao custo de produção comparado aos processos de fabricação através da adição de elementos de liga ou deformação plástica a frio, mais de cinquenta companhias em todo mundo adotaram esta técnica inovadora que surgia no mercado.

O desenvolvimento e popularização da tecnologia de produção de vergalhões pelo processo de auto-revenimento possibilitou um aumento gradual na produção mundial saltando da produção de trinta mil toneladas no ano 1974 em todo o mundo, a três milhões de toneladas somente no Brasil em 2004, segundo IBS (2009).

3.2.3 Principais Sistemas de Tratamento Térmico de Auto-revenimento

Segundo Filho (2004), os sistemas de resfriamento controlado em linhas de laminação a quente são processos de tratamento térmico superficial de barras denominados sistemas QTB (Quenching and Tempering Bars).

Dentre os principais sistemas de tratamento térmico para a produção de vergalhões em linha com leito de resfriamento, destacam-se o Tempcore e o Thermex. Estes sistemas, por sua vez, são semelhantes no conceito e nas instalações usadas, diferindo em detalhes construtivos e de processos, mas, no entanto, com idênticos fenômenos associados.

Ainda segundo Filho (2004), os tubos de resfriamento são construídos de forma modular ou fixa (para o caso de Tempcore ou Thermex respectivamente), variando suas características e dimensões em função da faixa de bitolas de vergalhão laminado, da velocidade de saída do laminador, da temperatura das barras laminadas, vazão de água disposta, assim como outros fatores.

Conforme a faixa de bitolas e as respectivas velocidades de saída do laminador, são usados módulos de tubos no Tempcore (ou canhões no caso do sistema Thermex). Ambos apresentam o dimensionamento adequado para promover uma velocidade de resfriamento eficiente de modo a atribuir ao material às características desejadas nas barras recém laminadas.

3.2.3.1 Sistema Tempcore

Segundo Filho (2004), o processo de tratamento térmico em linha tempcore é realizado no interior de tubos adequadamente projetados, onde a barra, após o último passe de laminação entra em contato com água sob pressão, sofrendo ali um rápido e intenso resfriamento superficial, a fim de obter uma camada superficial endurecida.

Ainda segundo ele, o núcleo da barra, que permanece quente, reaquece esta camada endurecida e promove o seu revenimento para diminuir a sua

dureza. Então, o vergalhão obtém uma camada superficial com alto limite de escoamento proveniente da martensita revenida e um núcleo com alta ductilidade devido à microestrutura ferrita-perlita fina.

Nessas condições, a estrutura de uma camada superficial da barra sofre transformação de austenita para martensita. Simultaneamente com o resfriamento dessa camada superficial da barra, seu núcleo apresenta um resfriamento mais lento, mantendo sua estrutura austenítica, durante o tempo em que a região superficial está sendo resfriada rapidamente no interior dos tubos com água, isto é, até o final da fase 1 do tratamento, conforme verificado na figura 3.7.

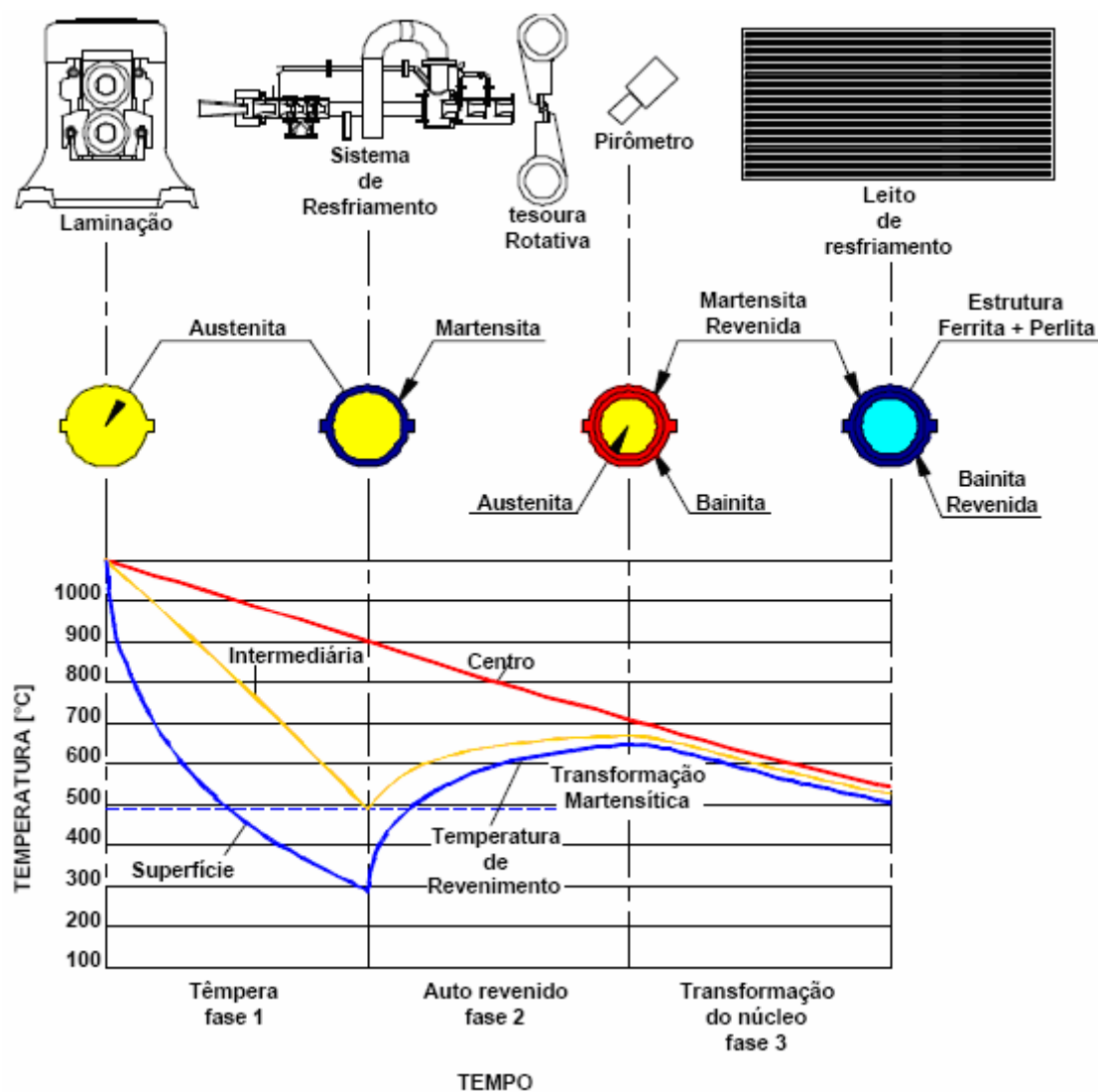


Figura 3.7 – Curva de variação de temperatura da barra para diferentes posições de raio durante o processo de tratamento térmico superficial. (FILHO, 2004).

Quando o material deixa de ser resfriado nos tubos com água, a curva de resfriamento superficial se interrompe e essa camada da barra passa a ser reaquecida pelo calor armazenado ainda no núcleo. Essa parte correspondente à fase 2 do tratamento, até o ponto em que toda a seção fica praticamente com a mesma temperatura. (FILHO, 2004).

Desse ponto em diante, toda a seção da barra segue se resfriando ao ar, mantendo a mesma taxa de resfriamento, seguindo a curva de variação de temperatura que corresponde a terceira e última fase do tratamento.

3.2.3.2 Sistema Thermex

Segundo Filho (2004), o sistema Thermex por sua vez apresenta uma facilidade de operação e praticamente não requer trabalho operacional durante seu funcionamento.

Neste sistema são utilizados tubos, também denominados canhões, onde a água troca calor com as barras tendo seu fluxo no mesmo sentido de laminação. Este sistema de troca térmica garante, por sua vez, que a barra tenha um resfriamento homogêneo em sua superfície, para garantir suas propriedades mecânicas ao final do processo. (ALONSO, 2006).

Segundo Alonso (2006), o sistema Thermex apresenta um direcionamento mais estável da barra através dos tubos dos canhões e uma redução da temperatura do leito de resfriamento, melhorando as condições de operação permitindo assim uma menor quantidade de água em relação aos demais sistemas.

Ainda segundo ele, o mesmo disponibiliza conjunto de bombeamento de retorno, recalque e reservatório de água reduzidos em relação aos demais sistemas, com facilidade de trocas para produção com sistemas com e sem a utilização de água.

Segundo Filho (2004), o sistema Thermex de resfriamento apresenta um dispositivo de controle baseado na medição de pressão e temperaturas. Além destes, são utilizados outros controladores, previamente dispostos nas demais

etapas do processo de laminação. Os principais itens e parâmetros controlados relevantes à garantia do processo estão descritos a seguir:

- Temperatura da barra no processo de laminação;
- Temperatura de equalização da barra no leito de resfriamento;
- Pressão de água da linha de recalque do sistema;
- Temperatura da água de entrada;
- Temperatura da água de retorno;
- Velocidade de laminação;
- Controle de níveis dos reservatórios de água;
- Controle da torre de resfriamento de água do sistema.

As medições de temperaturas da água de entrada e retorno do sistema fornecem as informações necessárias para o funcionamento da torre de resfriamento.

Do mesmo modo, a temperatura das barras durante o processo de laminação serve como parâmetro para controle e regulagem do forno de reaquecimento.

De acordo com Economopoulos et al. (1975) e Simon et al. (1984), o principal fator que deve ser controlado no processo de resfriamento de barras é a temperatura de equalização das barras na chegada do leito de resfriamento. Com o controle deste parâmetro, pode-se garantir a funcionalidade do sistema, tendo em vista que a mesma é função de todos os outros itens de controle e parâmetros de processo mencionados.

Tamm (2003) apresenta um gráfico comparativo entre as curvas de temperatura superficial das barras para os sistemas Thermex e Tempcore, conforme apresentado na figura 3.8. Através da mesma, pode-se verificar que a variação existente entre os dois sistemas é basicamente referente à velocidade de resfriamento superficial, o qual é mais intenso no sistema Thermex.

Ainda segundo ele, o mesmo é dado em função deste projeto objetivar operação em alta pressão em contraposição ao sistema Tempcore que visa operação a partir dos níveis de vazão de injeção de água, garantindo uma maior transferência de calor no interior dos tubos de refrigeração.

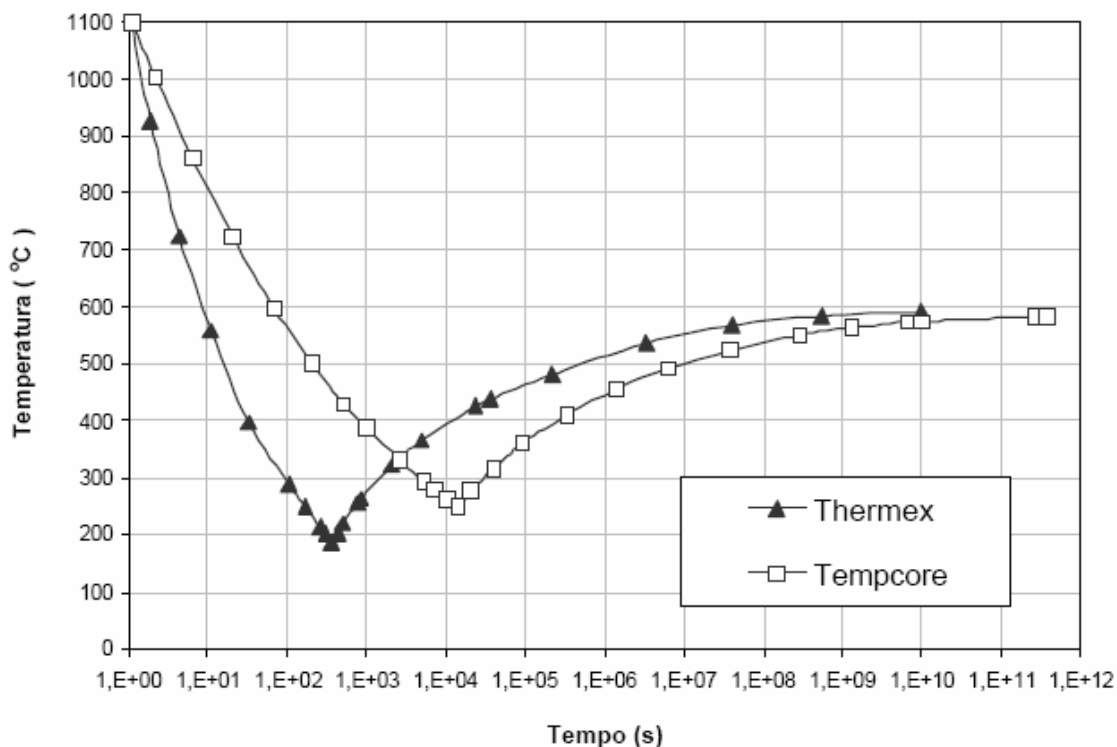


Figura 3.8 – Comparativo entre sistema Thermex e Tempcore – curvas de temperatura superficial. (TAMM, 2003).

Economopoulos et al. (1975) e Simon et al. (1984) verificaram a existência da interdependência entre os parâmetros, vazão de água durante o resfriamento, tempo necessário para realizar a têmpera e temperatura de revenimento das barras no leito, sendo que a temperatura de revenimento é a variável de controle de processo, uma vez que esta tem uma influência direta nas propriedades mecânicas do aço. Os mesmos autores apresentam dados referentes ao aumento da resistência mecânica com o decréscimo da temperatura de revenimento.

3.2.4 Características Mecânicas dos Vergalhões Auto-Revenidos

Segundo Bauer (1994), em relação às barras utilizadas na construção civil, de acordo com o processo de fabricação, podemos dividir em dois grupos: classe A, que são as barras laminadas a quente, com escoamento definido caracterizado por patamar no diagrama tensão-deformação e os classe B, que

são as barras encruadas por deformação a frio, com tensão de escoamento convencionalizada em uma deformação permanente de 0,2%, objeto do presente estudo.

Segundo os estudos de Economopoulos et al. (1975), vergalhões submetidos ao processo de resfriamento denominado Tempcore possuíam grandes incrementos de resistência devido a este processo se comparado com os demais. Naquela época, ele mostrou em seus estudos que a tensão de escoamento destes vergalhões era da ordem de 500 MPa e o limite de resistência variava de 585 MPa a 660 MPa, considerando que os testes foram feitos com a seção completa do vergalhão. Além disso, os vergalhões possuíam boa ductilidade, uma propriedade mecânica primordial para sua utilização na construção civil.

3.2.4.1 Propriedades Mecânicas

Em seus estudos, Silva et al. (1994), na investigação das propriedades mecânicas de barras de aço fabricadas pelo processo Tempcore, chegou a resultados da ordem de 610 MPa para a tensão de escoamento e 750 MPa para a tensão máxima para barras de 10mm de diâmetro. Já para as barras de 12,5mm, seus estudos mostraram resultados da ordem de 570 MPa para a tensão de escoamento e 700 MPa para a tensão máxima.

Silva et al. (1994) ainda analisou o comportamento mecânico das barras de 20mm e 22,5mm de diâmetro chegando aos seguintes resultados respectivamente, 600 MPa e 605 MPa para a tensão de escoamento e 730 MPa e 740 MPa para a tensão máxima.

Ele analisou ainda o alongamento dos vergalhões chegando a valores da ordem de 13,1 a 16,5 (%).

Nikolaou (2005) também analisou as propriedades mecânicas de vergalhões fabricados pelo processo de resfriamento Tempcore, estudando diferentes variações na composição química do aço, chegou a valores de 570 MPa a 597 MPa para a tensão de escoamento e 665 MPa a 692 MPa para a tensão máxima, avaliando barras de 8 a 14mm de diâmetro.

Ainda em seus experimentos, Nikolaou (2005) chegou a valores de alongamento da ordem de 20 a 24%.

Riva et al. (2001) em seus experimentos também chegou a valores bem satisfatórios para as propriedades mecânicas dos vergalhões fabricados pelo processo Tempcore. Ele chegou a valores da ordem de 535 MPa para a tensão de escoamento e 635 MPa para a tensão máxima, avaliando barras de 16mm de diâmetro e 550 MPa para a tensão de escoamento e 650 MPa para a tensão máxima avaliando barras de 24mm de diâmetro.

Em relação ao mercado brasileiro, usinas siderúrgicas fabricantes de vergalhões como a Gerdau anunciam em suas especificações técnicas que seus vergalhões possuem, de forma geral, 500 MPa de tensão de escoamento e 540 MPa para a tensão máxima que as barras suportam, neste caso eles consideram apenas que a tensão máxima é 8% superior a tensão de escoamento. Outro dado informado pela empresa é que o alongamento esperado para os seus vergalhões é da ordem de 8%.

Já a Votorantim Siderúrgica divulga em seu manual técnico informações bem parecidas, que seus vergalhões possuem, de forma geral, 500 MPa de tensão de escoamento e 550 MPa para a tensão máxima que as barras suportam, é que o alongamento esperado para os seus vergalhões é da ordem de 8%.

Na prática, conforme demonstrado acima, encontramos valores bastante superiores aos informados pelos fabricantes, tanto em termos de resistência mecânica quanto para o alongamento. Os valores informados por eles são apenas uma referência mínima de valores que podem ser encontrados.

3.2.4.2 Relação Dureza – Temperatura de Revenimento

Rodrigues et al. (1993) em seus experimentos traçou o perfil de durezas em secção transversal de vergalhões de aço fabricados pelo processo Tempcore, ele utilizou neste experimento uma barra de 22 mm de diâmetro e o resultado pode ser visto na figura 3.9.

A partir dos valores médios de microdureza Vickers calculados para diversas secções transversais, sujeitas às diferentes temperaturas de revenimento, foi utilizado o método dos mínimos quadrados, onde se obteve a curva de ajuste para os dados mostrado a seguir.

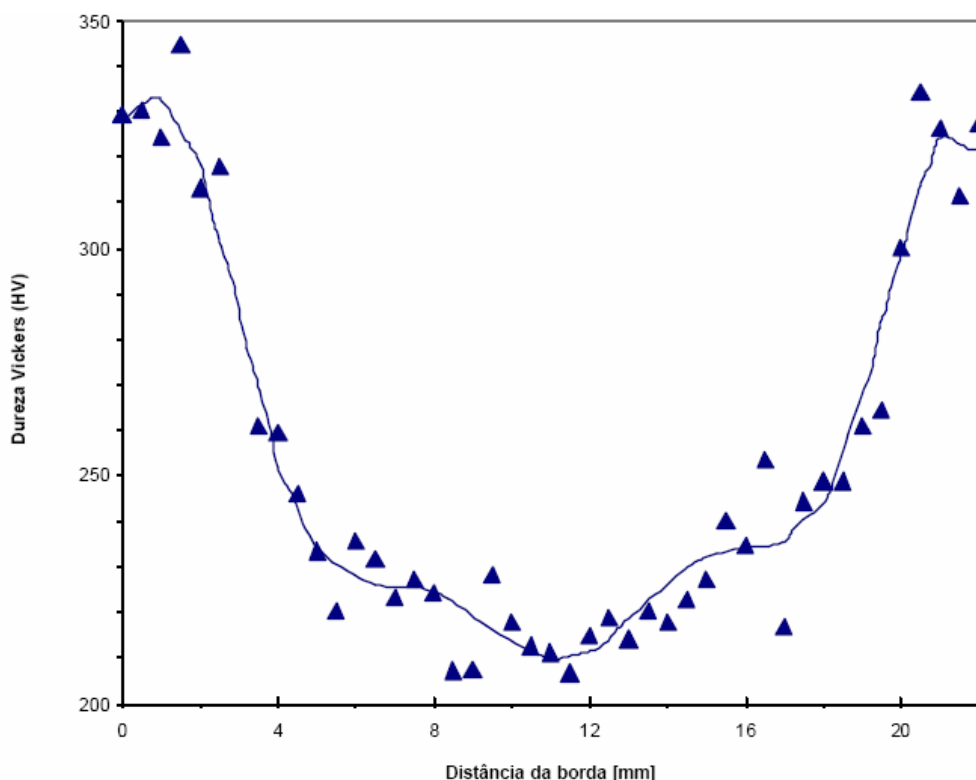


Figura 3.9 - Perfil de Durezas em seção transversal de barra de aço submetida ao processo Tempcore para barra de 22 mm. (RODRIGUES et al.,1993).

Rodrigues et al. (1993) ressaltam ainda a importância de se conhecer a temperatura de revenimento, pois é uma importante variável de controle no processo de fabricação e obtenção de resistência para os vergalhões auto-revenidos.

Simon et al. (1984) comenta que a dureza do aço submetido ao processo Tempcore é uma função da temperatura de revenimento, assim conhecer a distribuição destas temperaturas ao longo da seção transversal da barra, durante o processamento, garante uma melhor previsão para possíveis combinações entre as propriedades mecânicas finais do aço e os parâmetros do processo Tempcore, necessários à fabricação, segundo Rodrigues et al. (1993).

Para determinação da temperatura de revenimento do material, foram realizados ensaios em barras da mesma bitola, submetendo-as ao recozimento, com tratamento térmico de têmpera e posterior revenimento a diferentes temperaturas, como pode ser visto na figura 3.10.

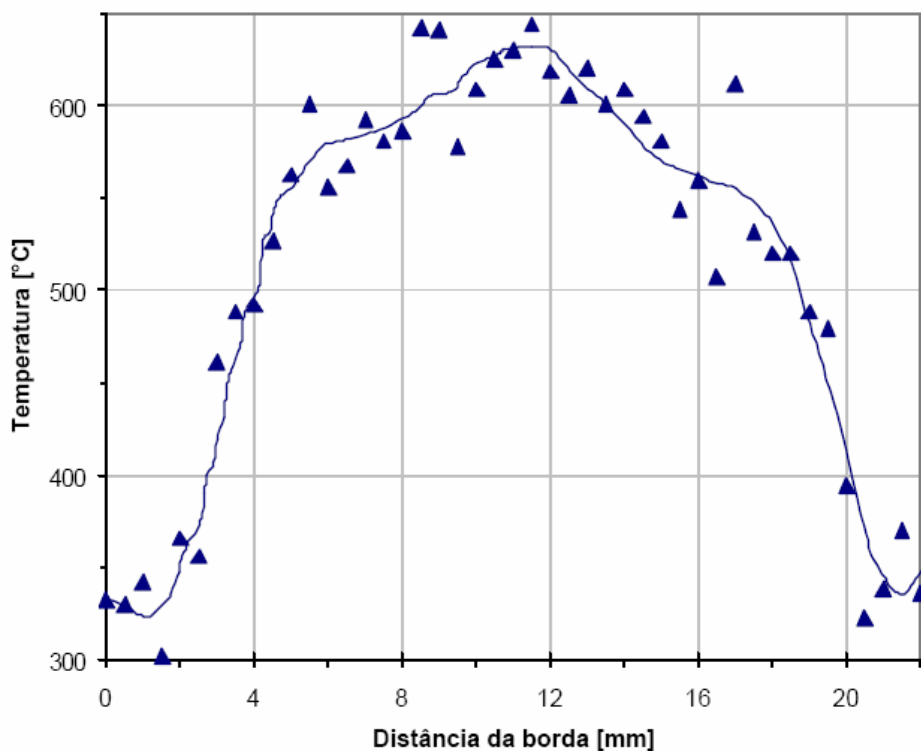


Figura 3.10 - Perfil de temperaturas de revenimento em seção transversal de barra de aço submetida ao processo Tempcore para barra de 22 mm. (RODRIGUES et al., 1993).

A figura 3.11 apresenta os resultados dos perfis de microdureza Vickers com comparativo entre bitolas de CA50, obtidos por Filho (2004) e Nikolau et al. (2004), para amostras de barras de 8 mm a 25 mm. Verifica-se, que de uma forma geral, todas as amostras apresentam o mesmo perfil de dureza normalizado.

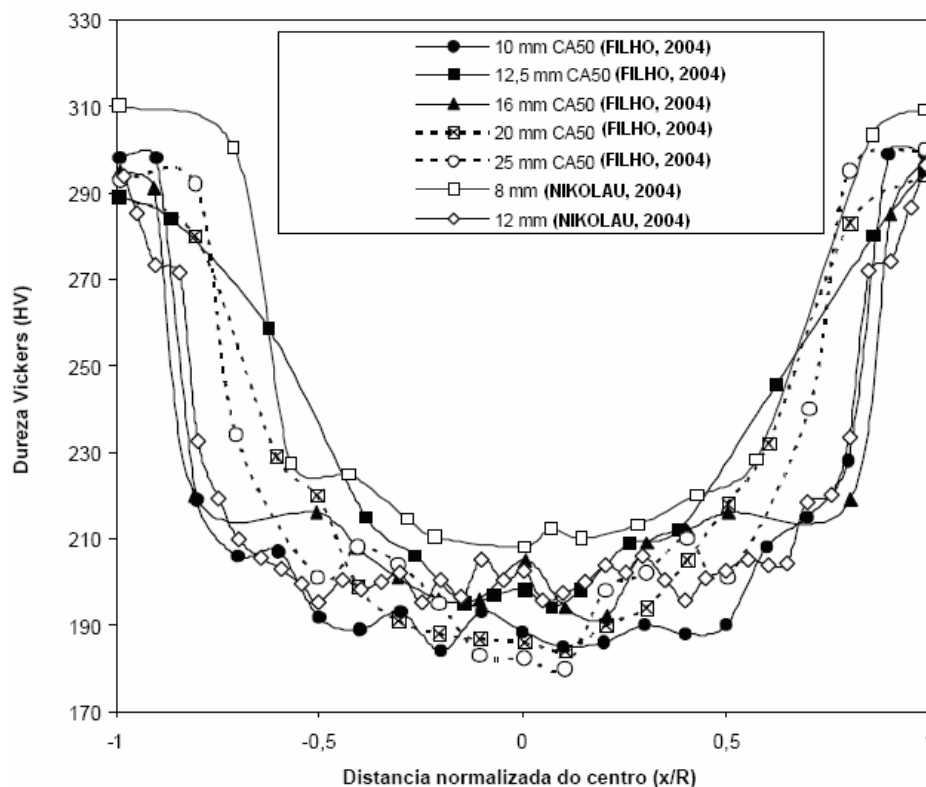


Figura 3.11 – Perfis de dureza normalizado de barras CA50. Adaptado Filho (2004).

3.2.5 Vantagens do Auto-revenimento para a Construção Civil

Segundo Filho (2004), durante várias décadas, o projeto de estruturas de concreto era baseado em conceitos referentes à análise de tensões, ou seja, assumia-se que as cargas de serviço existentes nas estruturas deveriam induzir somente tensões que estivessem na região elástica do material. Neste caso, a faixa de segurança no projeto das estruturas era definida em termos da relação entre tensões de serviço e o campo de escoamento das barras de aço nervuradas conforme a figura 3.12 (a).

Simon et al. (1984) referencia os trabalhos de pesquisa realizados em 1980, pelo European Committee four Concrete (C.E.B.), no qual se concluiu que o conceito baseado na análise e cálculo de tensões de vergalhões não era suficiente, pois, em várias estruturas, deformações plásticas localizadas necessitam ser absorvidas sem que, no entanto, ocorram falhas.

Nestas circunstâncias, a margem de segurança de uma edificação deveria ser expressa em termos da relação de deformação admissível, conforme verificado na figura 3.12 (b), referindo-se a relação entre a deformação plástica sujeita a ocorrer e o alongamento das barras nervuradas.

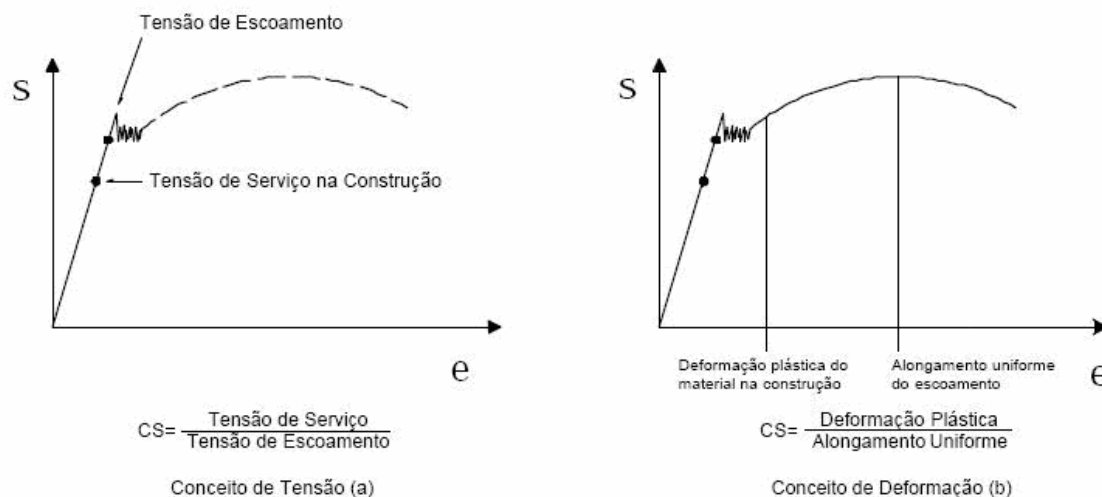


Figura 3.12 - Conceitos de análise de faixas de segurança na fabricação de aços para construção civil. (FILHO, 2004).

A partir das novas demandas emergentes, conduziu-se a definição de conceitos modernos para vergalhões, com elevada resistência, soldabilidade e ductilidade, cujas características de fabricação permanecem até a atualidade.

Já Alonso (2006) destaca que os pontos mais importantes na produção do vergalhão de aço CA-50 referem-se ao seu carbono equivalente, e a obtenção de dois tipos de microestruturas localizadas em regiões distintas, ou seja, na camada superficial e no núcleo da barra nervurada. O controle do carbono equivalente é importante, pois aço com baixos teores de carbono, manganês e outros elementos químicos facilitam a execução de emenda soldada, recurso muito utilizado na construção civil.

Segundo Filho (2004), a utilização destes sistemas de auto-revenimento proporciona uma otimização do processo de laminação de uma forma geral, sendo considerada como uma técnica economicamente viável de utilização em usinas siderúrgicas.

A redução da temperatura das barras na saída da laminação é um dos principais fatores associados à redução de interrupções e, conseqüentemente

à melhoria no processo produtivo, tendo em vista que as barras após o tratamento térmico estão mais rígidas em decorrência da redução de sua temperatura.

Ainda segundo Filho (2004), sem os sistemas de resfriamento, as mesmas permaneceriam a altas temperaturas (temperaturas de laminação a quente), e por conseqüência, apresentariam uma baixa resistência e uma grande facilidade de deformação, se comparadas às propriedades do aço a temperatura ambiente.

Desta forma, a possibilidade de operação com a chegada do material sob as condições anteriormente mencionadas possibilita uma considerável redução de refugo de material, além de fornecer um diferencial em qualidade tendo em vista o aspecto mais homogêneo e compacto do feixe, aqui considerado como etapa final do processo de laminação.

Capítulo 4

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto de pesquisa foi executado com vergalhões de aço nervurado para construção civil CA-50.

As amostras dos vergalhões foram caracterizadas por meio de microscopia ótica e eletrônica de varredura, a fim de se obter informações sobre a influência do tratamento térmico na microestrutura do aço.

Também foram realizados ensaios mecânicos de microdureza e tração, com a intenção de se verificar o comportamento mecânico das camadas concêntricas formadas no aço provenientes do auto-revenimento.

Para facilitar a compreensão dos procedimentos adotados nesta pesquisa foram elaborados um fluxograma simplificado, conforme pode ser visto na figura 4.1 e um fluxograma mais detalhado conforme pode ser visto na figura 4.2.

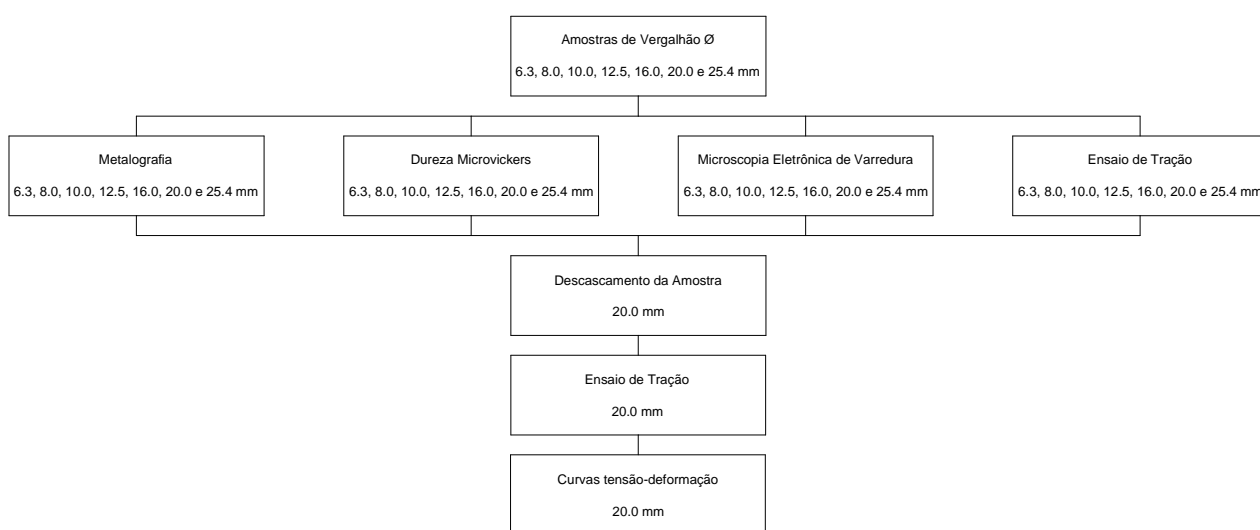


Figura 4.1 – Fluxograma simplificado do projeto de pesquisa.

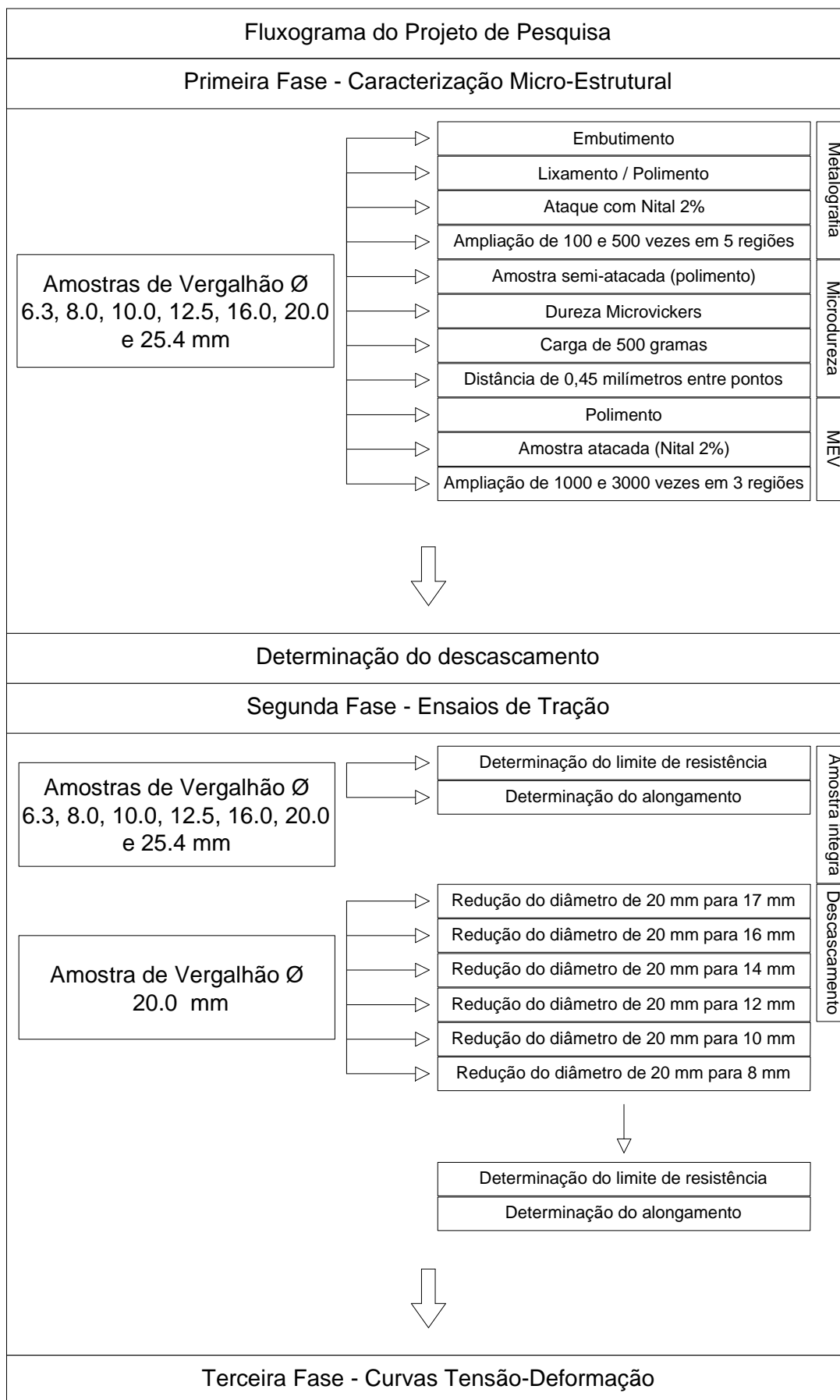


Figura 4.2 – Fluxograma completo do projeto de pesquisa.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram adquiridos no mercado sendo escolhidas para os ensaios as barras de 6,3mm, 8,0mm, 10,0mm, 12,5mm, 16mm, 20,0mm e 25mm de diâmetro, mais comumente utilizadas na construção civil.

As amostras dos vergalhões foram adquiridas de um revendedor da Companhia Siderúrgica Votorantim, fabricadas na Usina de Barra Mansa - RJ, com certificado de qualidade da usina, (em anexo). As amostras do aço foram produzidas pelo processo de auto-revenimento, e serão do aço CA-50.

A composição química aproximada dos vergalhões utilizados nesta pesquisa pode ser vista na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Composição química (% em peso) do aço estudado

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>
0,24	0,89	0,029	0,024	0,25

4.2 MÉTODOS

Inicialmente todas as amostras foram caracterizadas a partir dos ensaios metalográficos, microscópicos e de microdureza Vickers, que serviram de base para evidenciar as camadas concêntricas geradas a partir do tratamento térmico que o aço sofreu, ou seja, definindo o diâmetro destas camadas e com isso definir quais amostras seriam usinadas e quais diâmetros seriam utilizados nesta usinagem, ou seja, o descascamento das amostras.

Ainda na fase de caracterização, todas as amostras foram submetidas à microscopia eletrônica de luz transmitida e de varredura para evidenciar a variação na micro-estrutura do aço e juntamente com os resultados dos perfis de microdureza Vickers, definir o planejamento dos ensaios mecânicos.

Após a etapa de caracterização, a amostra de 20mm foi escolhida para o descascamento em função dos resultados obtidos com as microscopias e

também do seu perfil de microdureza, sendo submetida ao ensaio de tração a fim de se obter a curva de tensão x deformação.

Assim, as amostras de 20mm foram usinadas, e seu diâmetro foi reduzido para 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm e 17mm, e o ensaio de tração foi executado obtendo-se as curvas de tensão x deformação verdadeiras para as amostras.

4.2.1 Metalografia

Para a identificação das camadas existentes nas barras em decorrência do tratamento térmico superficial foi utilizada a caracterização metalografica de todas as amostras. O procedimento de preparação das amostras consistiu no corte, embutimento, lixamento mecânico, polimento com alumina 1 μ m e ataque com Nital (2%).

4.2.2 Microscopia Ótica

Após a preparação, as amostras foram analisadas em um microscópio de luz transmitida, OLYMPUS CH30 - Leica DFC 290, conforme pode ser visto na figura 4.3, com aproximações da ordem de 200 e 500 vezes em cinco regiões distintas ao longo do diâmetro da amostra, isto serviu para demonstrar as diferenças na microestrutura das amostras e a identificação das camadas causadas pelo tratamento térmico sofrido na usina.

As amostras também foram analisadas em uma Lupa Estereoscópica, ZEISS com aproximação de 1,25 e 1,60 vezes, figura 4.4.

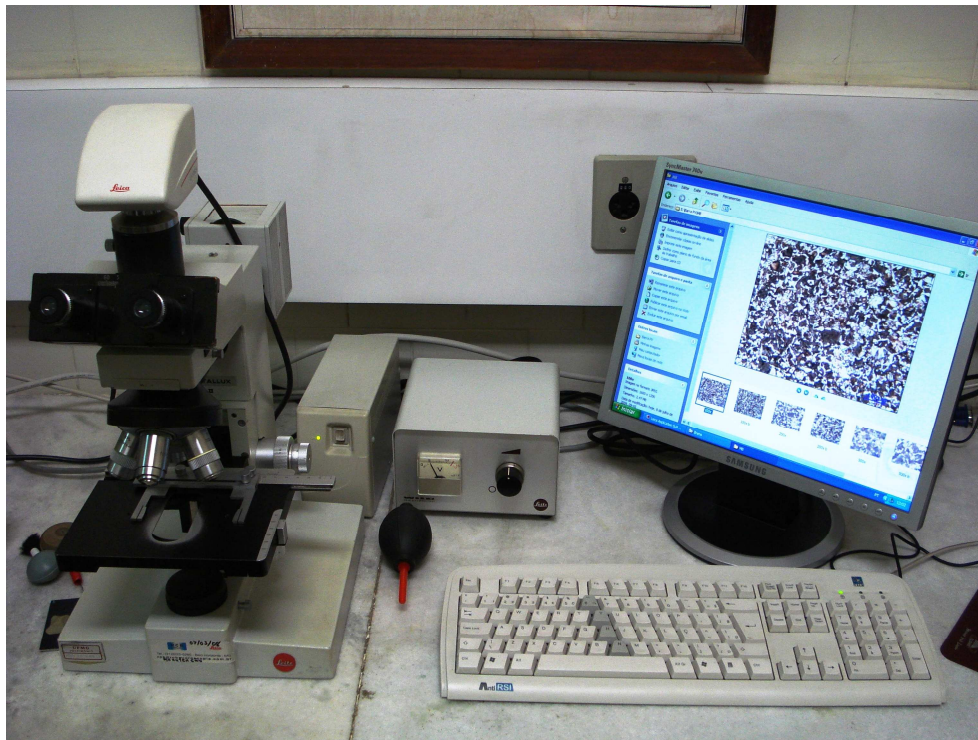


Figura 4.3 – Microscópio utilizado na caracterização das amostras.

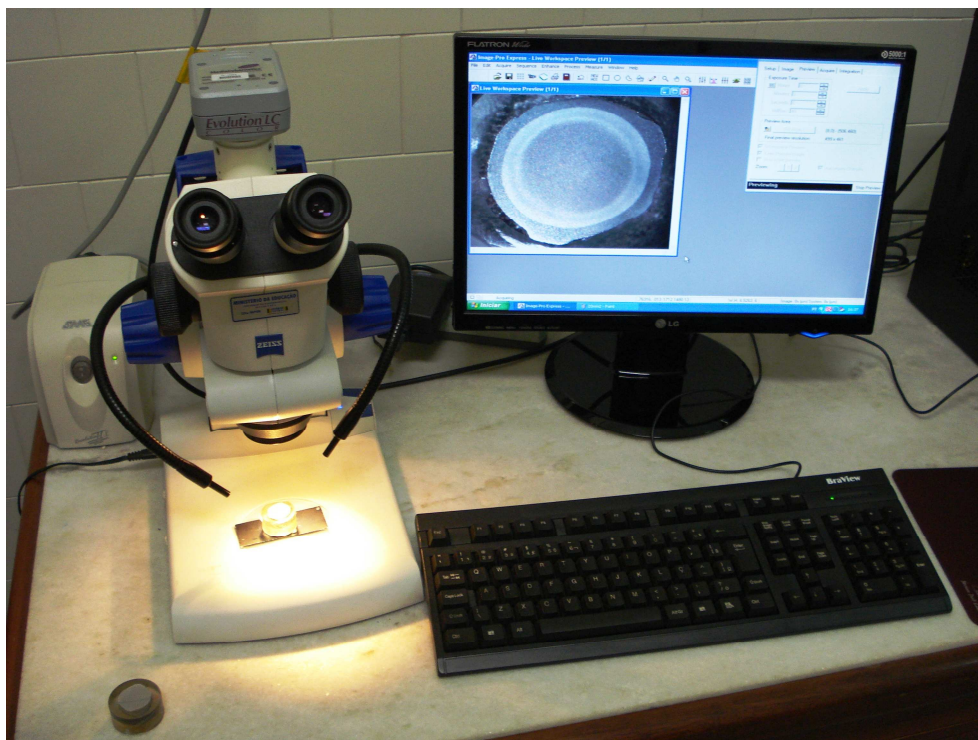


Figura 4.4 – Lupa estereoscópica utilizada na caracterização das amostras.

4.2.3 Microdureza Vickers

Em um segundo momento, ainda na fase de caracterização, todas as amostras foram polidas com alumina 1 μ m e novamente atacadas com Nital (2%), em seguida foram levemente polidas com alumina 1 μ m, para que fosse possível a visualização e fotografia das amostras, e submetidas ao ensaio de microdureza Vickers, sendo feito dois perfis de dureza em cada amostra um perfil perpendicular ao outro percorrendo todo o diâmetro das amostras, conforme pode ser visto na figura 4.5.

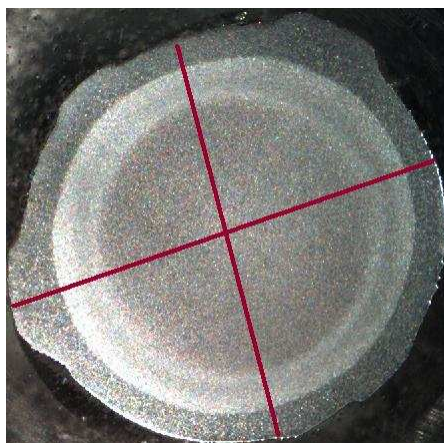


Figura 4.5 – Perfis de microdureza Vickers avaliados.

Para este experimento foi utilizado o equipamento de microdureza automatizado Future Tech modelo FM-700, figura 4.6, com a carga de 500 gramas para a penetração no aço, observando uma distância de aproximadamente 0,450 milímetros entre pontos de penetração, figura 4.7. Os resultados obtidos com os perfis de microdureza das amostras auxiliaram na definição de quais amostras seriam utilizadas na fase final da pesquisa e quais diâmetros seriam utilizados no descascamento dos corpos de prova, ou seja, a usinagem para redução do diâmetro das amostras.

Na figura 4.8 podemos ver um detalhe da impressão deixada na amostra pelo ensaio de microdureza Vickers com um aumento de 1000 vezes.

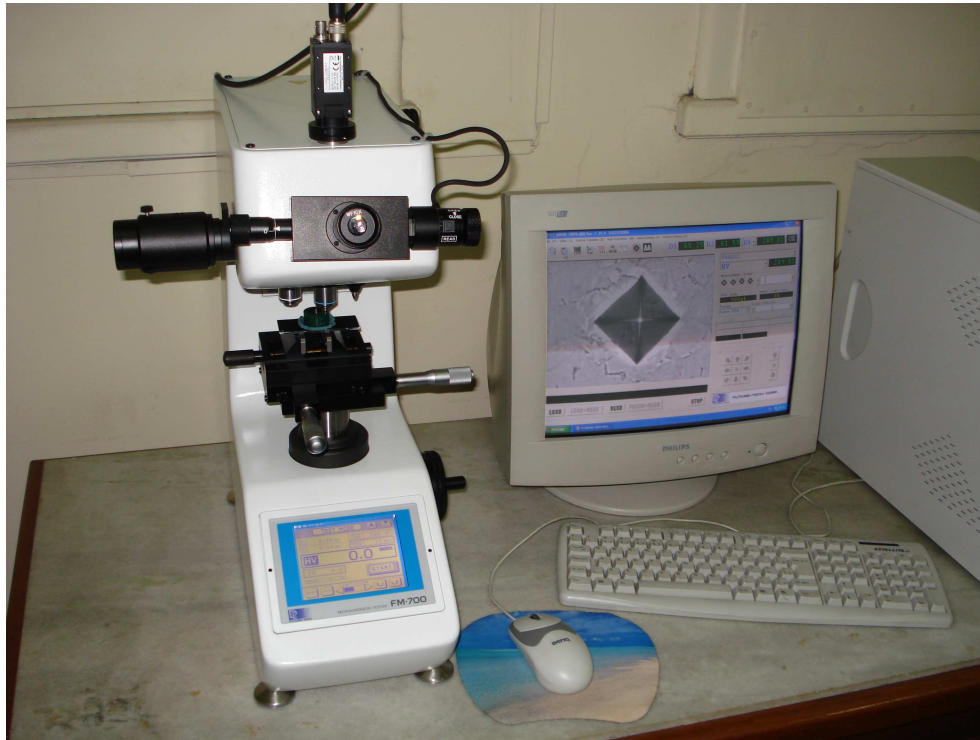


Figura 4.6 – Equipamento de microdureza.



Figura 4.7 – Perfis perpendiculares de microdureza Vickers, barra de 8mm.

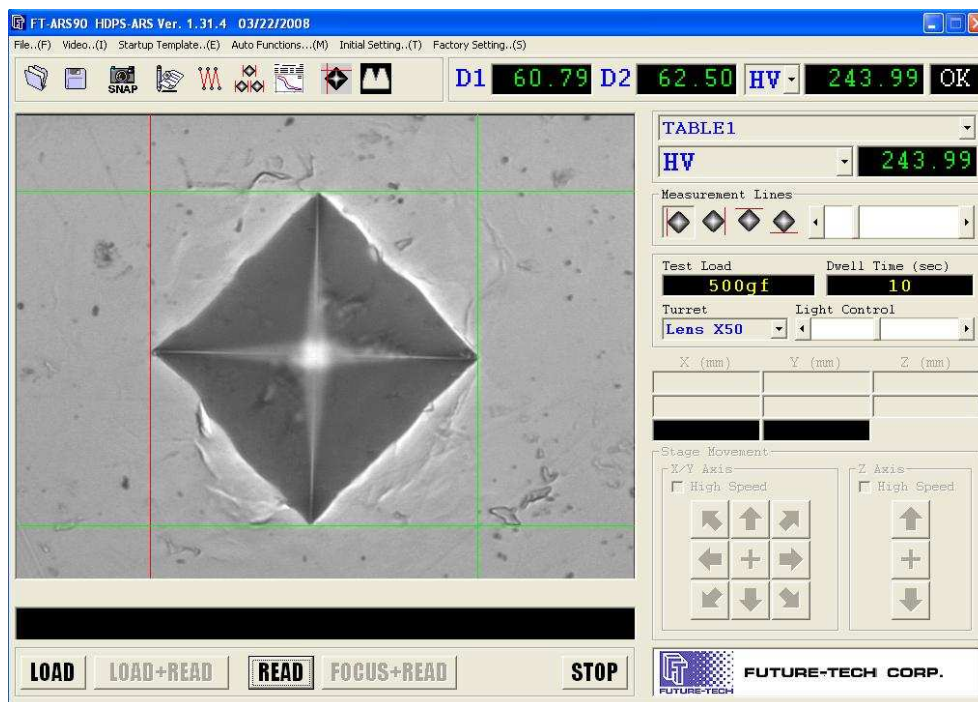


Figura 4.8 – Detalhe da impressão deixada na amostra pelo ensaio de microdureza Vickers, aumento de 1000 vezes.

4.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Nesta fase todas as amostras foram novamente polidas com alumina $1\mu\text{m}$ e atacadas por um tempo um pouco maior com Nital (2%) a fim de que ficassem em boas condições para a análise no MEV e as imagens geradas fossem de boa qualidade.

O equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura, marca JEOL, modelo JSM 6360LV, com aproximação máxima de 300.000 vezes, como pode ser visto na figura 4.9. Porém, por se tratar de amostras de aço, a aproximação escolhida foi da ordem de 1000 e 3000 vezes, em três regiões distintas ao longo do diâmetro de todas as amostras.

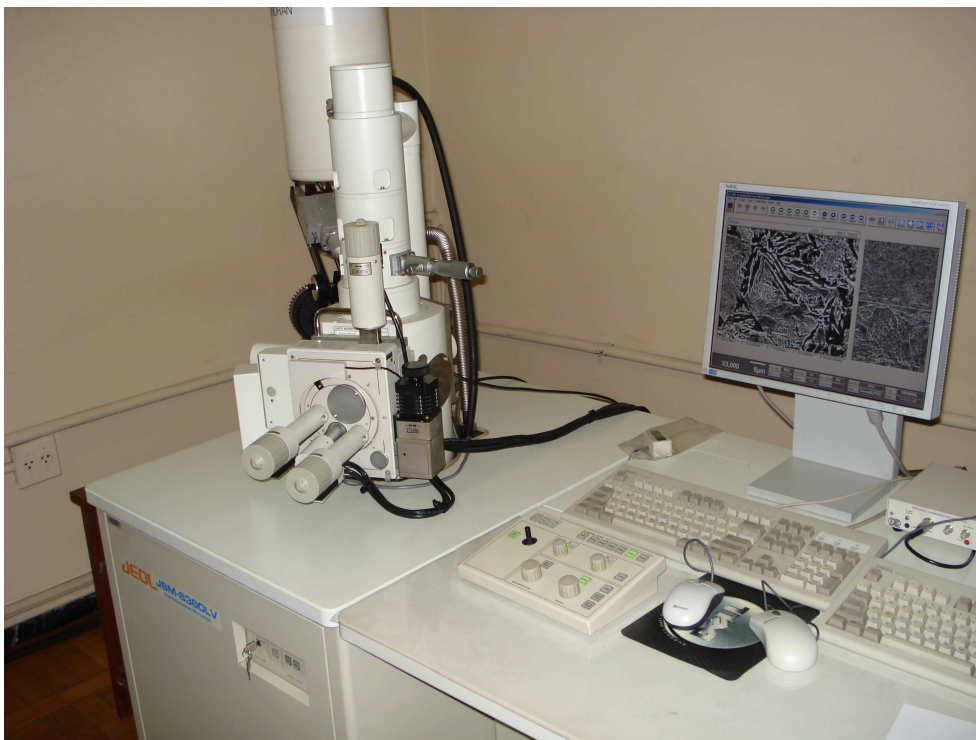


Figura 4.9 – Microscópio eletrônico de varredura.

4.2.5 Ensaio de Tração

Após a etapa de caracterização, foi definido que apenas a barra de 20mm de diâmetro seria utilizada na parte final da pesquisa em virtude do tratamento térmico superficial detectado na etapa de caracterização.

Após a definição do uso da barra de 20mm, as amostras foram cortadas com 30cm de comprimento, e uma faixa de 10cm de comprimento foi usinada na região central dos corpos de prova, com 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm e 17mm de diâmetro, conforme pode ser visto nas figuras 4.10 e 4.11. Os ensaios de tração foram executados em uma máquina Mohr Federhaff Losenhausen modelo UPD 60 EJ573, figuras 4.12 e 4.13, com capacidade de carga de 60 toneladas e dotada de um extensômetro eletrônico encarregado de fazer as medições das deformações durante o ensaio.



Figura 4.10 – Usinagem do corpo de prova, torno Nardini-MS 175E.



Figura 4.11 – Corpos de prova usinados.



Figura 4.12 – Ensaio de tração utilizando a máquina Mohr Federhaff Losenhausen (UIT).



Figura 4.13 – Detalhe do extensômetro eletrônico utilizados nos ensaios.

4.2.6 Obtenção das curvas tensão-deformação

Para a obtenção das curvas de tensão-deformação os dados extraídos da máquina de tração foram colocados em planilhas, tratados para se obter as curvas de tensão verdadeira-deformação verdadeira e plotados em gráficos individualizados.

Posteriormente, a parte elástica da deformação foi retirada e novas curvas foram plotadas. No mesmo gráfico também foi plotada a curva de ajuste teórico, sendo sua equação indicada. Este procedimento foi feito para todas as amostras ensaiadas.

Após a análise das curvas foram elaborados mais dois gráficos, o primeiro com as curvas da deformação plástica para as amostras de 20mm e 17mm de diâmetro juntamente com suas curvas de ajuste, e o segundo gráfico foi simulado uma terceira curva representando o comportamento da camada retirada da barra de 17mm, chamada de camada Z.

A curva da camada Z foi obtida pela regra das misturas utilizando como referência as equações de ajuste das amostras de 20mm e 17mm.

Capítulo 5

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos utilizando-se os métodos e os materiais descritos no Capítulo 4 são apresentados em cinco diferentes grupos: resultados experimentais de microscopia ótica, microdureza Vickers, microscopia eletrônica de varredura e ensaios de tração, além da modelagem teórica utilizada para analisar os resultados experimentais.

No primeiro grupo são apresentadas todas as micrografias realizadas para os materiais analisados, ao todo foram feitas 70 fotografias da microestrutura das amostras que possibilitaram evidenciar as diferenças no tratamento térmico sofrido pelo aço em função do seu diâmetro. No segundo grupo são apresentados os perfis de microdureza das amostras, tendo sido feito dois perfis para cada diâmetro analisados.

Já no terceiro grupo são apresentadas as 42 fotografias realizadas no microscópio eletrônico de varredura ainda na fase de caracterização do material. Na quarta fase os resultados dos ensaios de tração são apresentados e discutidos.

No final é discutido os resultados da modelagem teórica obtida a partir das curvas tensão-deformação.

5.1 Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Para a análise microscópica foi definida uma separação do vergalhão em cinco regiões distintas, camadas concêntricas, a fim de que fosse possível detectar variações microestruturais no aço em virtude do tratamento térmico recebido pelos vergalhões na usina. Após a definição das cinco regiões foi feita

uma fotografia para cada região com aproximação de 200 e 500 vezes para todas as amostras.

Já para a análise via microscópio eletrônico de varredura foi definida uma separação do vergalhão em três regiões distintas, camadas concêntricas. Após esta definição foram feitas uma fotografia para cada região com aproximação de 1000 e 3000 vezes para todas as amostras.

Nas figuras 5.1 a 5.4, 5.29 e 5.30 são mostradas as imagens obtidas da microestrutura para a amostra do vergalhão de 6,3mm de diâmetro, podemos notar que na borda existe uma pequena camada de martensita revenida, e em todo o restante aparece uma camada aparentemente única formada por perlita e ferrita.

Nas figuras 5.5 a 5.8, 5.31 e 5.32 são mostradas as imagens obtidas da microestrutura para a amostra do vergalhão de 8,0mm de diâmetro, e podemos notar um comportamento bem semelhante ao obtido para a amostra de 6,3mm de diâmetro, ou seja, que na borda a existência de uma pequena camada de martensita revenida, e em todo o restante aparecendo uma camada aparentemente única formada por perlita e ferrita.

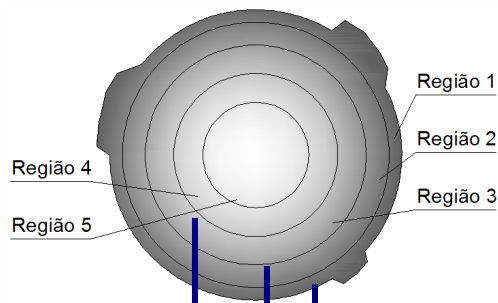
Este comportamento segue para as amostras de 10mm e 12,5mm como pode ser visto nas figuras 5.9 a 5.16 e 5.33 a 5.36.

Já para a amostra de 16mm podemos notar uma mudança no comportamento, e a partir das figuras 5.17 a 5.20, 5.37 e 5.38, podemos notar que em todo o diâmetro da amostra aparece apenas uma camada formada por ferrita e perlita com uma muito pequena cama de martensita revenida nas bordas.

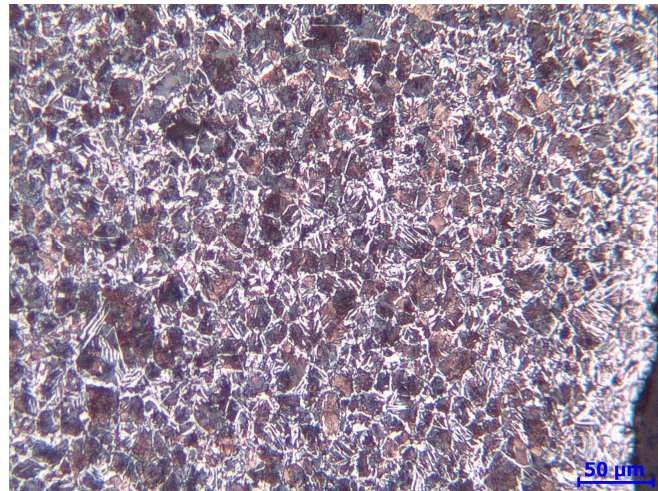
Para a amostra de 20mm, como pode ser notado nas figuras 5.21 a 5.24, 5.39 e 5.40 o tratamento térmico ficou mais próximo do esperado para o processo de auto-revenimento, ou seja, a borda junto a superfície do vergalhão constituída por martensita revenida, a região intermediária com a formação de bainita com a presença de traços de martensita, ferrita e perlita e com o núcleo da amostra constituído por perlita e ferrita.

E finalmente para a amostra de 25,4mm podemos notar um comportamento semelhante à amostra de 20mm, porém com uma camada mais fina de martensita revenida junto a borda da amostra, conforme visto nas figuras 5.25 a 5.28, 5.41 e 5.42.

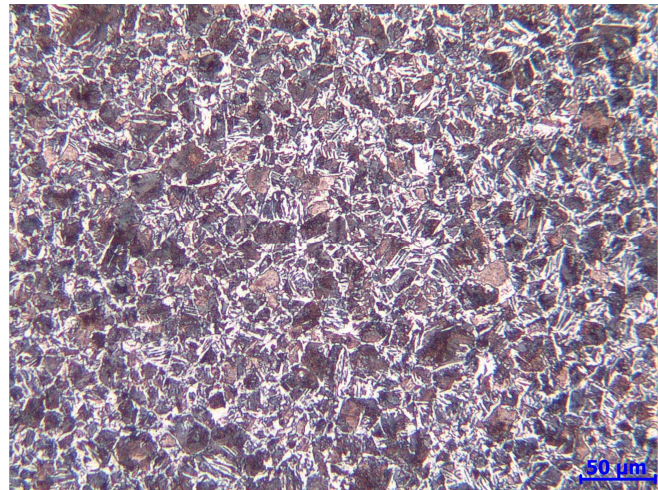
a) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

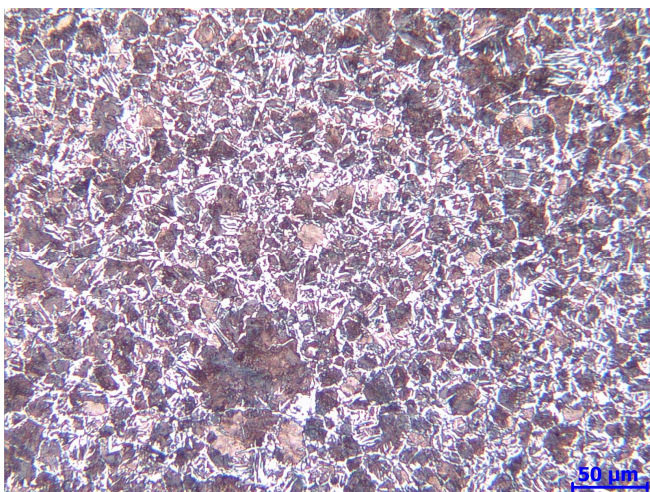
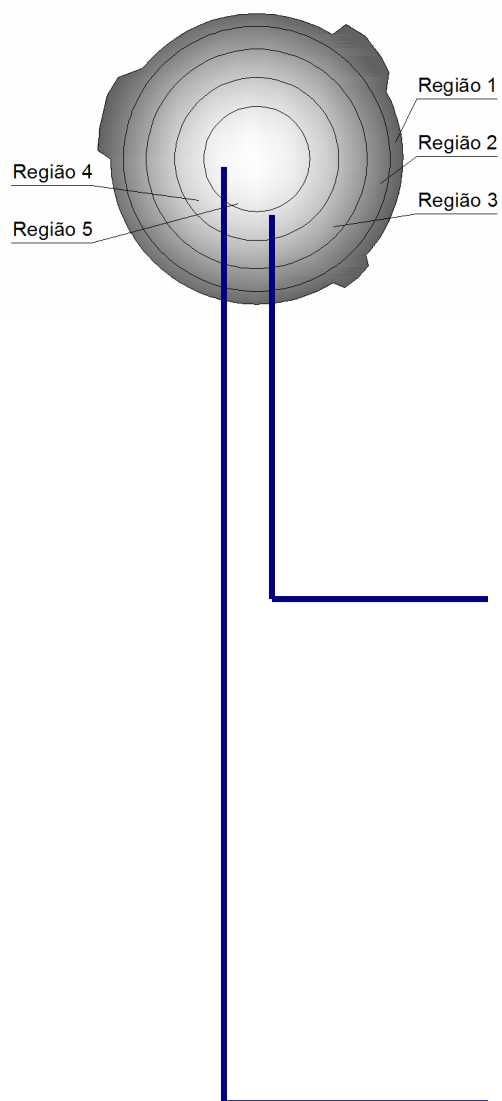
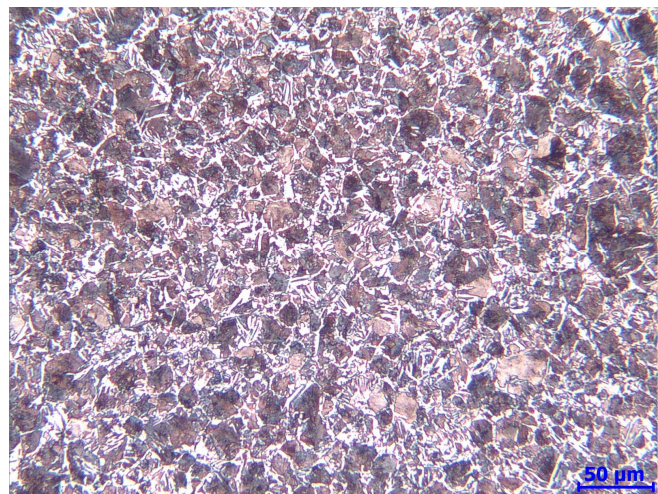


Figura 5.1 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

b) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)

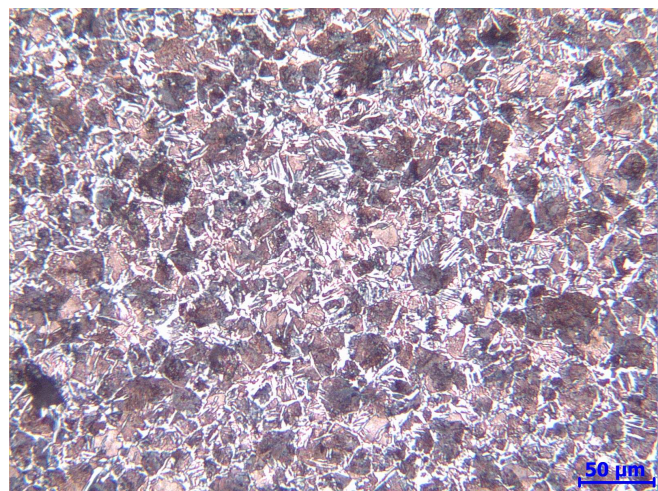
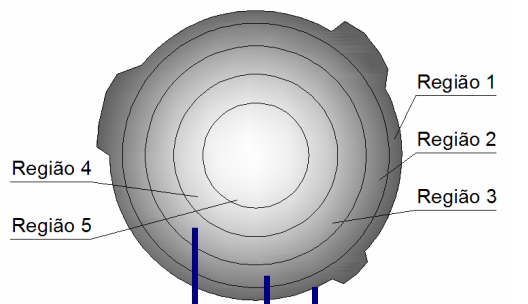
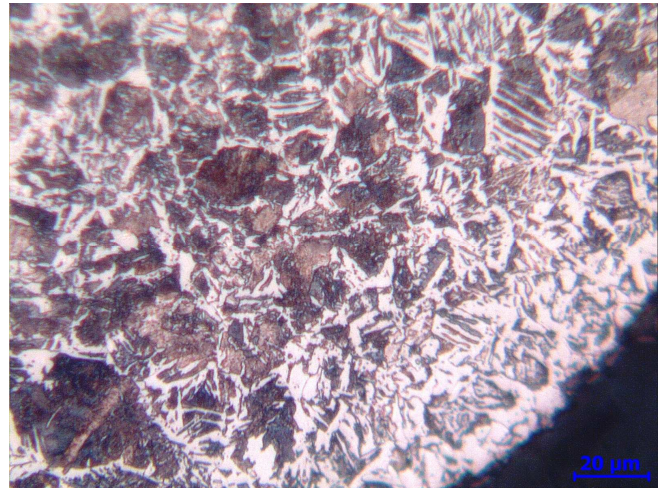


Figura 5.2 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 4, c) Região 5.

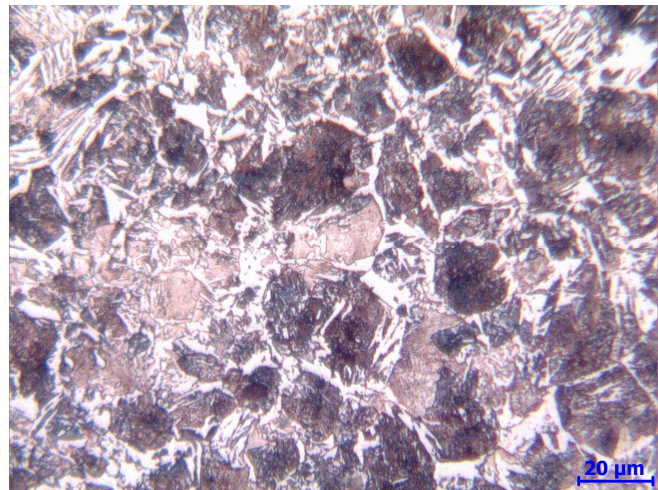
a) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

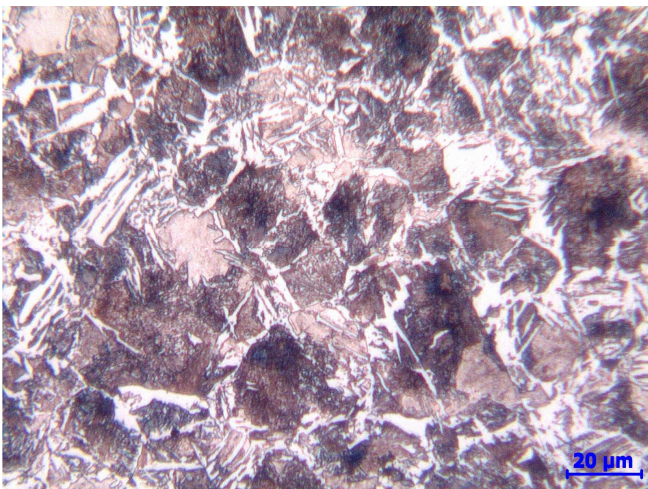
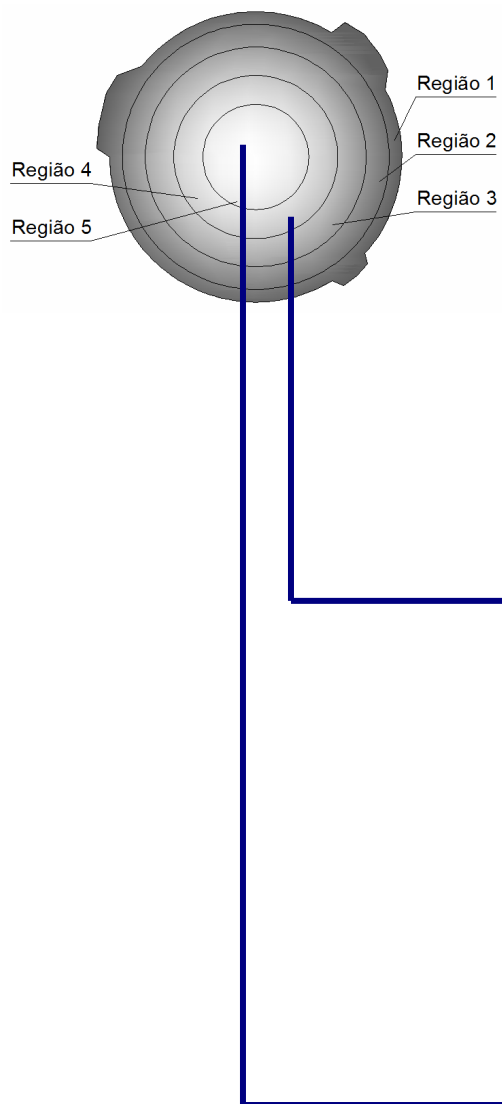
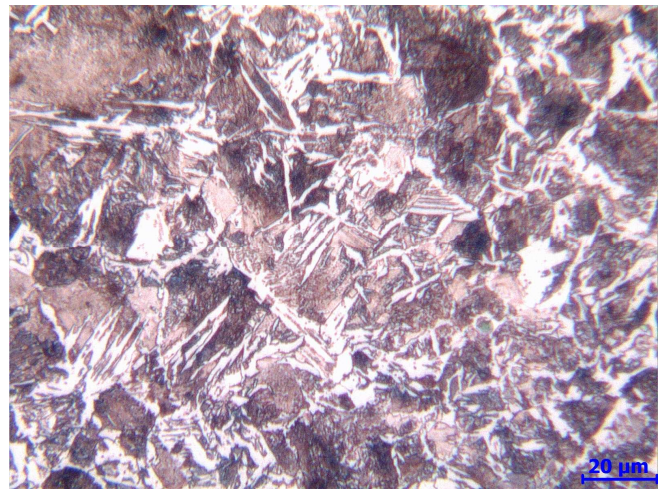


Figura 5.3 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)

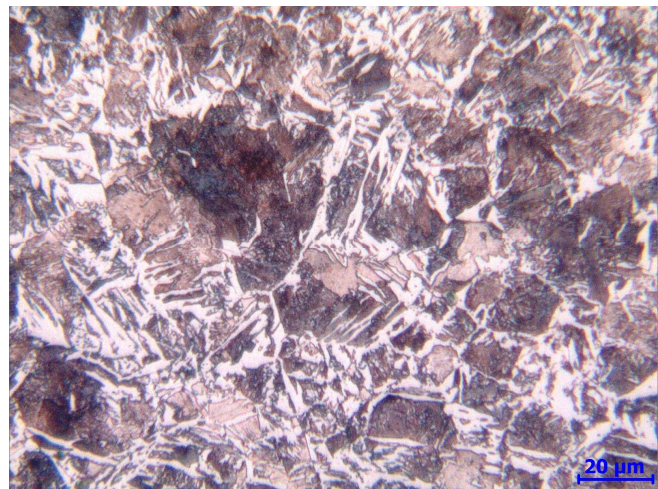
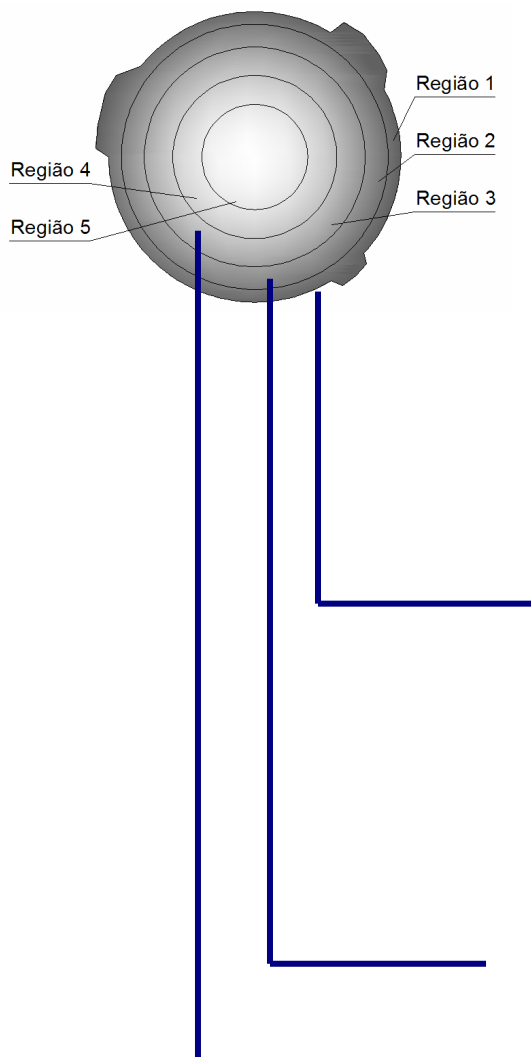
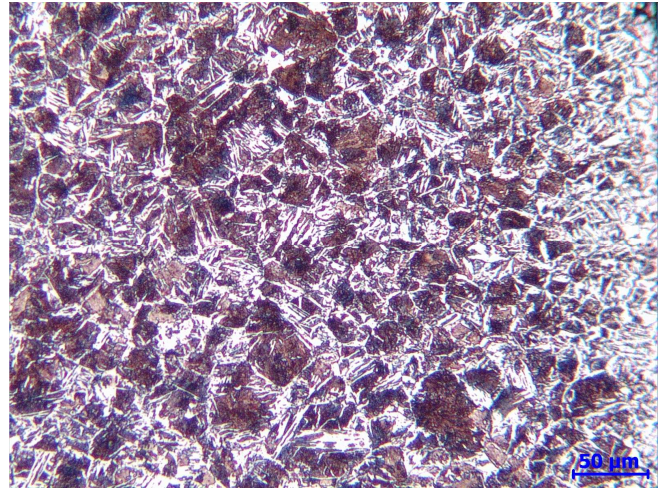


Figura 5.4 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 4, c) Região 5.

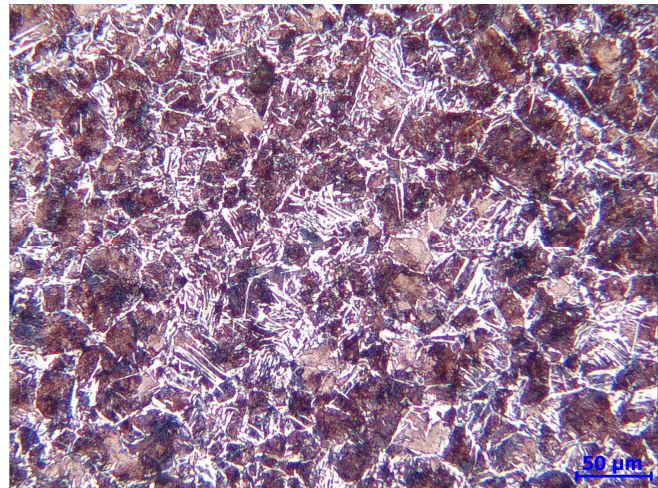
a) Barra de 8,0mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

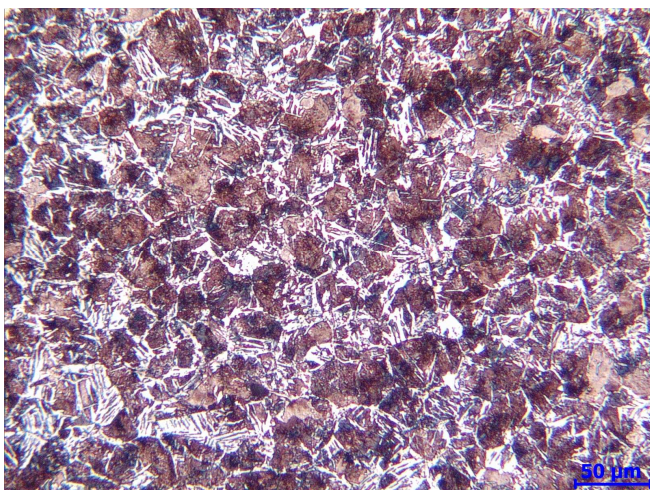


Figura 5.5 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

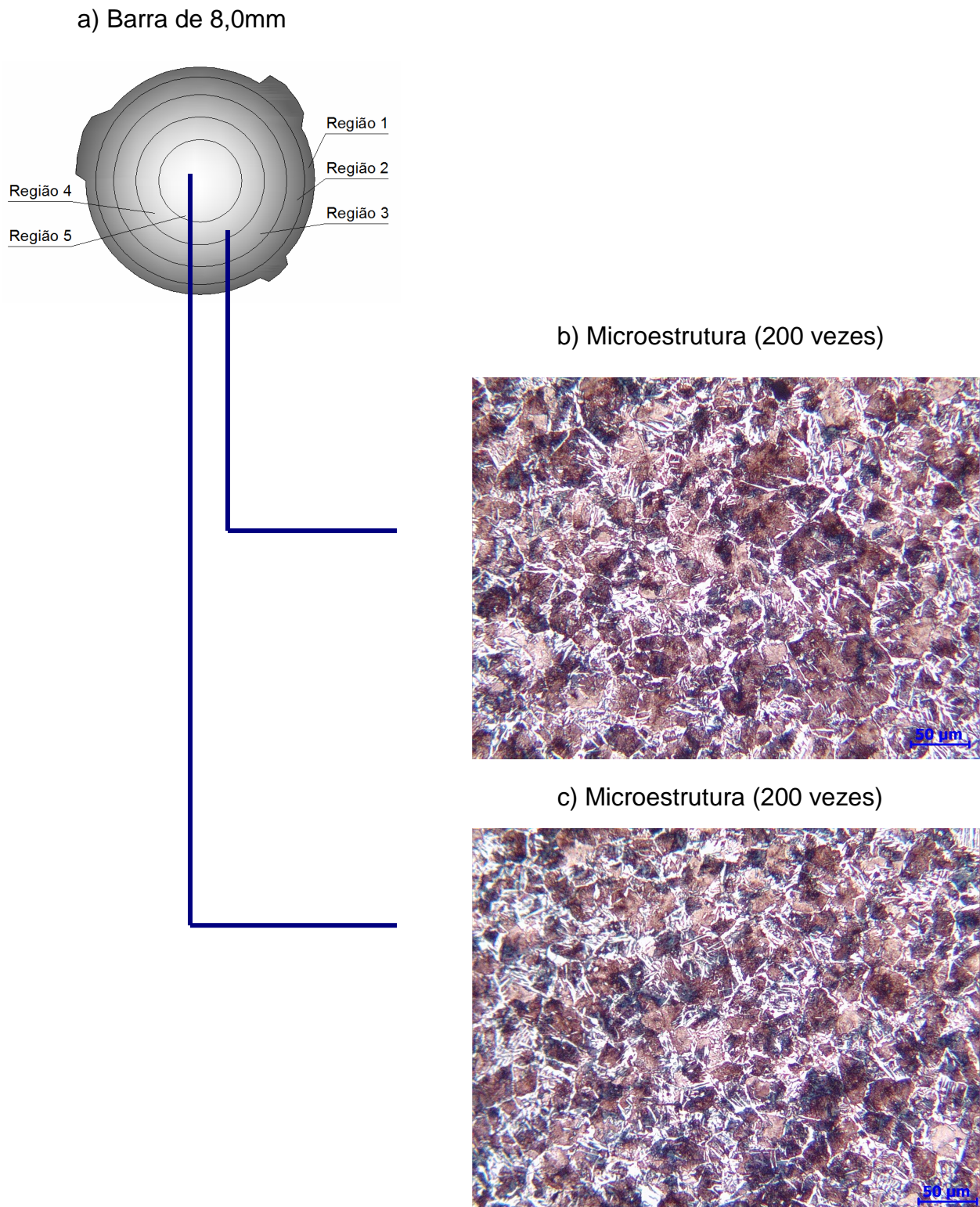
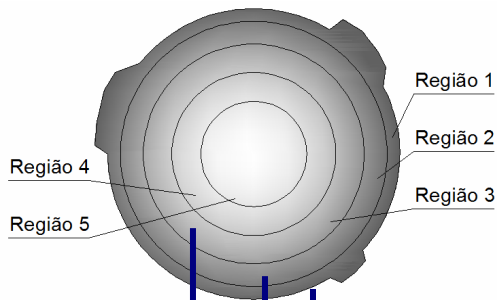
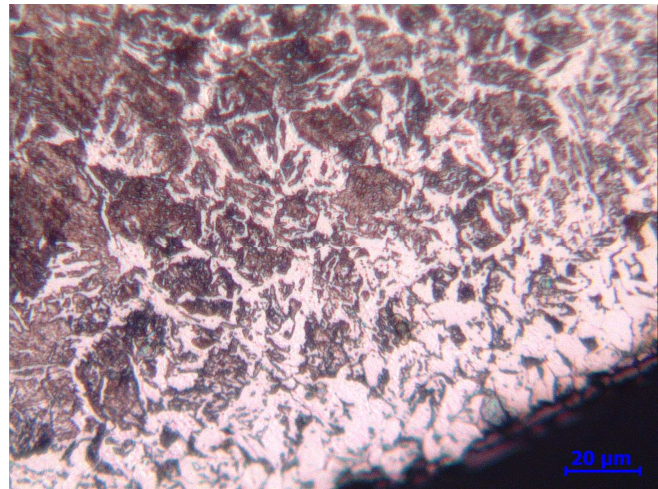


Figura 5.6 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

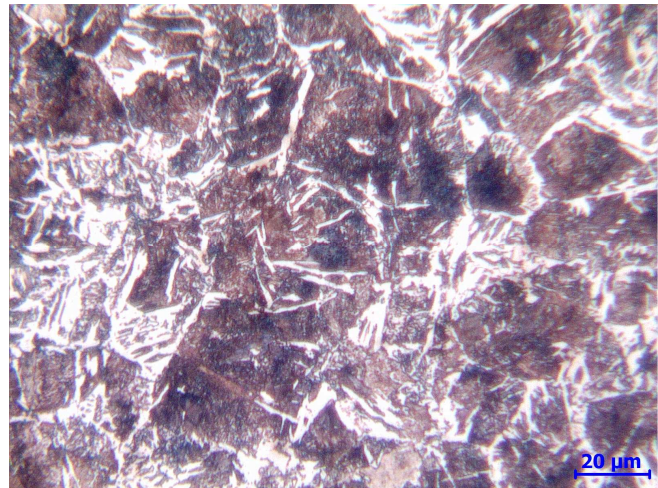
a) Barra de 8,0mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

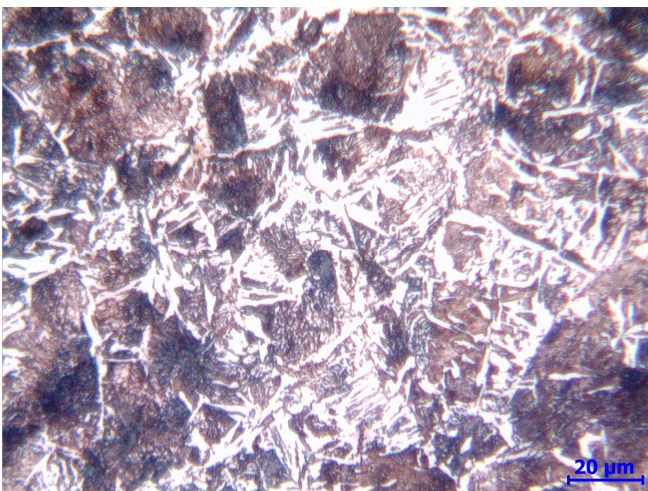
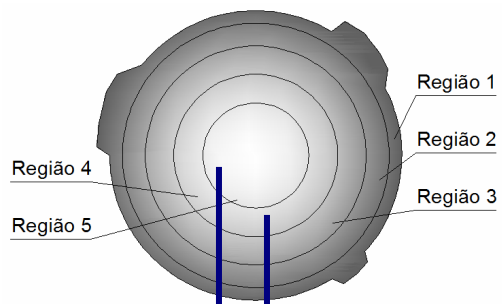
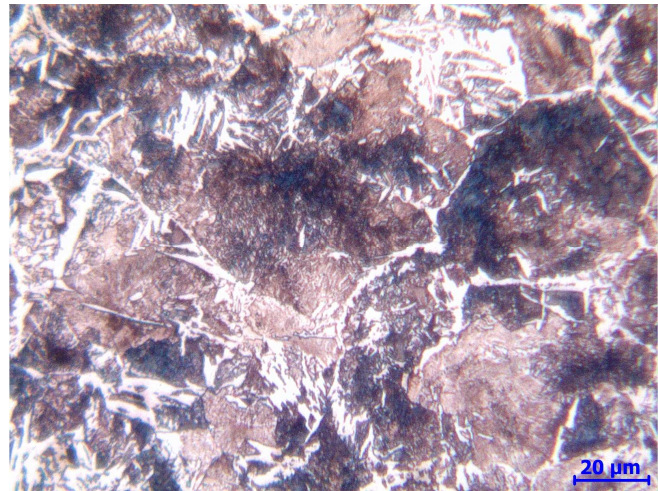


Figura 5.7 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Barra de 8,0mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)

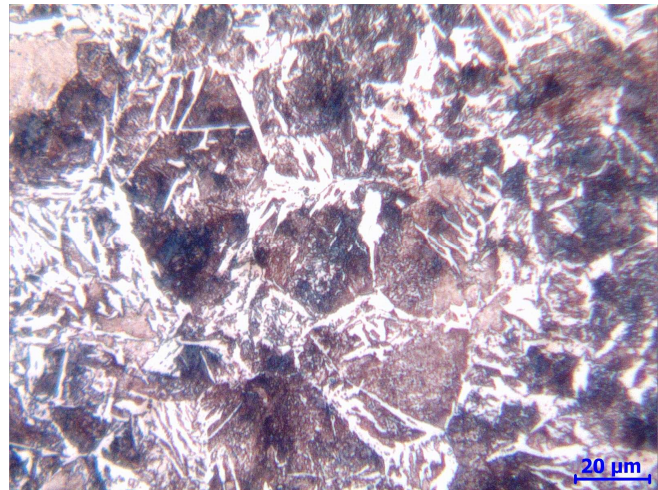
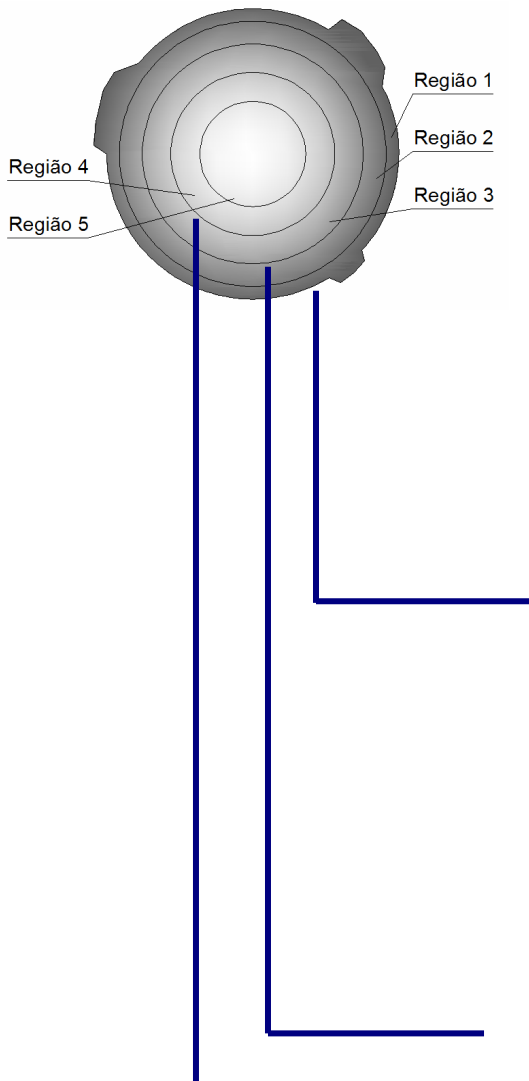
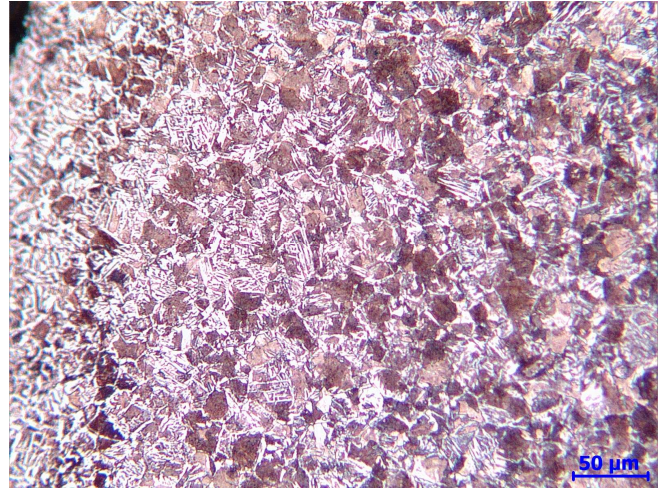


Figura 5.8 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

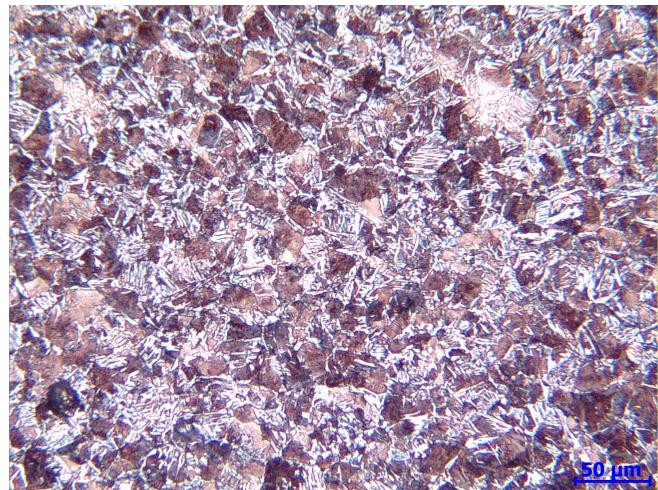
a) Barra de 10mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

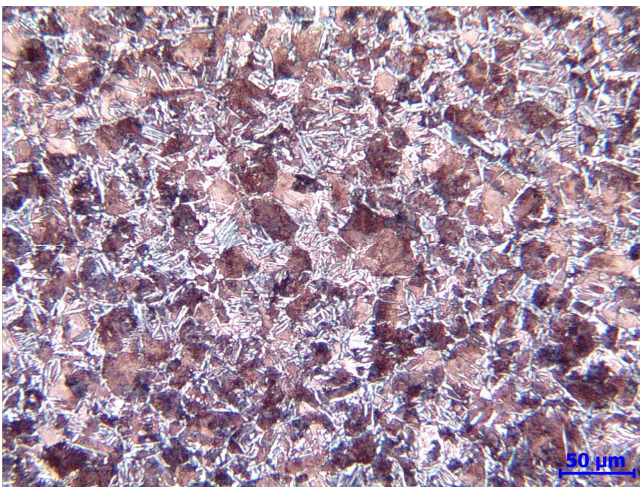
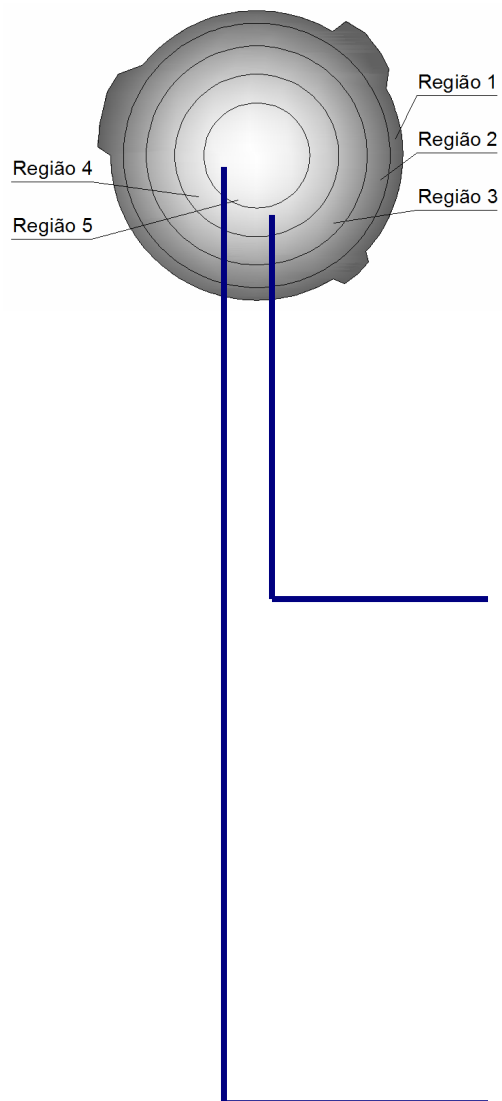
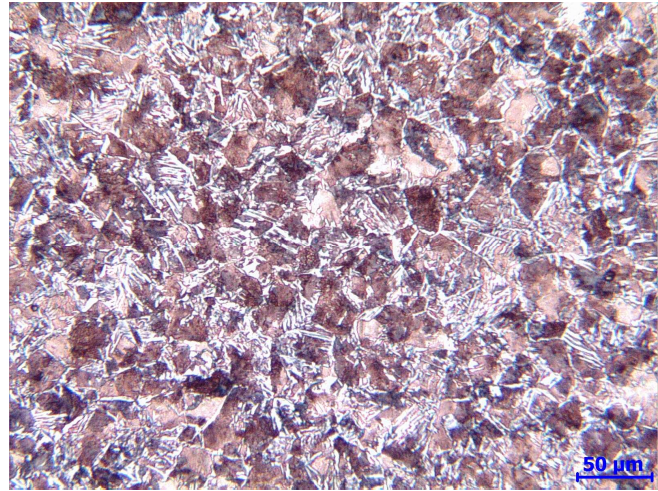


Figura 5.9 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Barra de 10mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)

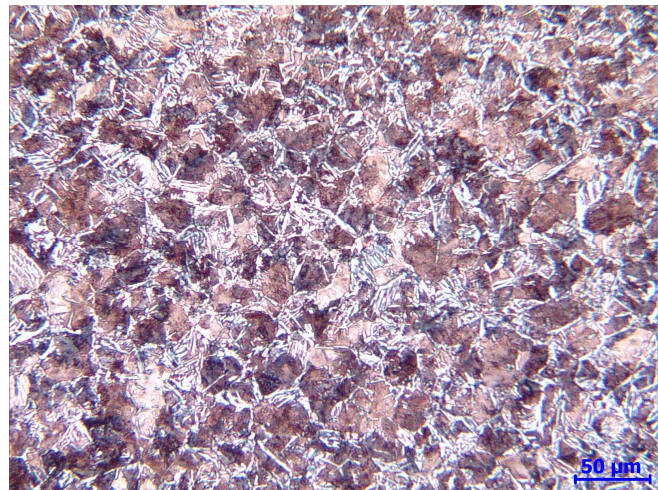
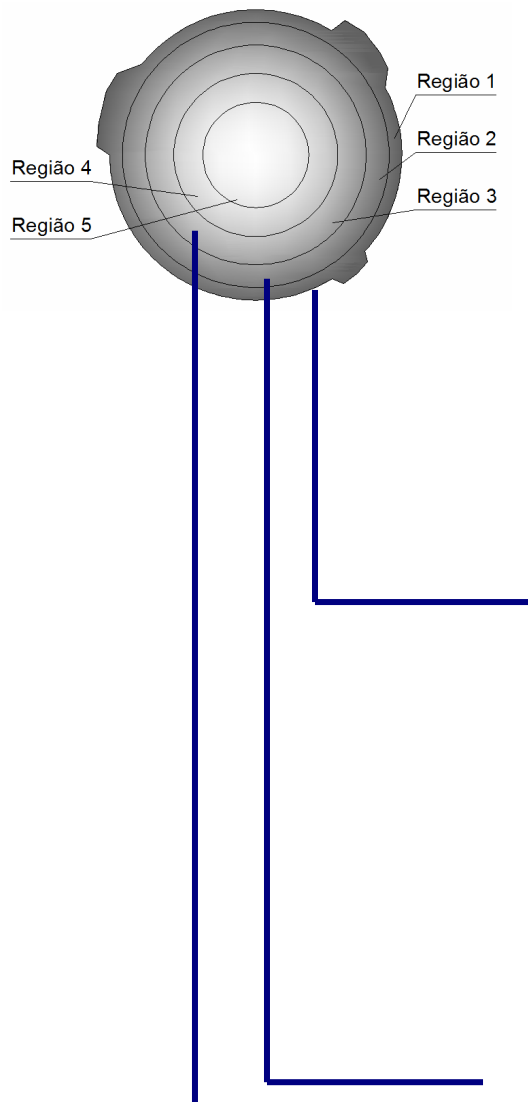
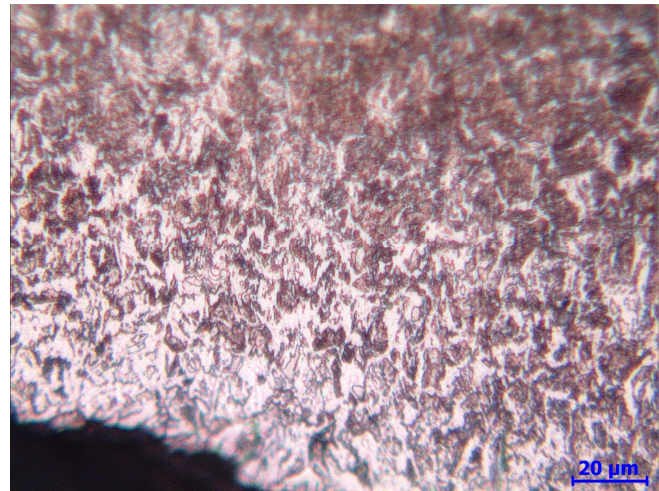


Figura 5.10 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

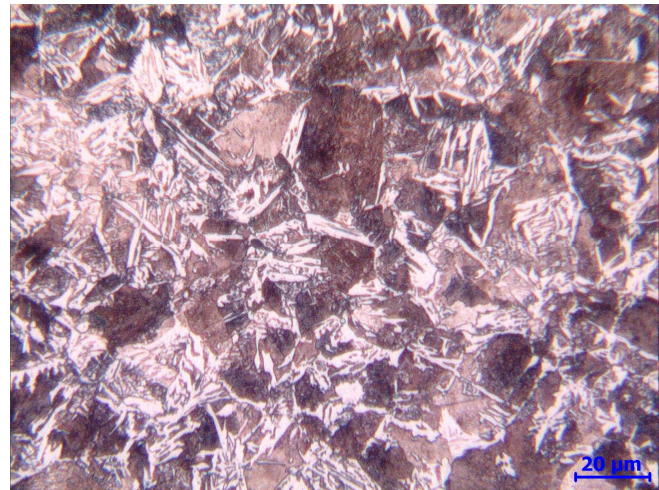
a) Barra de 10mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

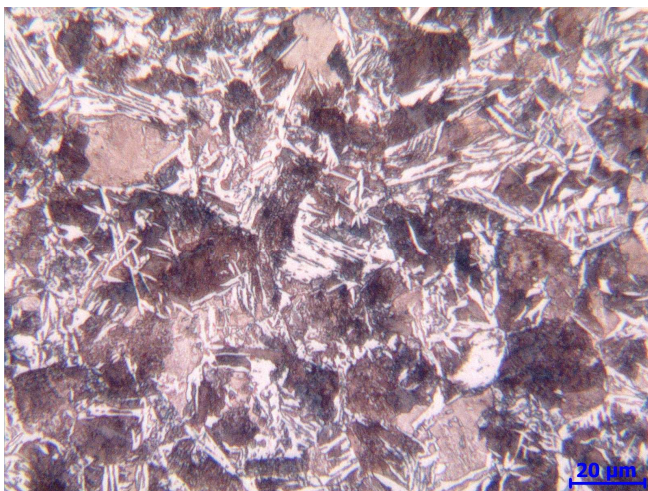


Figura 5.11 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

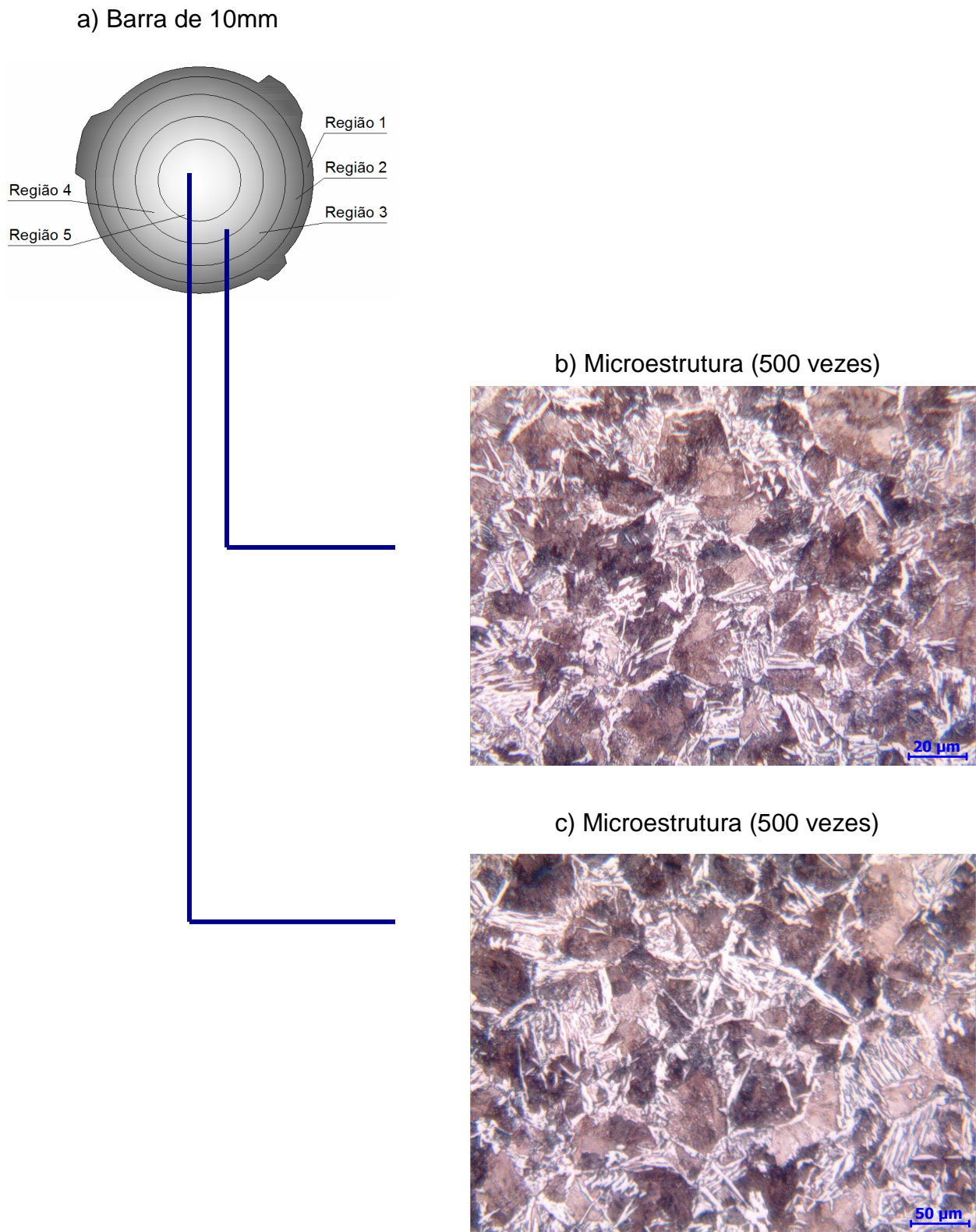
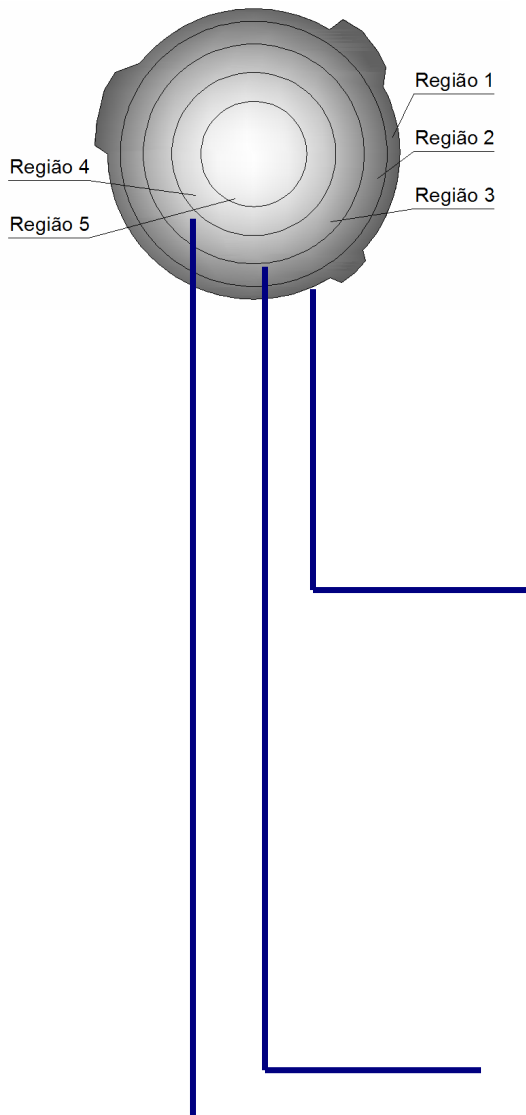
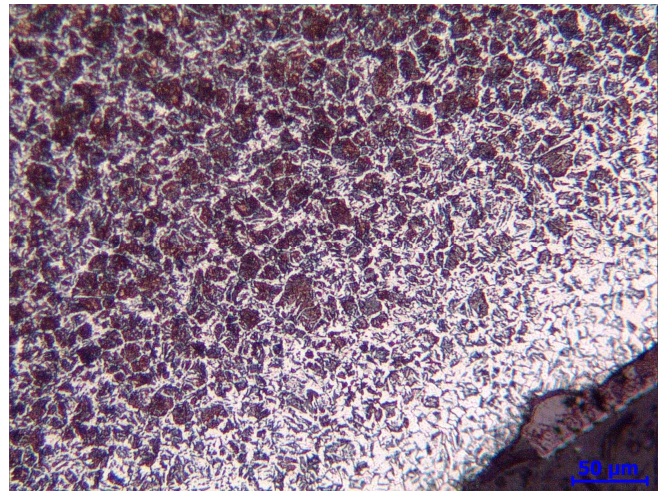


Figura 5.12 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

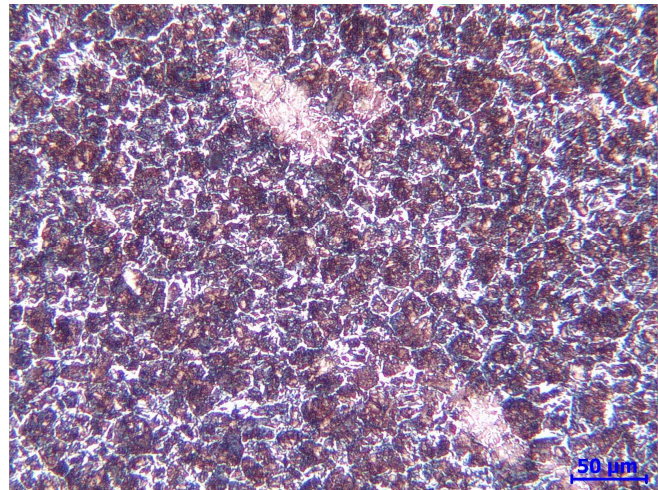
a) Barra de 12,5mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

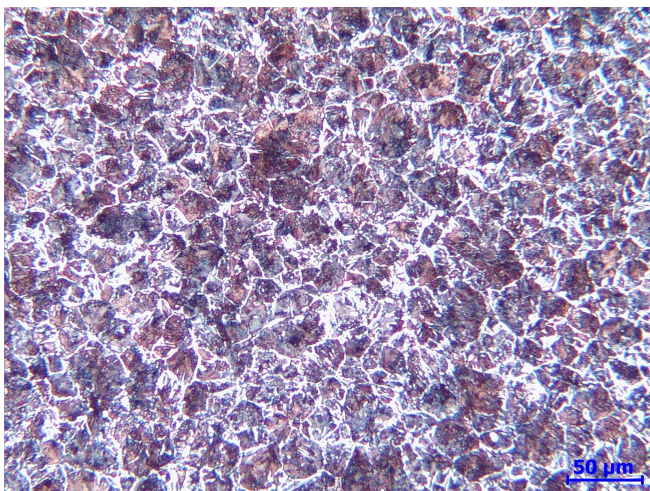


Figura 5.13 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

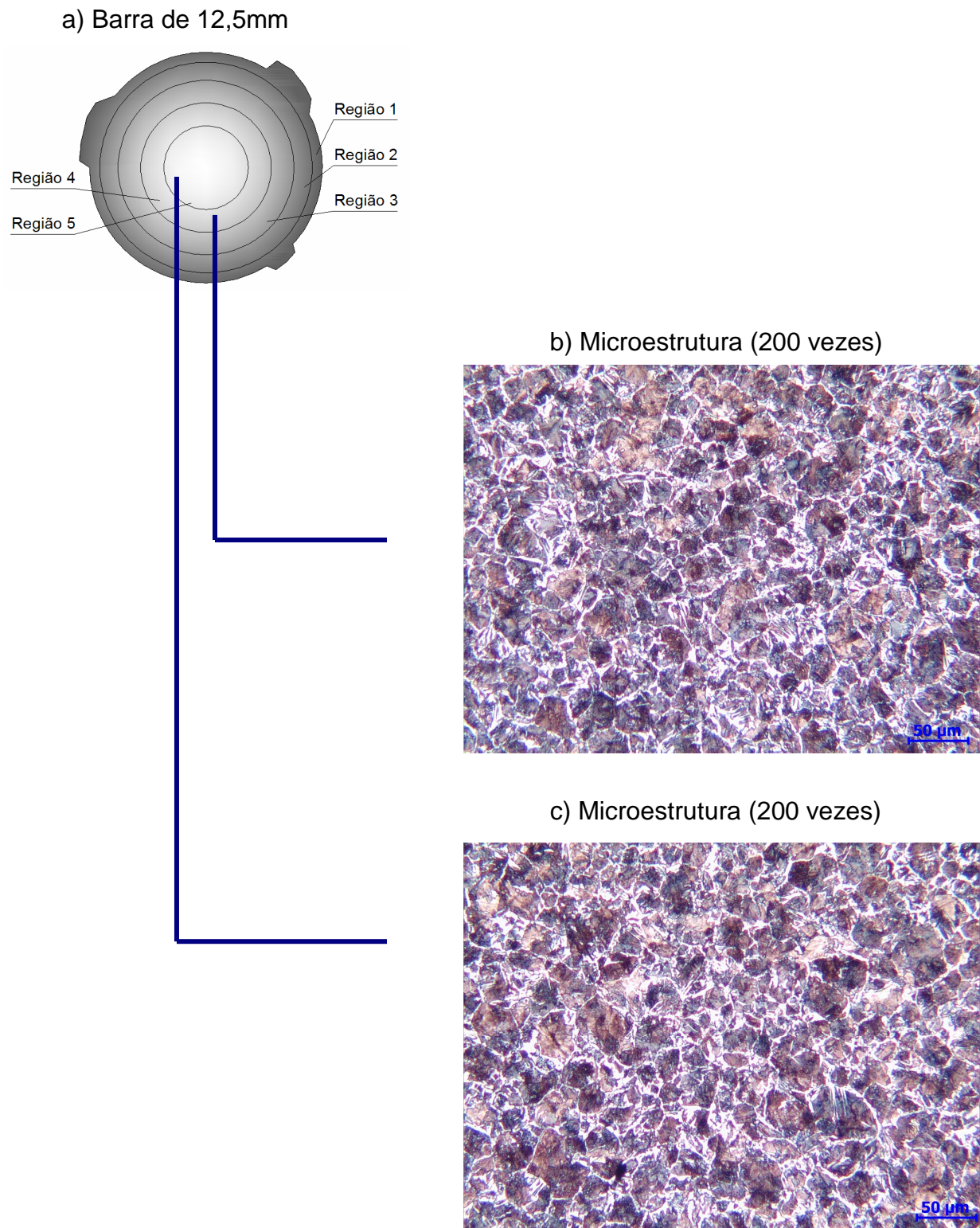
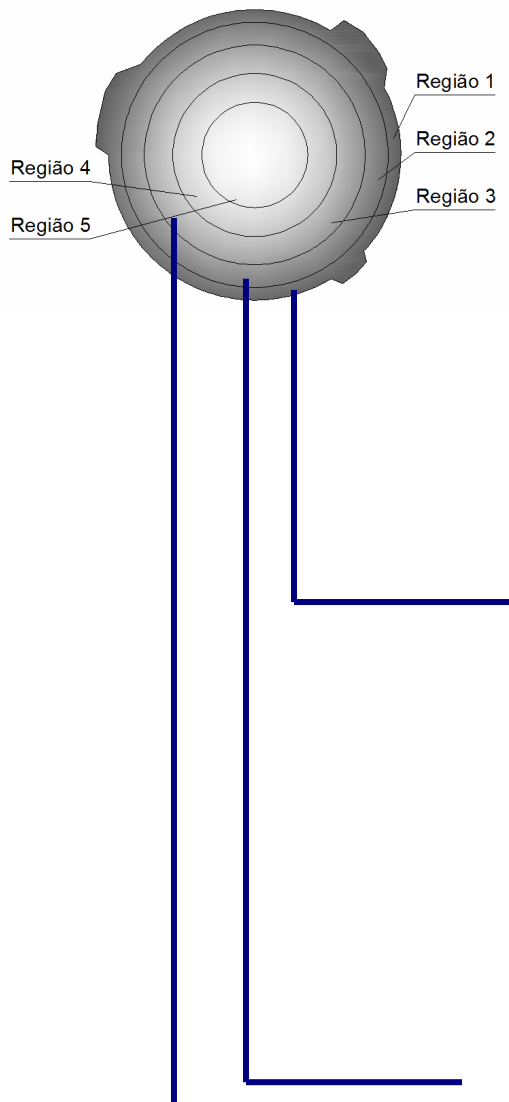
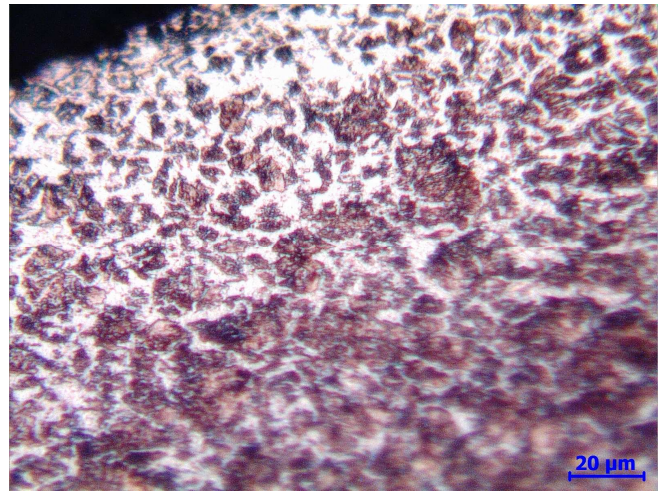


Figura 5.14 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 4, c) Região 5.

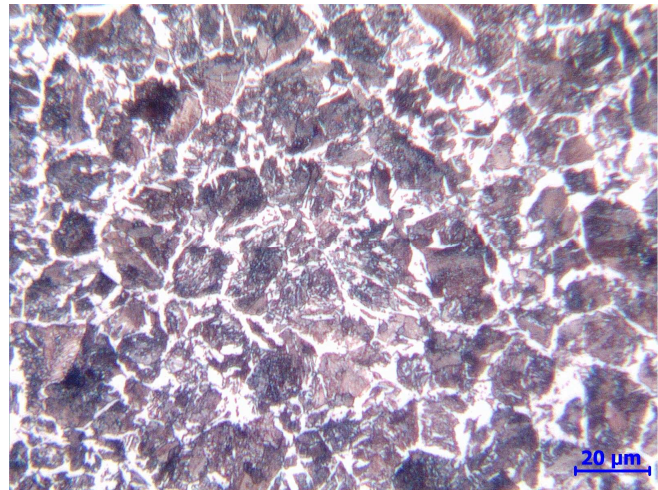
a) Barra de 12,5mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

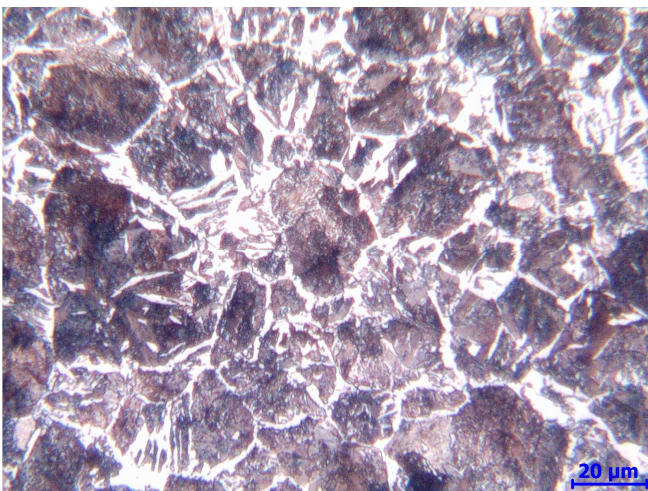


Figura 5.15 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

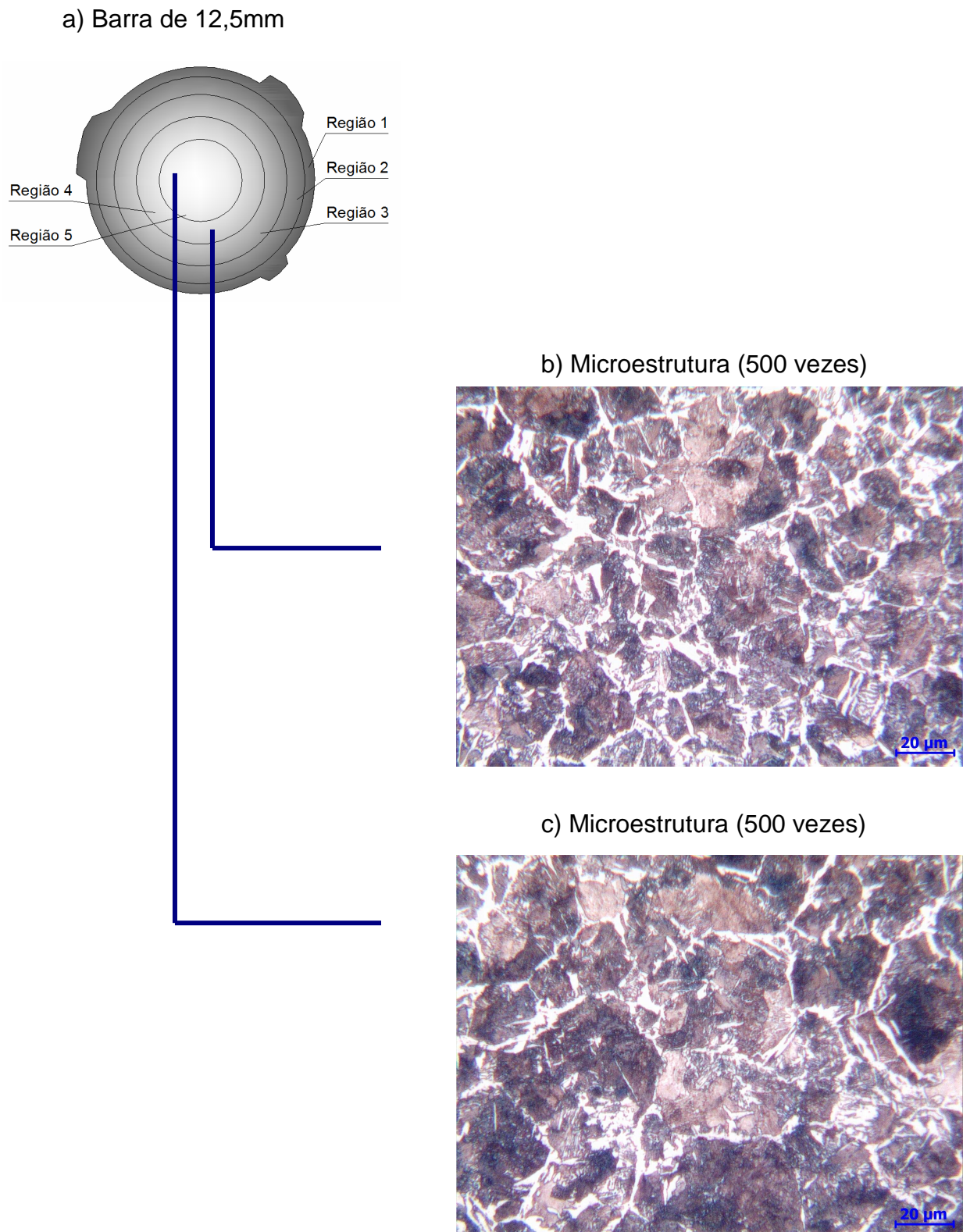
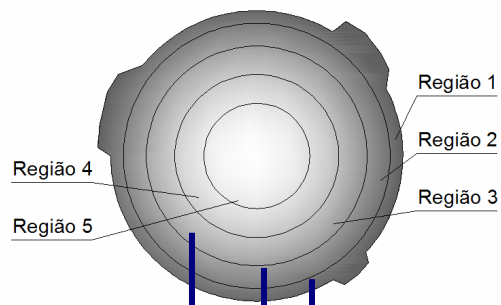
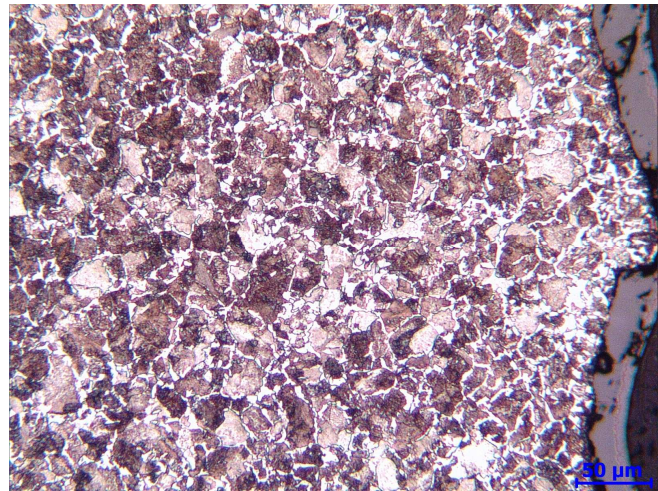


Figura 5.16 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 4, c) Região 5.

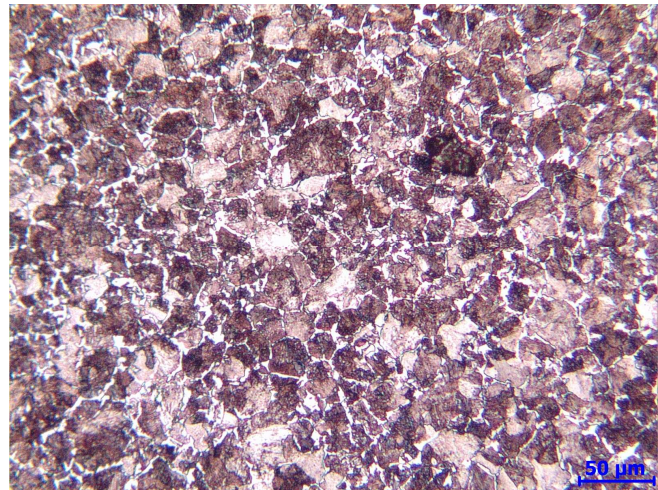
a) Barra de 16mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

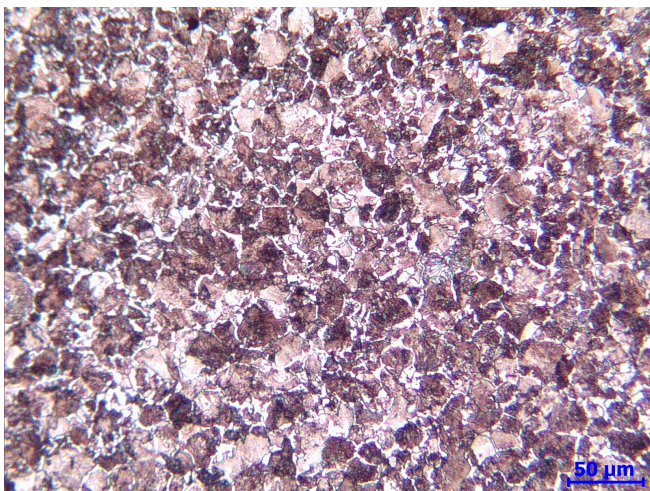


Figura 5.17 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

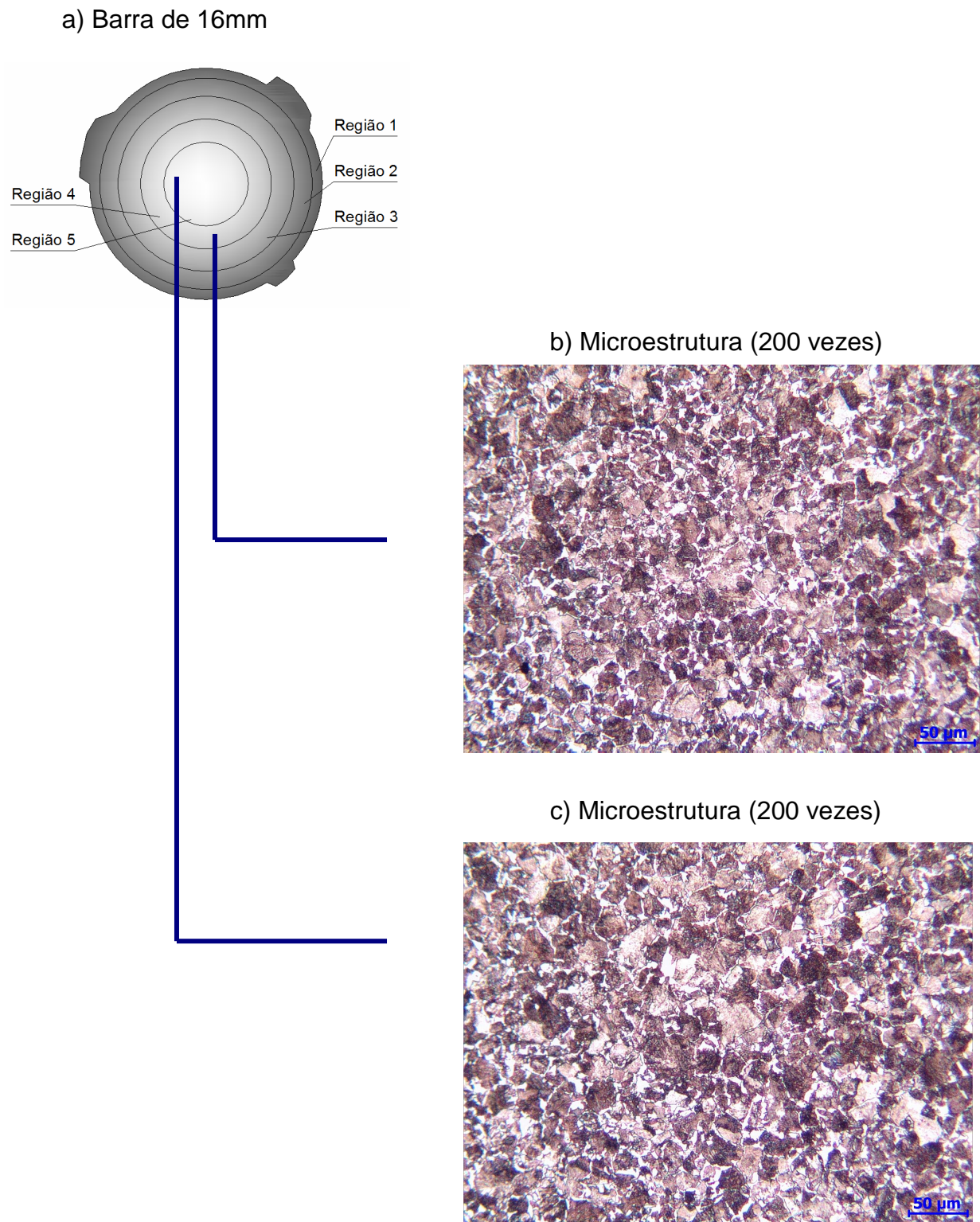
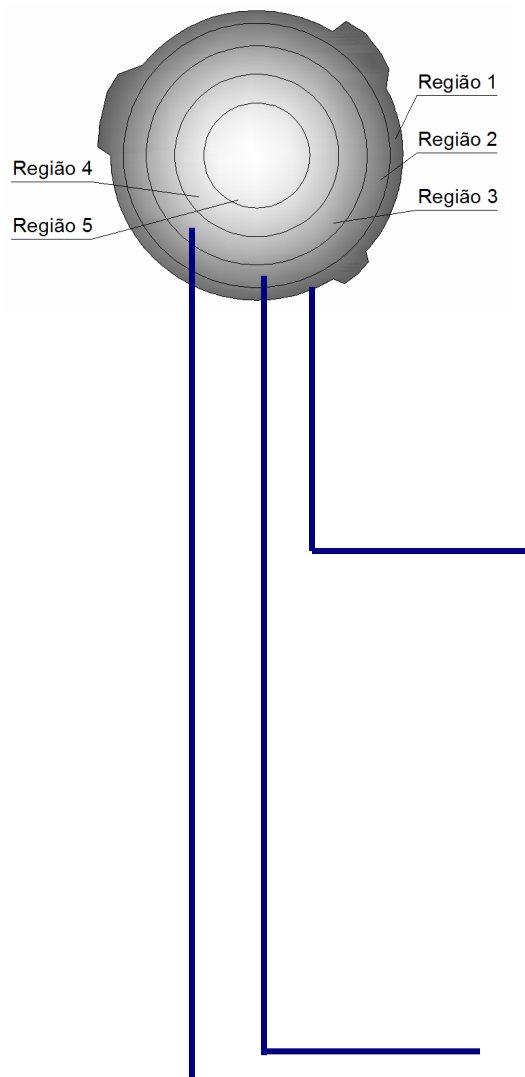
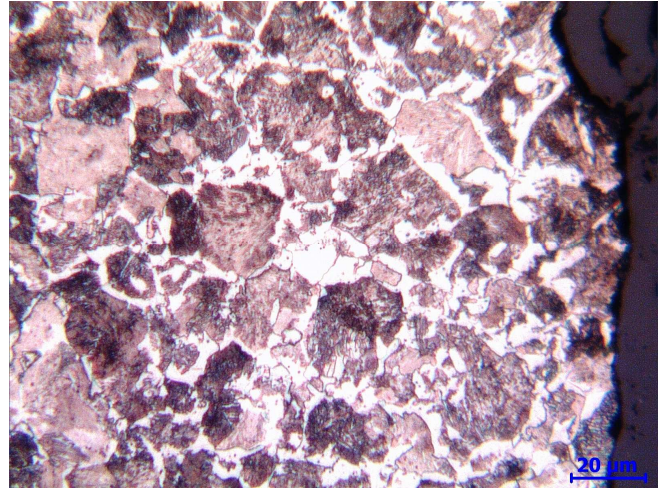


Figura 5.18 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

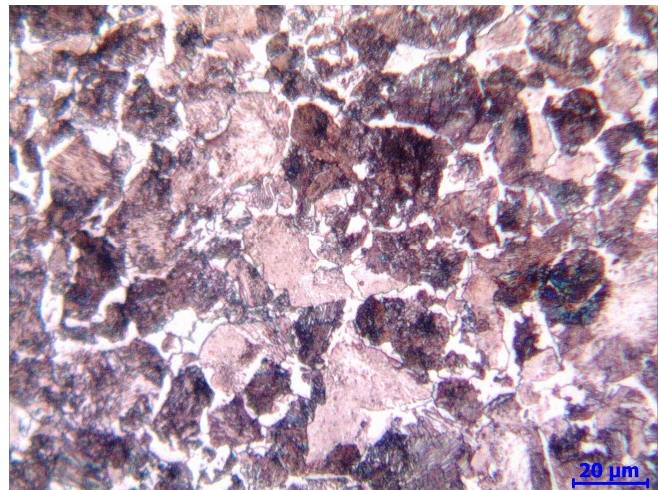
a) Barra de 16mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

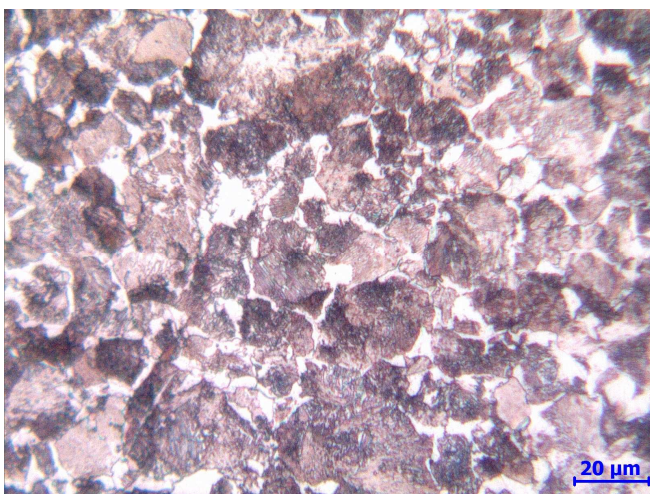
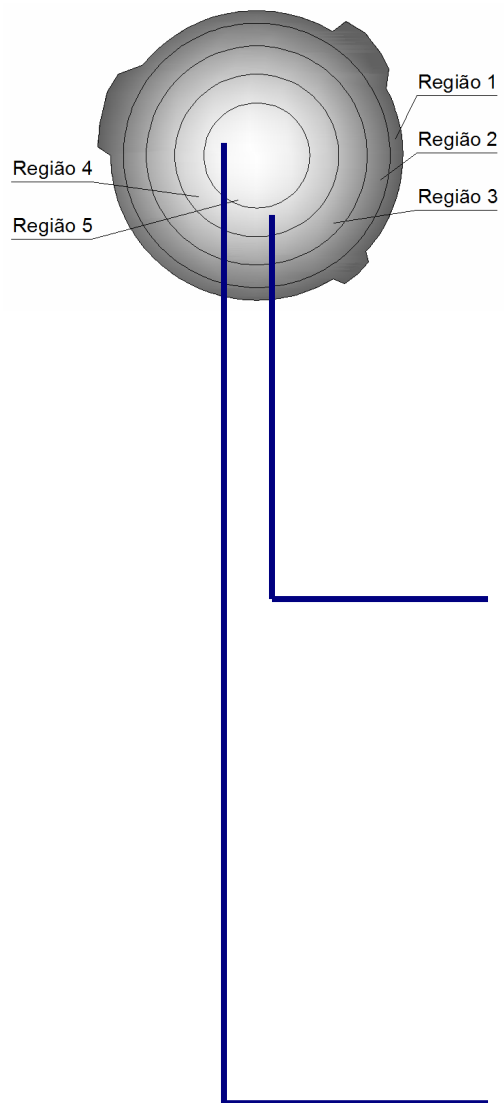
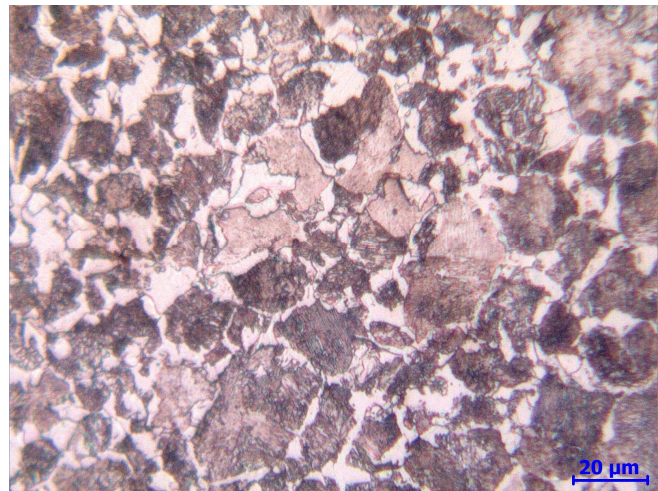


Figura 5.19 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Barra de 16mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)

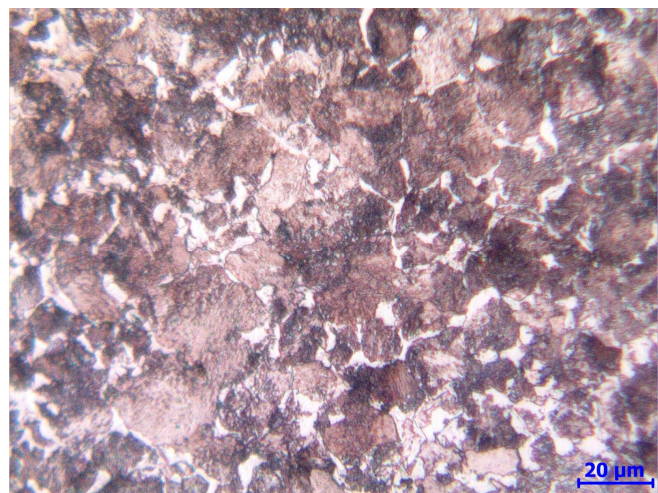
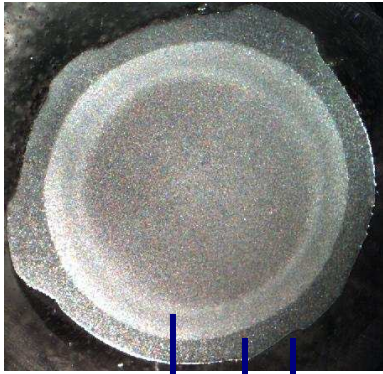
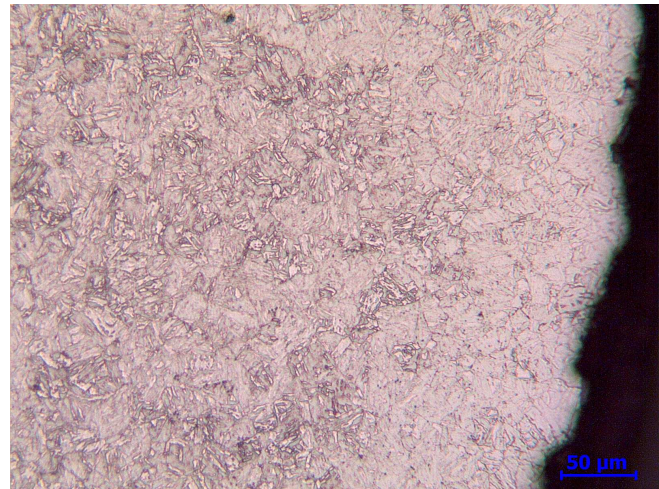


Figura 5.20 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

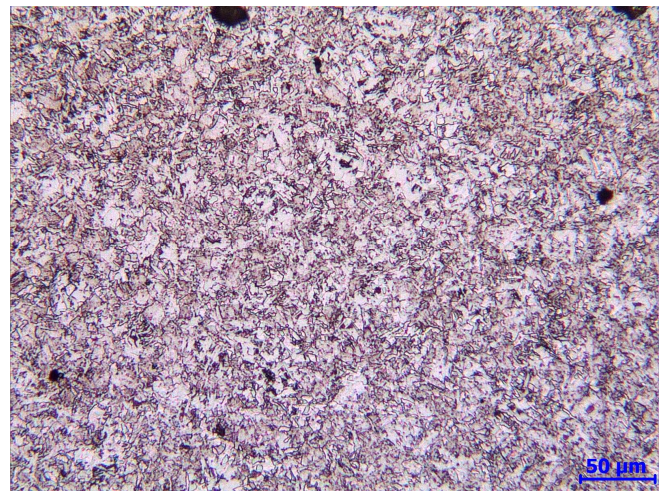
a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

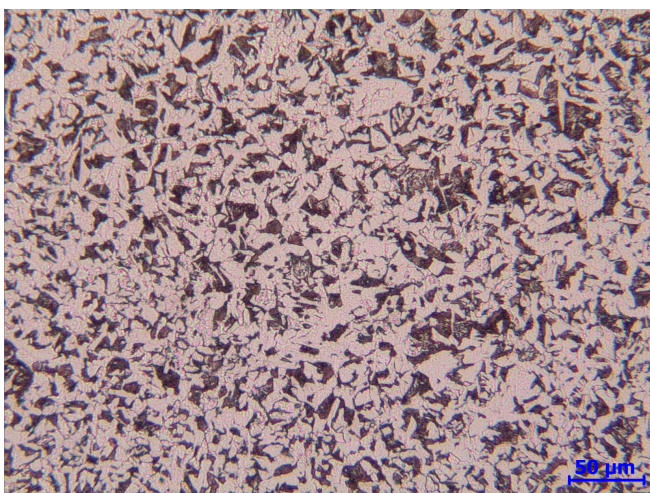
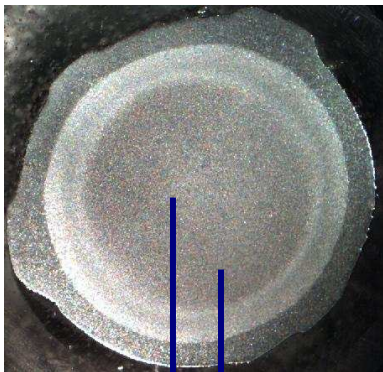
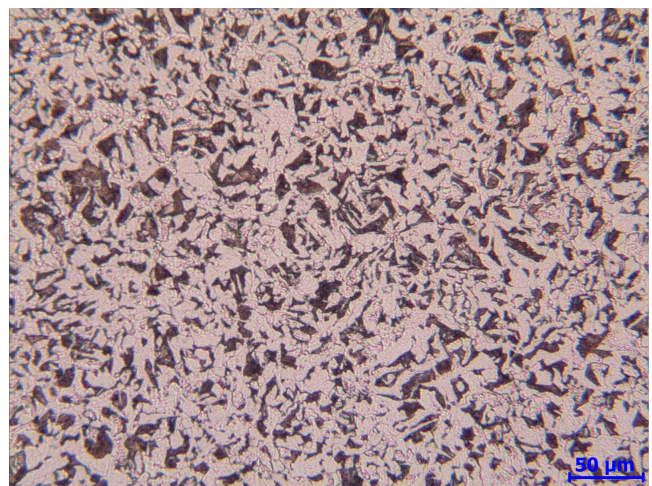


Figura 5.21 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)

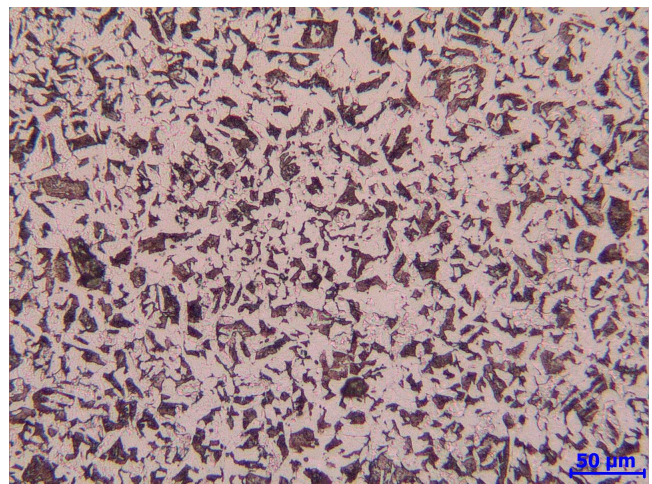
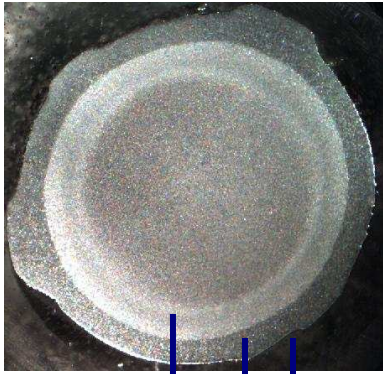
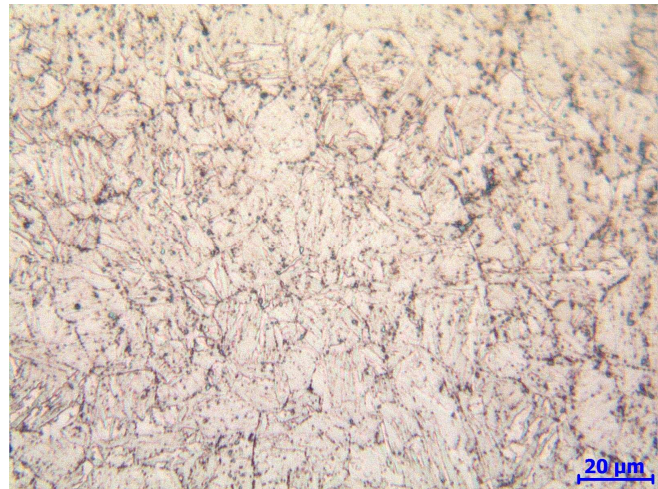


Figura 5.22 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

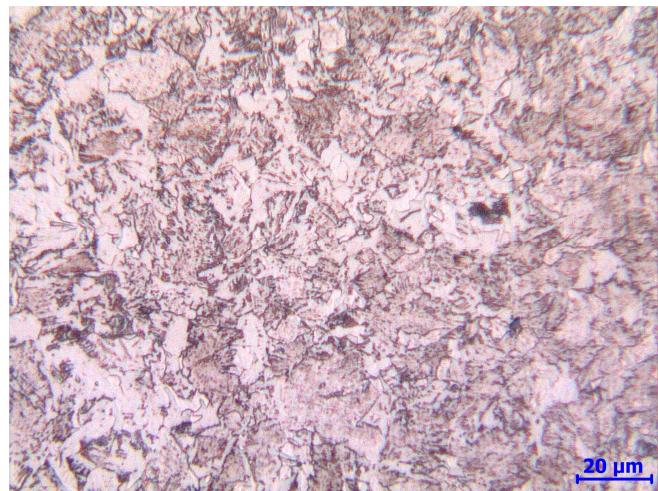
a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

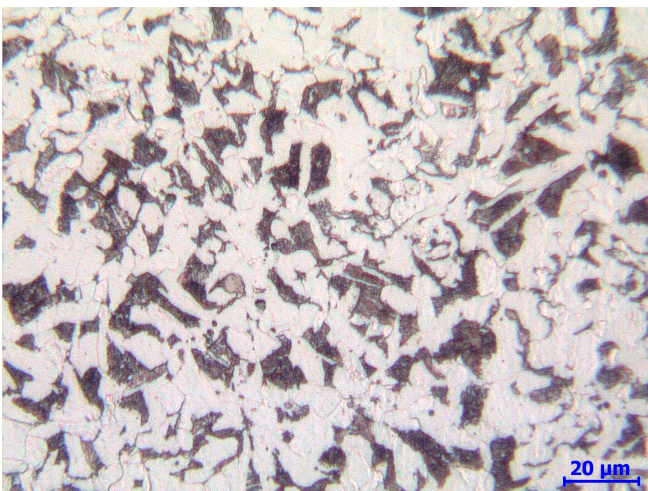
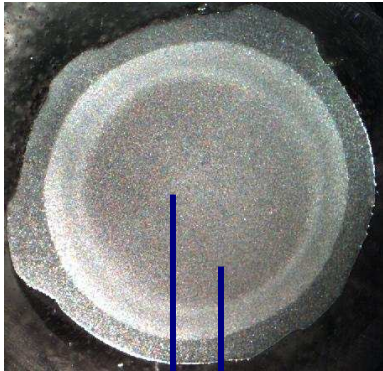
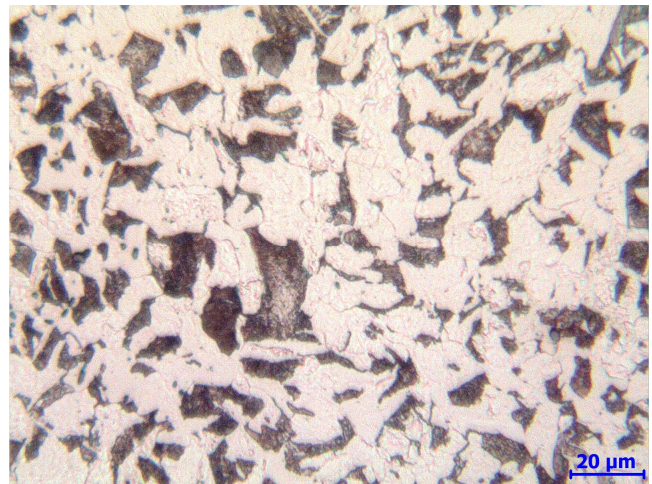


Figura 5.23 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)

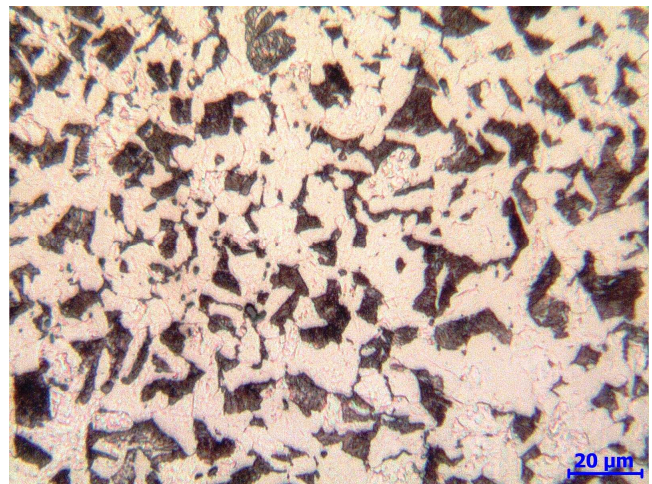
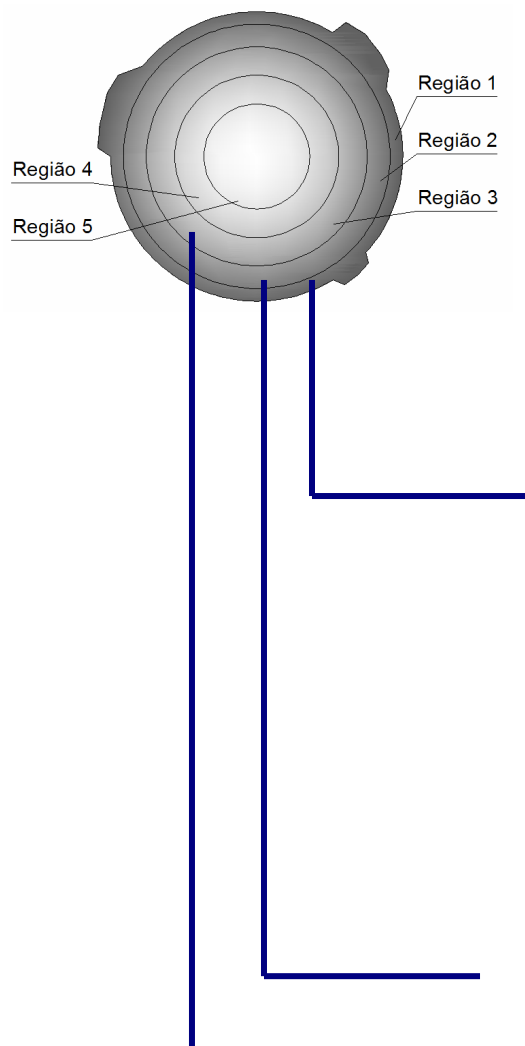
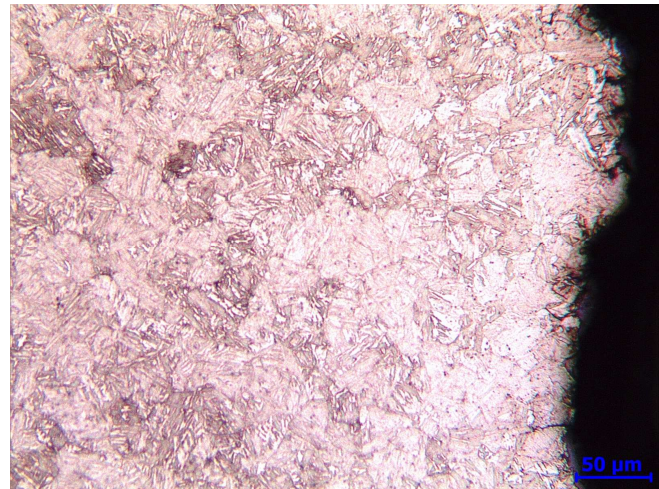


Figura 5.24 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 4, c) Região 5.

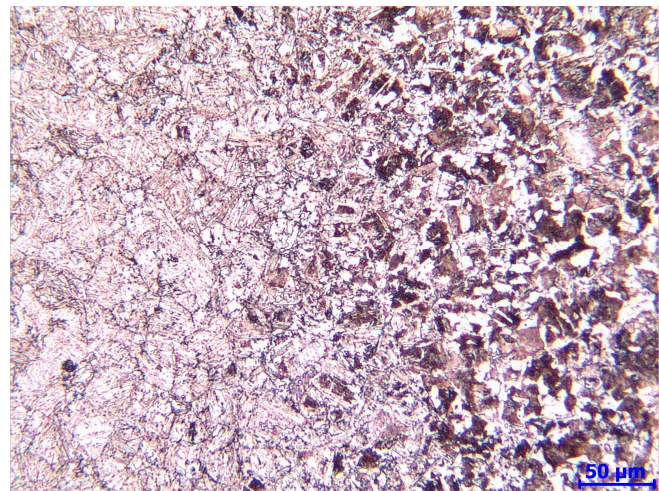
a) Barra de 25,4mm



b) Microestrutura (200 vezes)



c) Microestrutura (200 vezes)



d) Microestrutura (200 vezes)

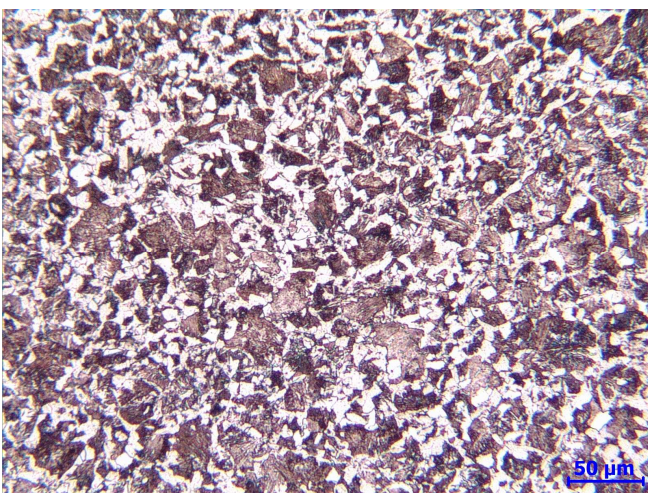


Figura 5.25 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

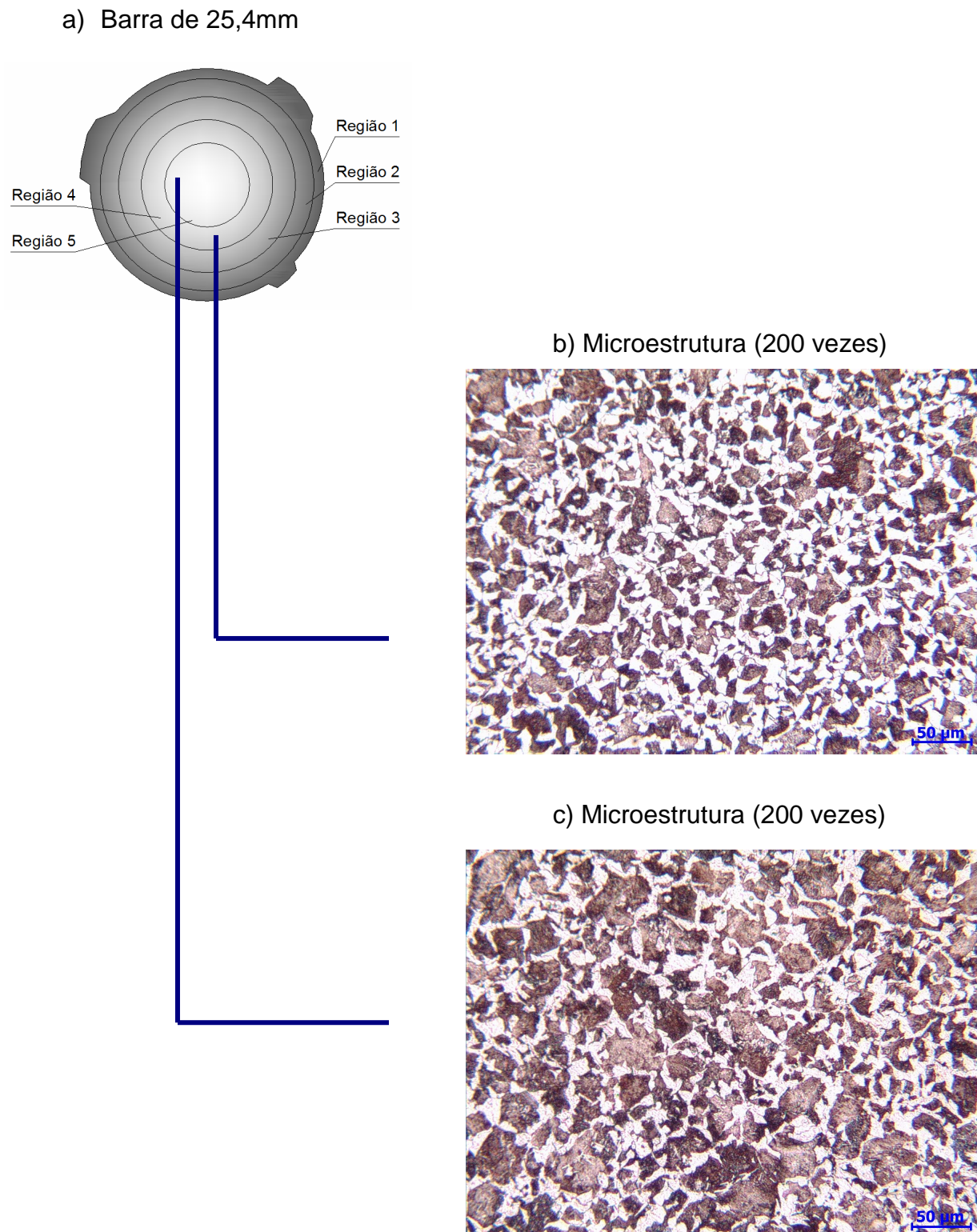
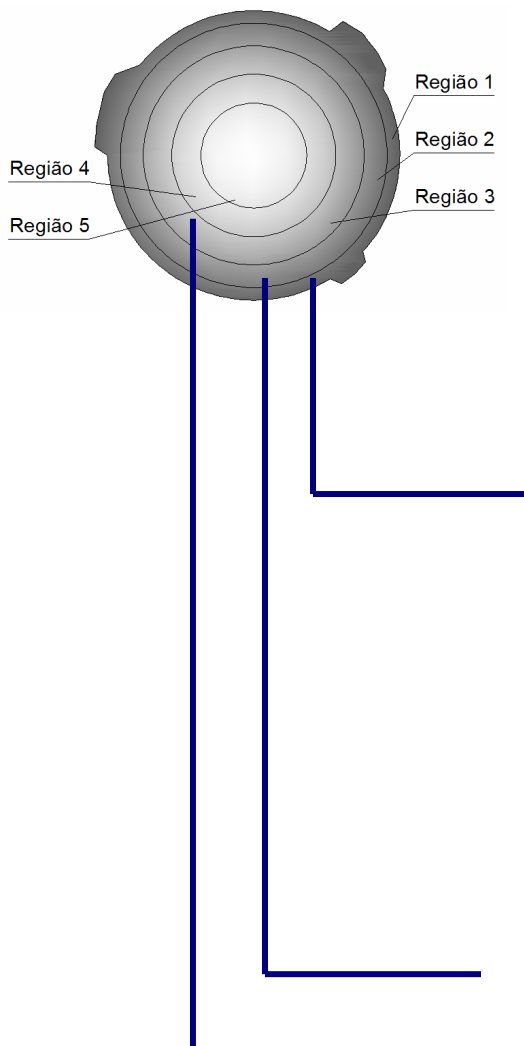
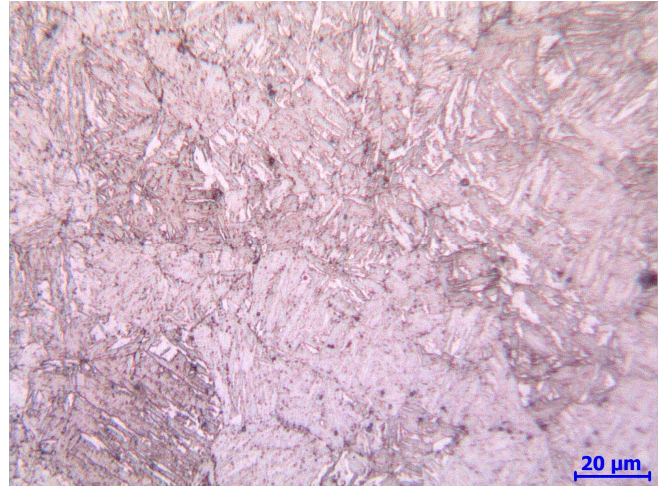


Figura 5.26 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 4, c) Região 5.

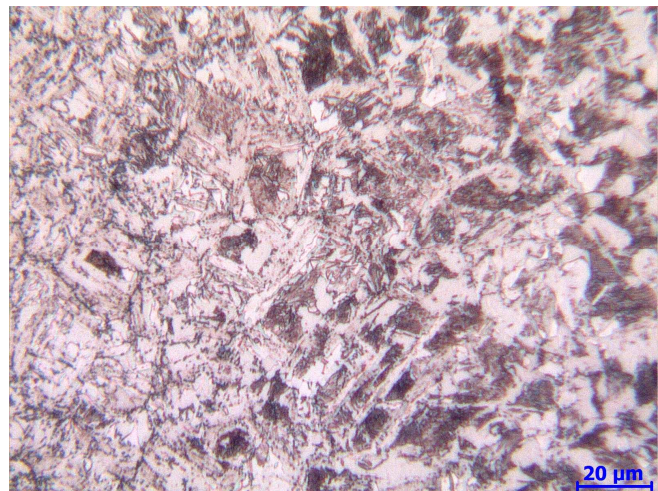
a) Barra de 25,4mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)



d) Microestrutura (500 vezes)

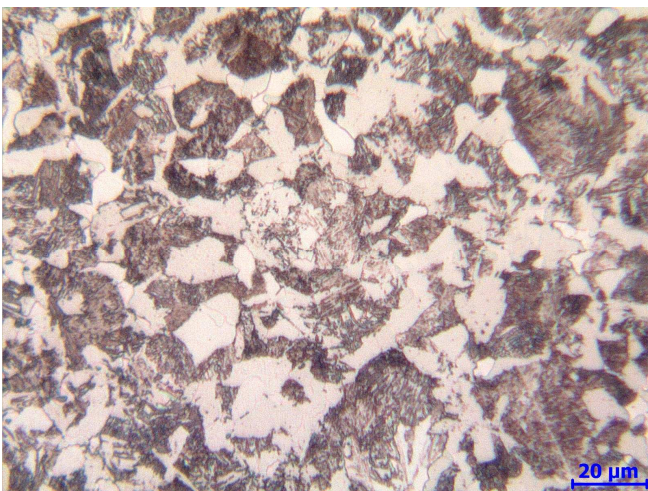
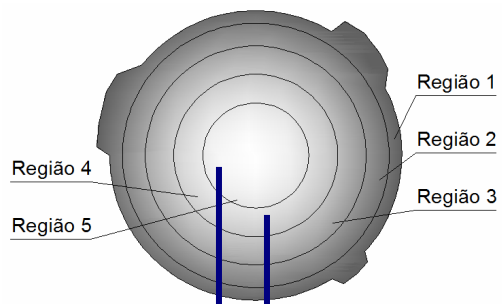
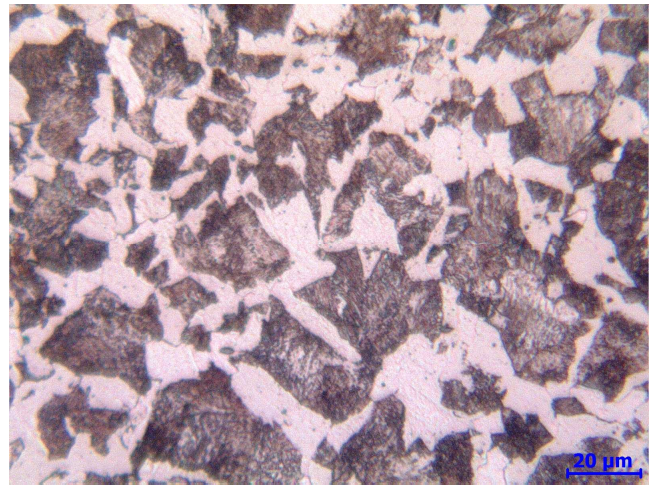


Figura 5.27 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

a) Barra de 25,4mm



b) Microestrutura (500 vezes)



c) Microestrutura (500 vezes)

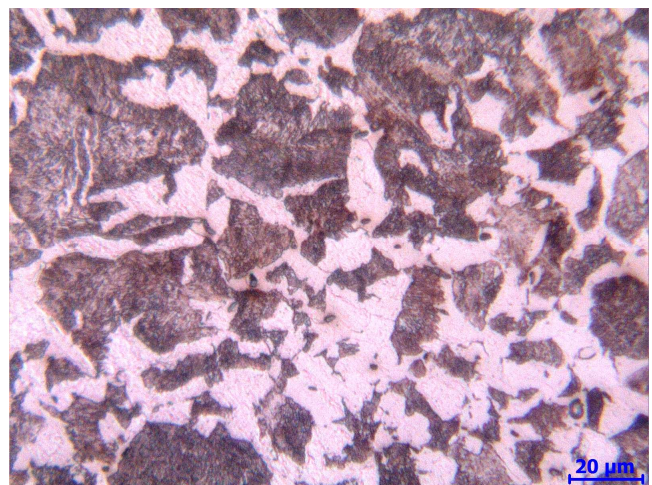
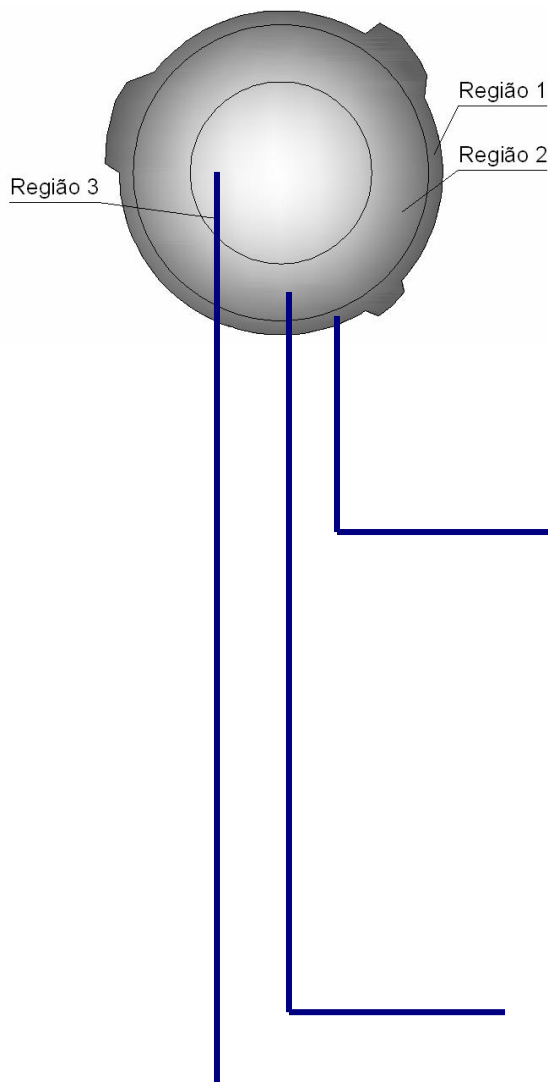
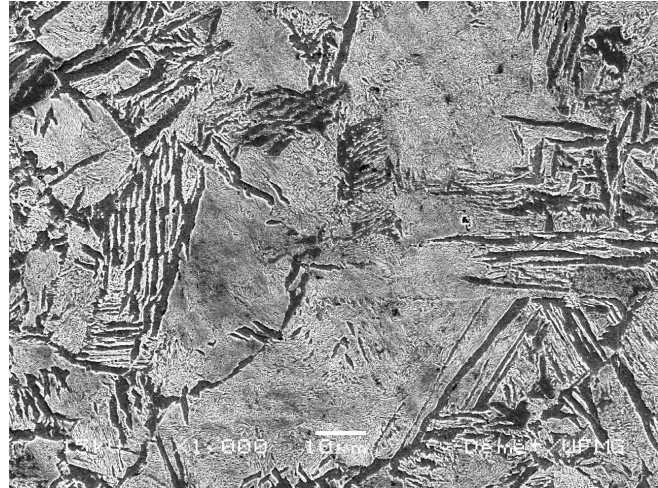


Figura 5.28 – Micrografia da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 4, c) Região 5.

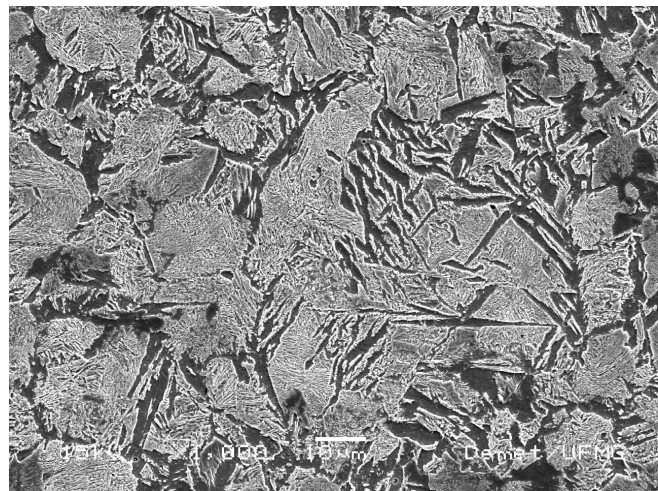
a) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

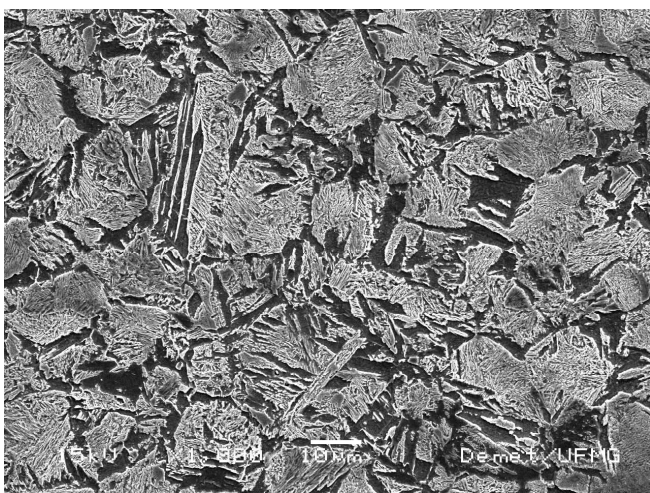
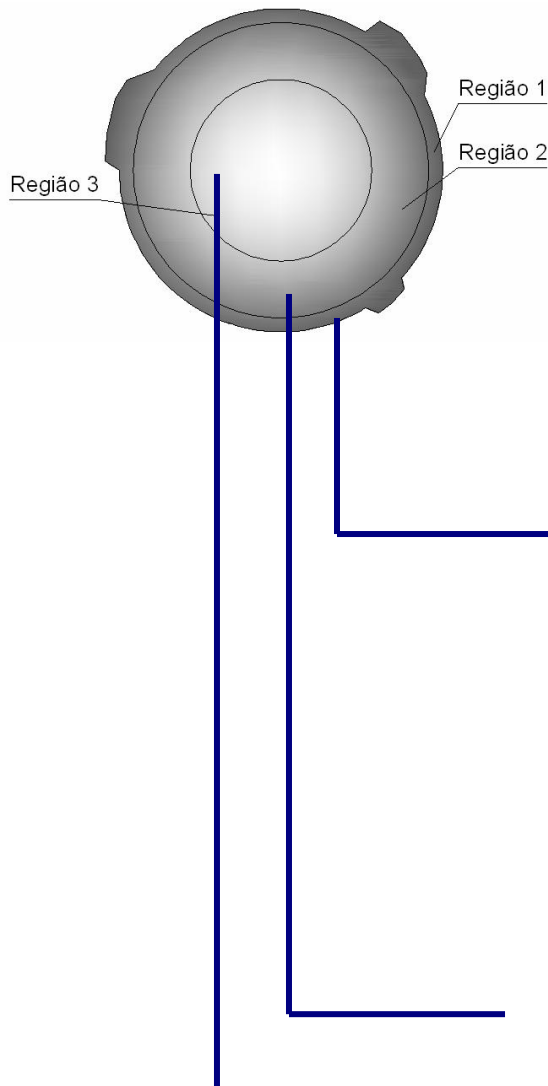
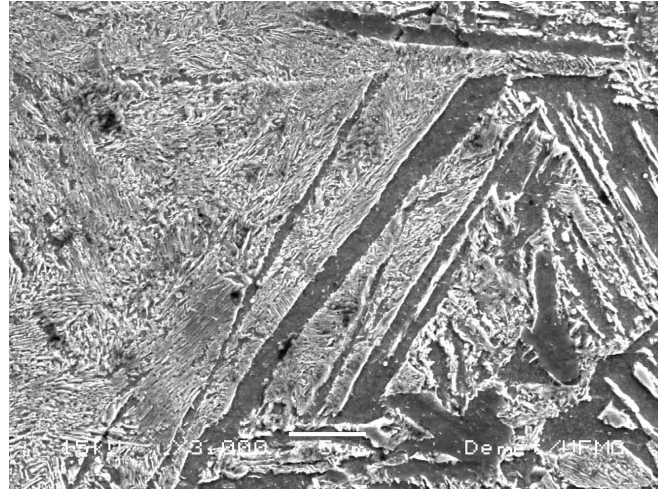


Figura 5.29 – MEV da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

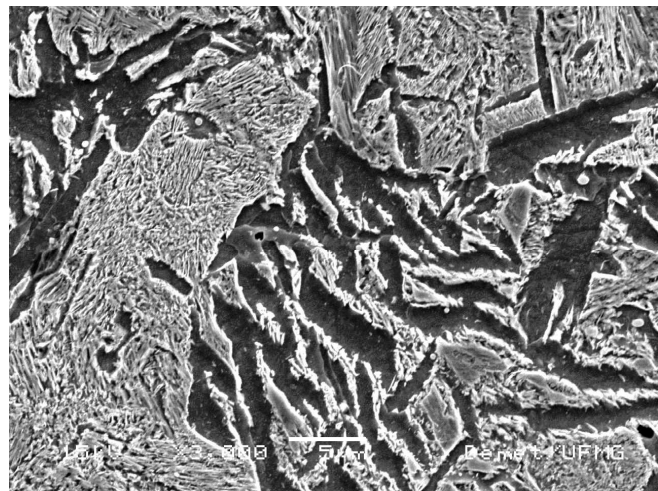
a) Barra de 6,3mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

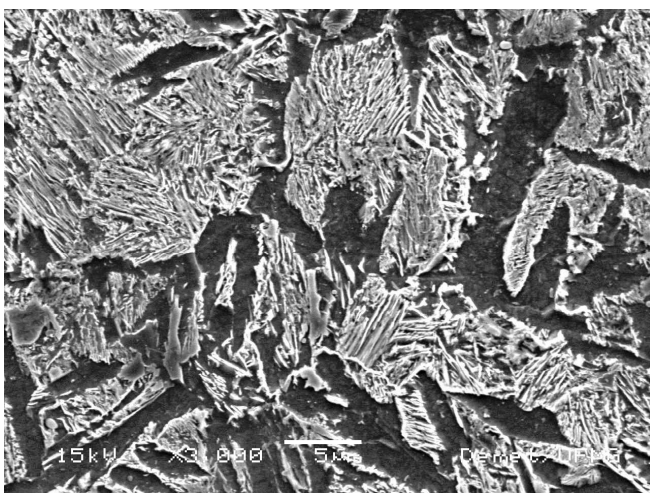
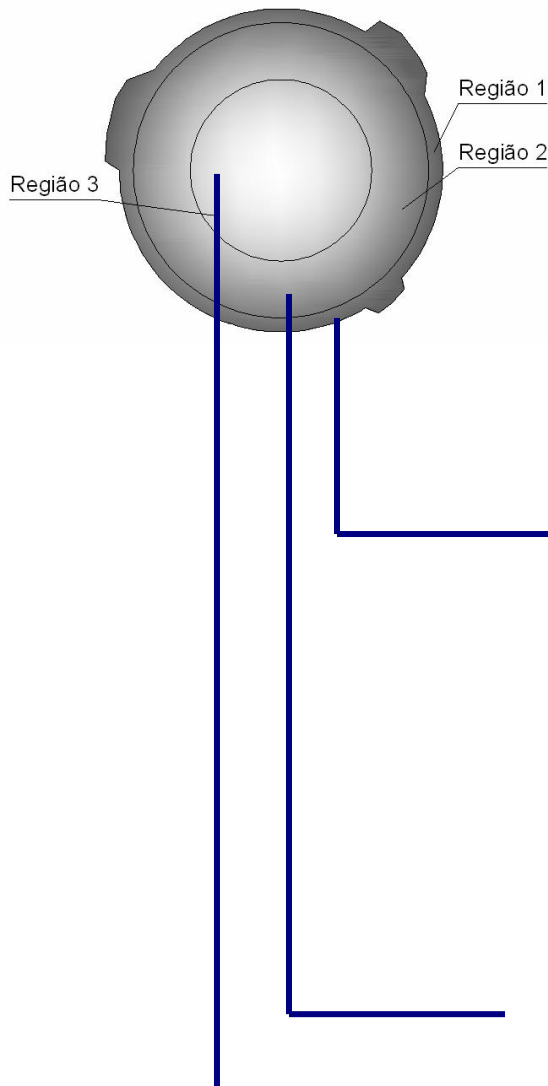
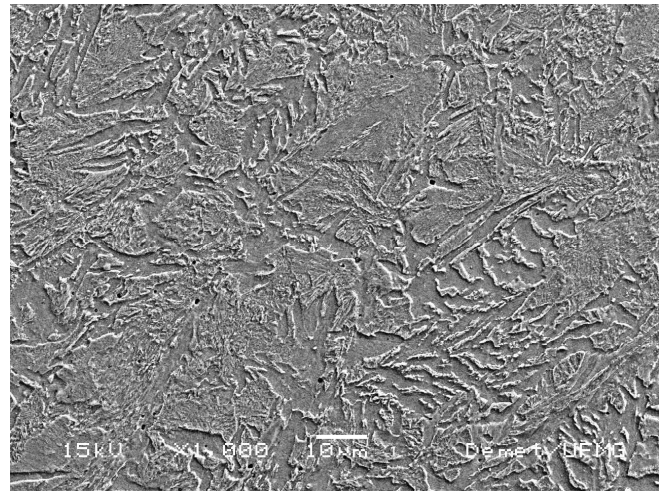


Figura 5.30 – MEV da seção transversal. a) Barra de 6,3 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

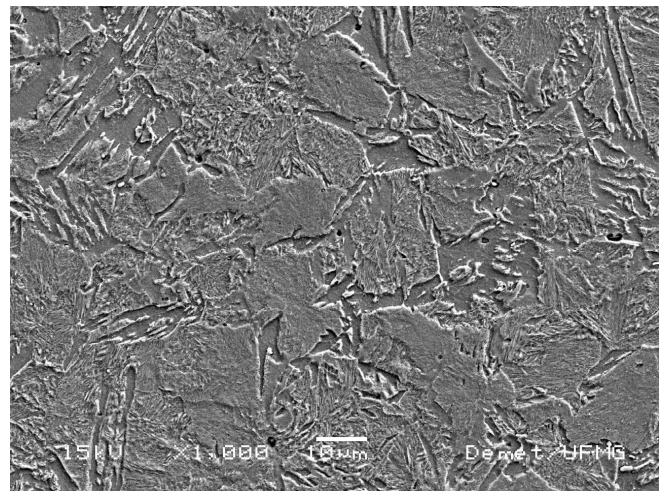
a) Barra de 8,0mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

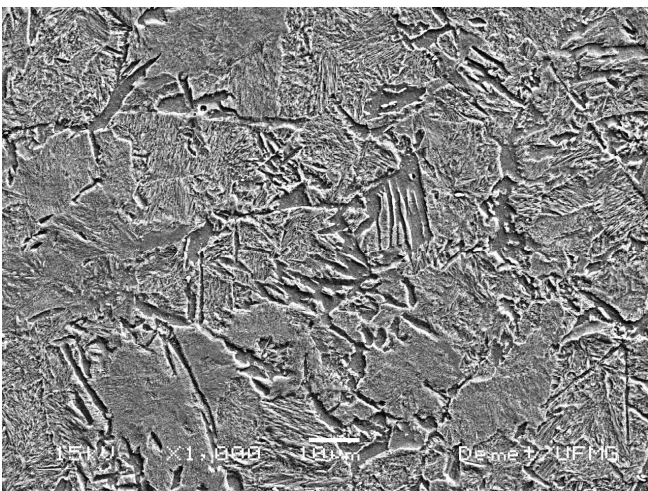
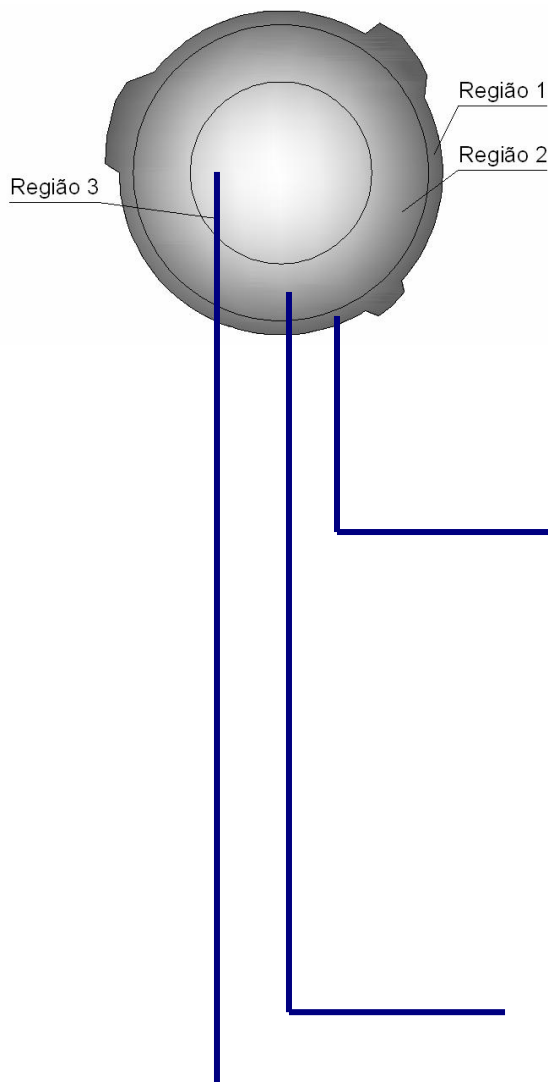
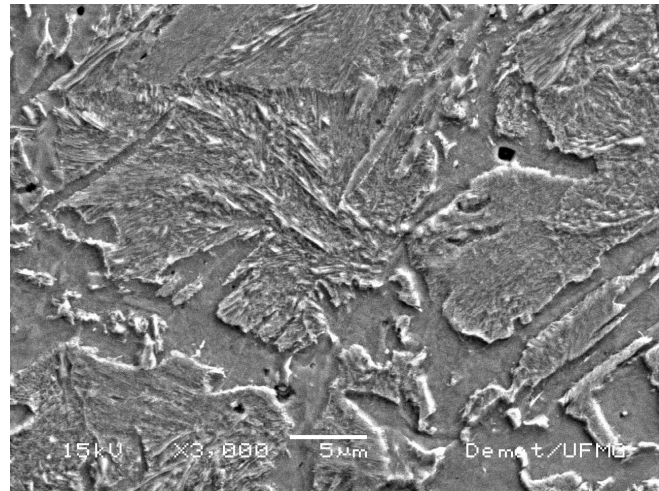


Figura 5.31 – MEV da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

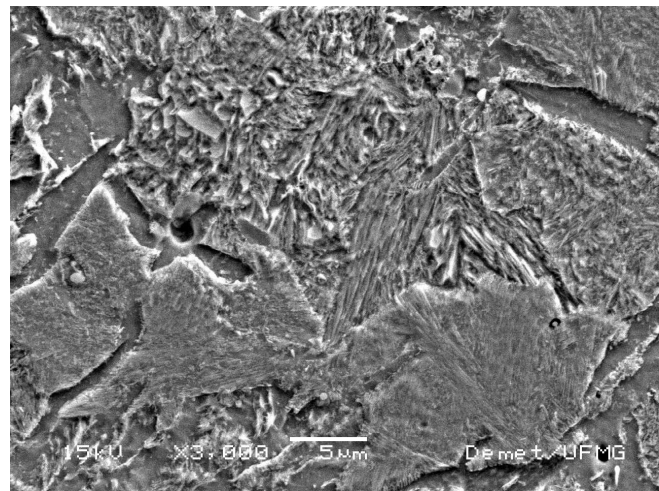
a) Barra de 8,0mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

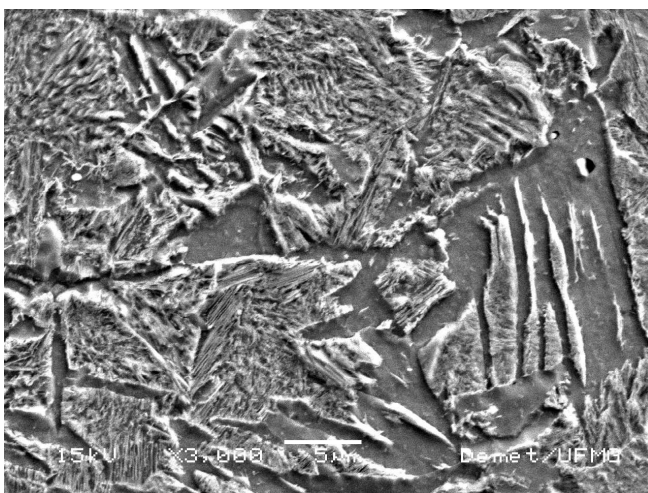
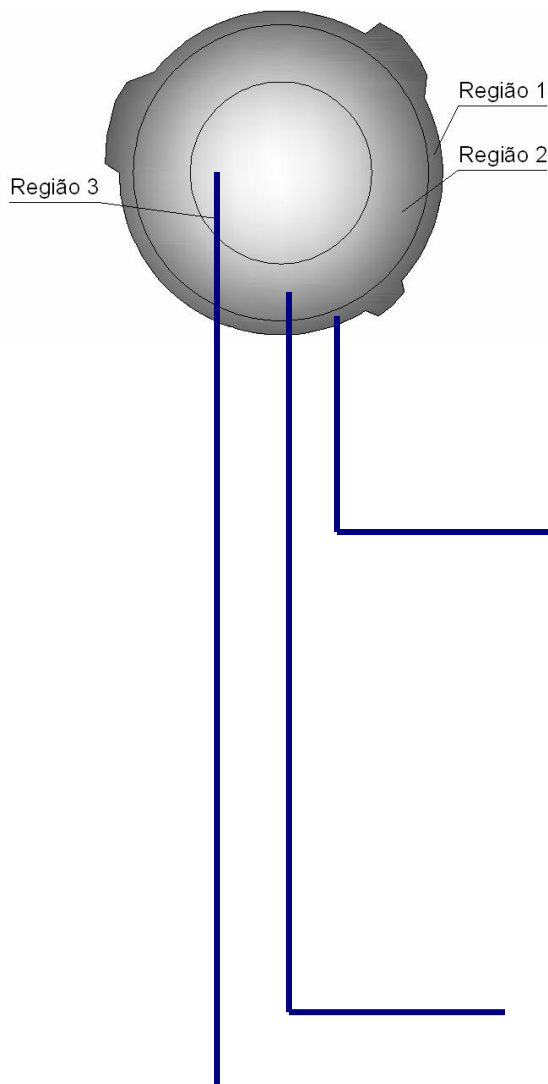
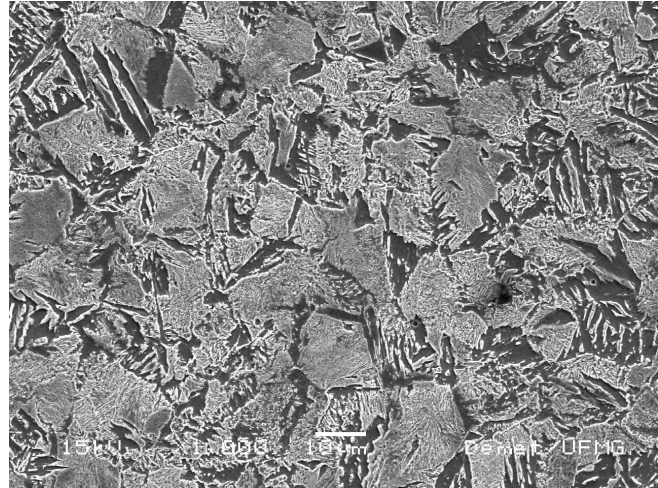


Figura 5.32 – MEV da seção transversal. a) Barra de 8,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

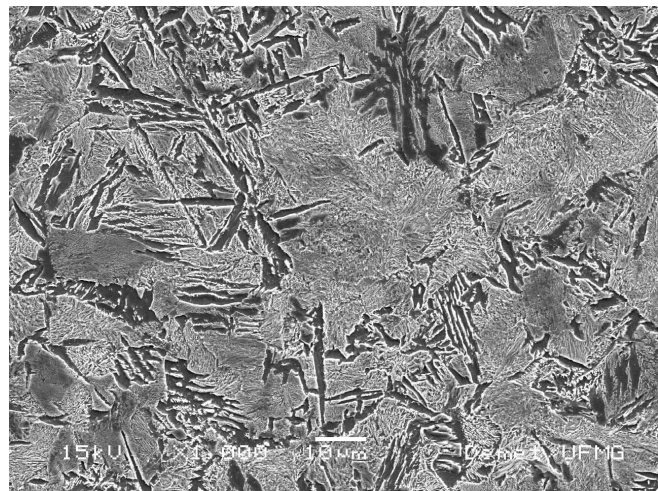
a) Barra de 10mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

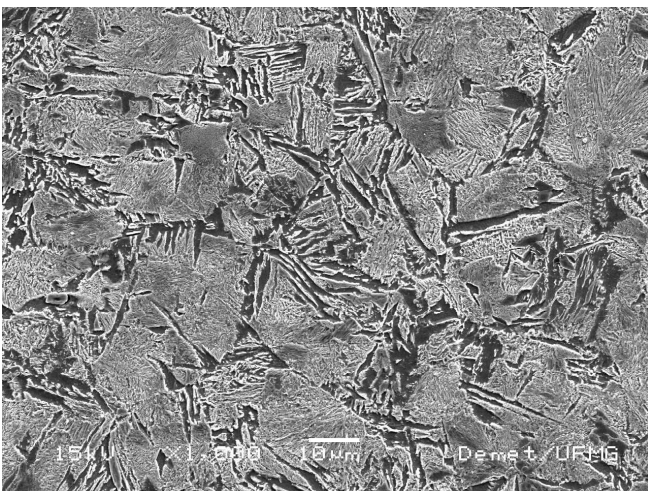
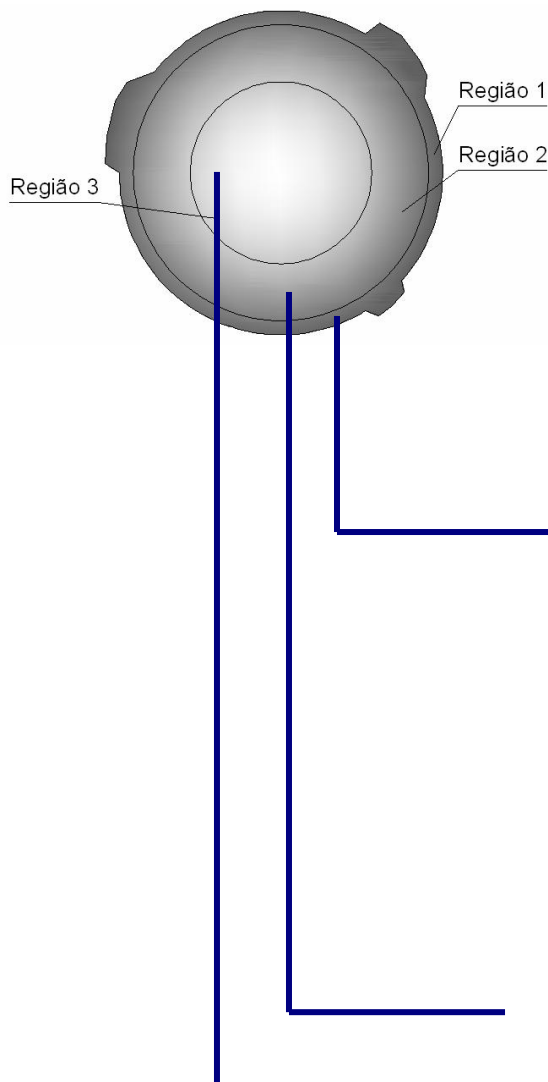
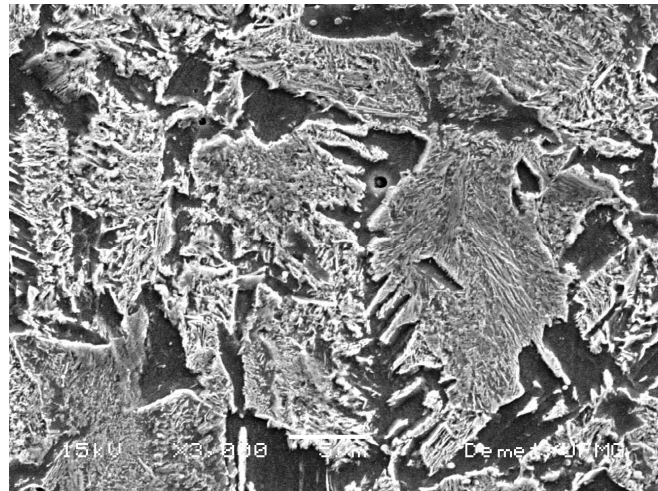


Figura 5.33 – MEV da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

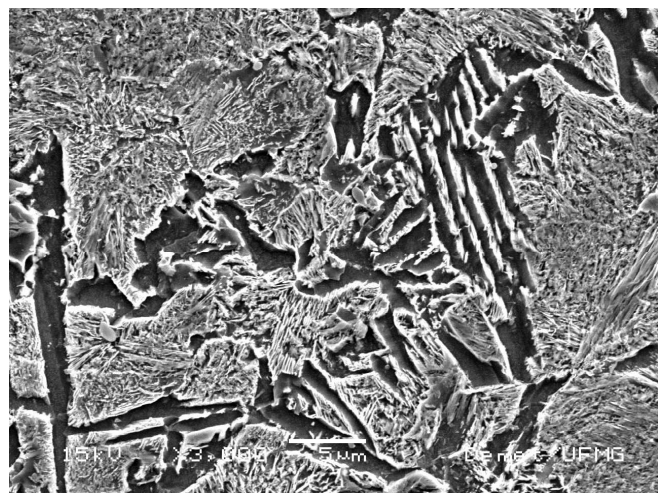
a) Barra de 10mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

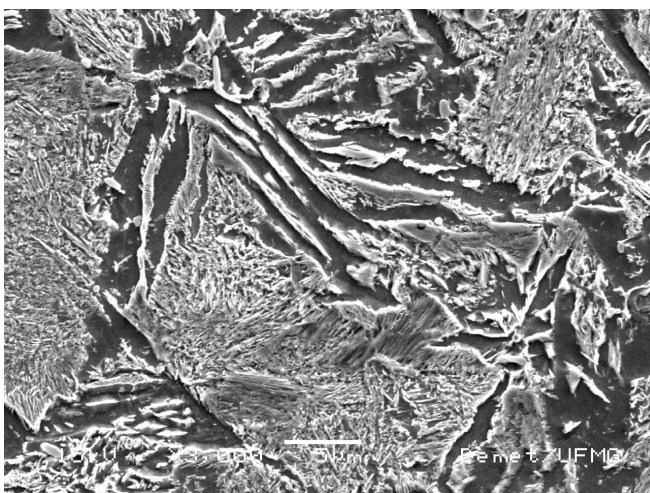
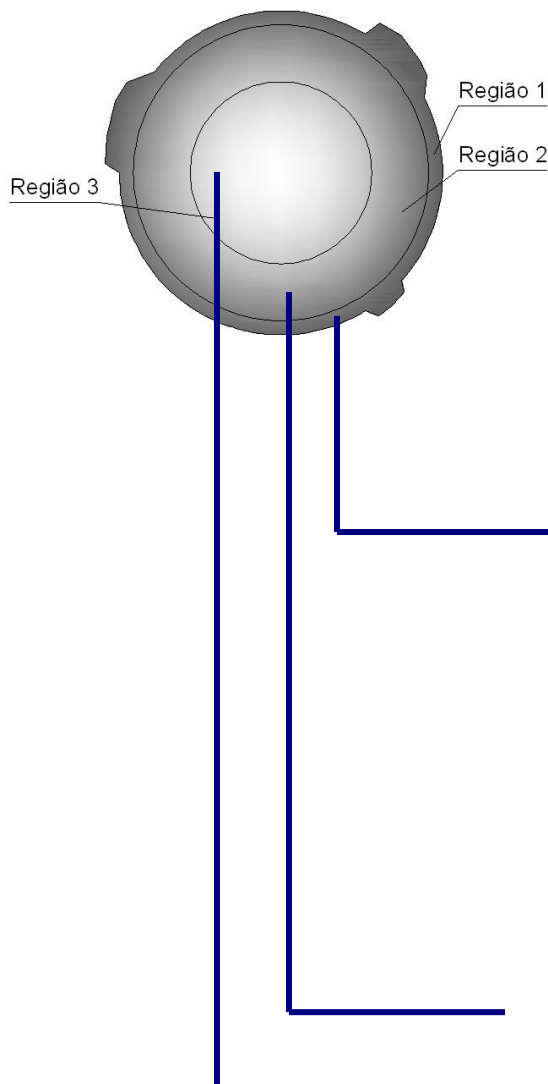
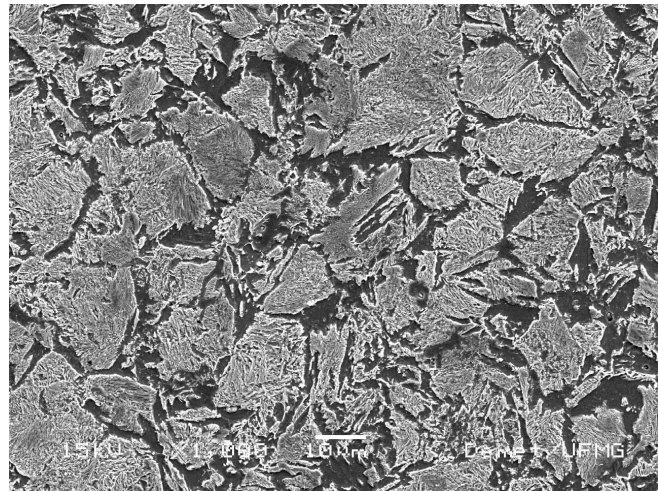


Figura 5.34 – MEV da seção transversal. a) Barra de 10,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

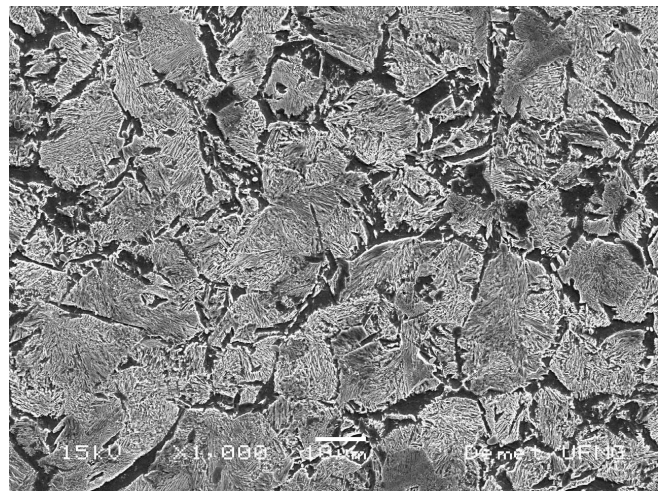
a) Barra de 12,5mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

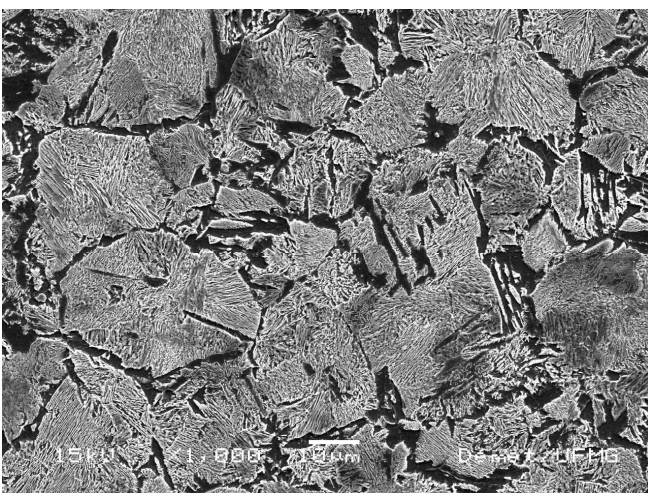
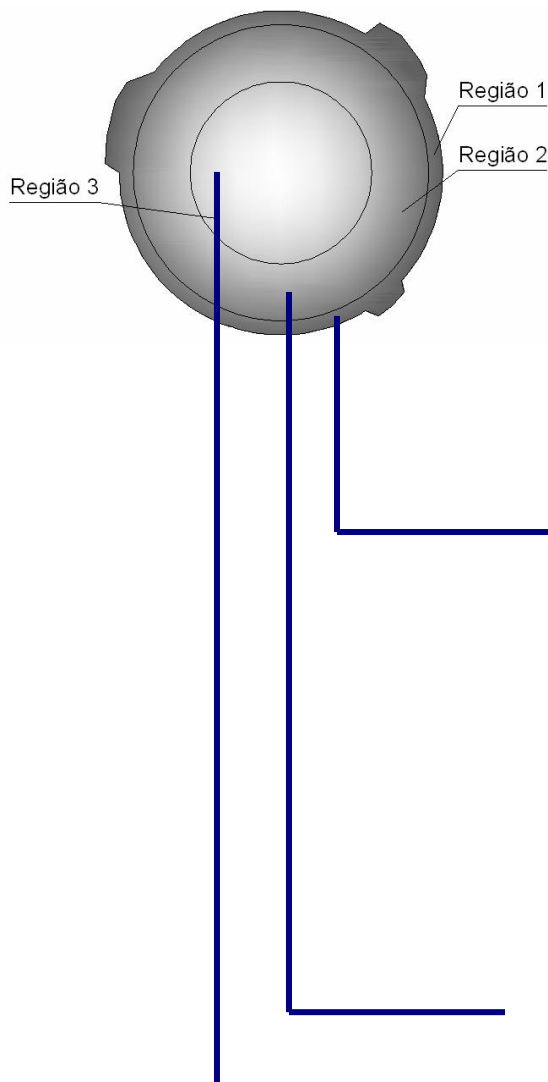
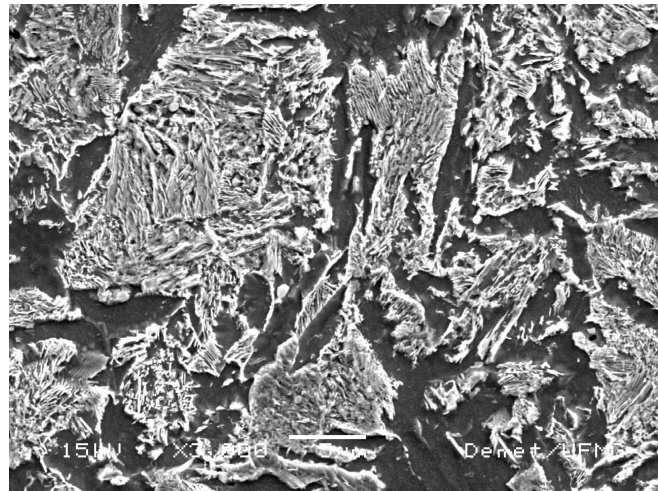


Figura 5.35 – MEV da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

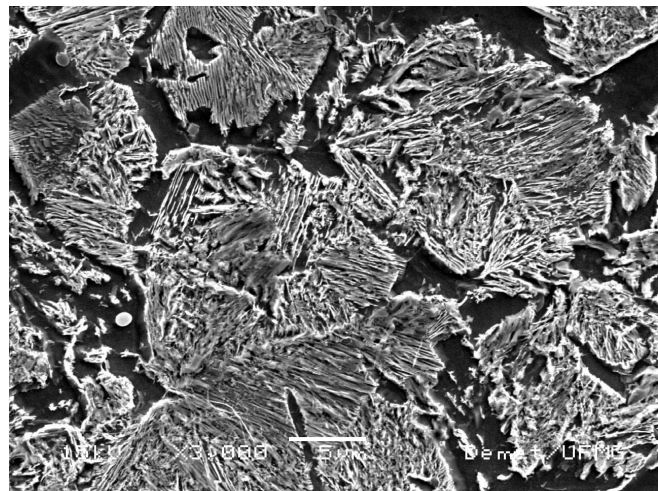
a) Barra de 12,5mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

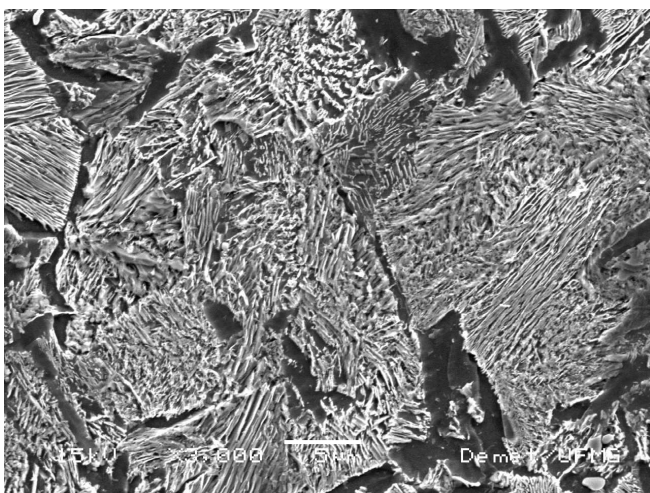
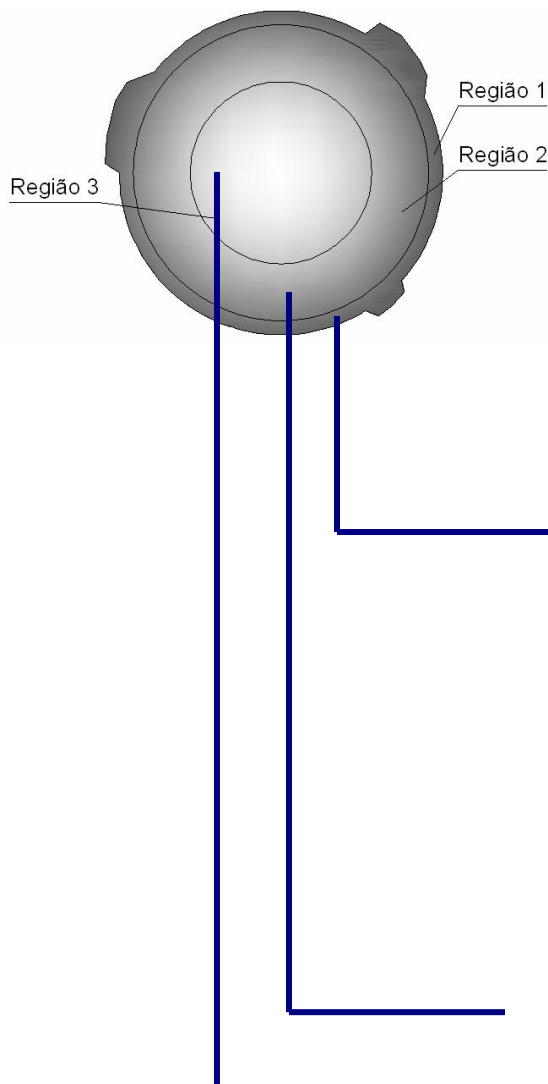
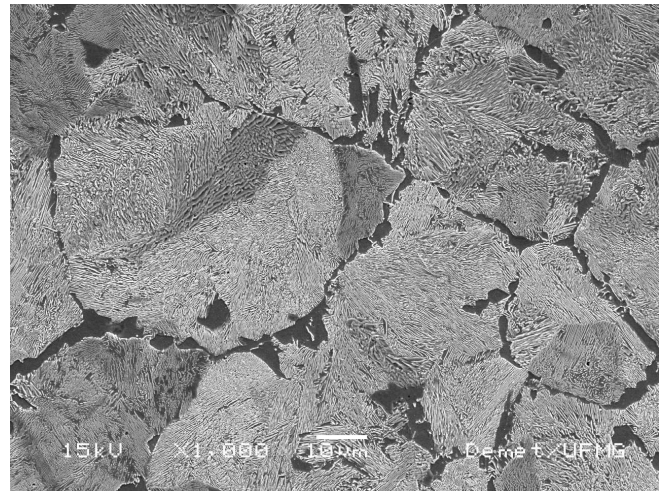


Figura 5.36 – MEV da seção transversal. a) Barra de 12,5 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

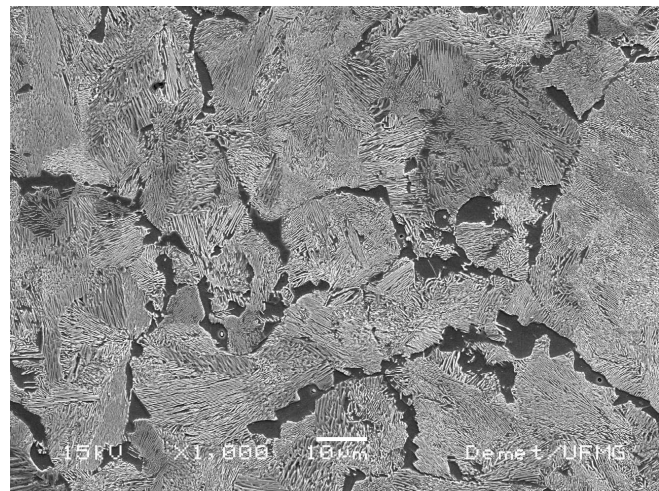
a) Barra de 16mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

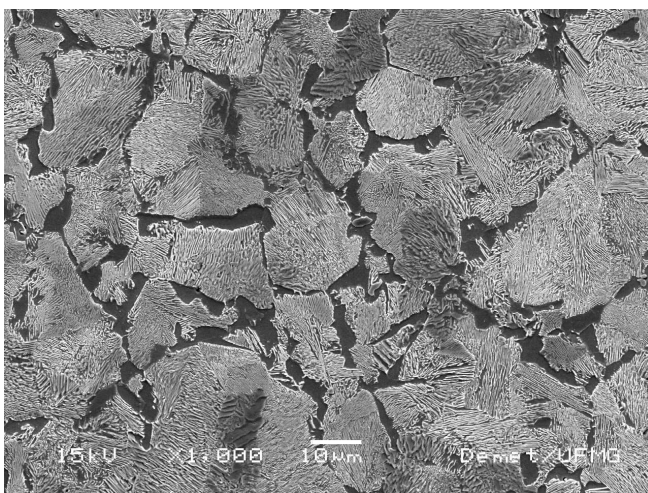
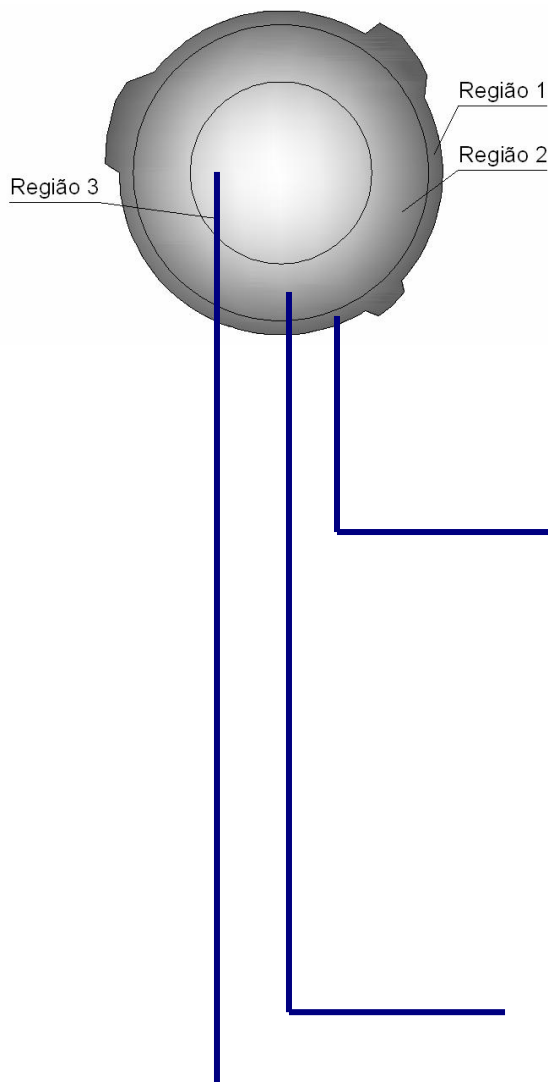
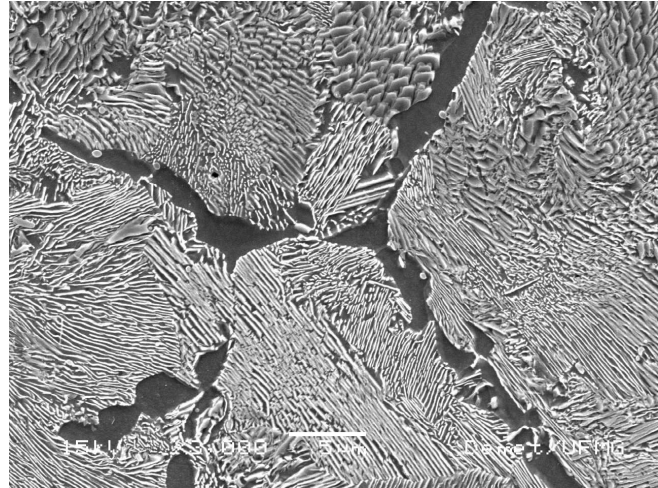


Figura 5.37 – MEV da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

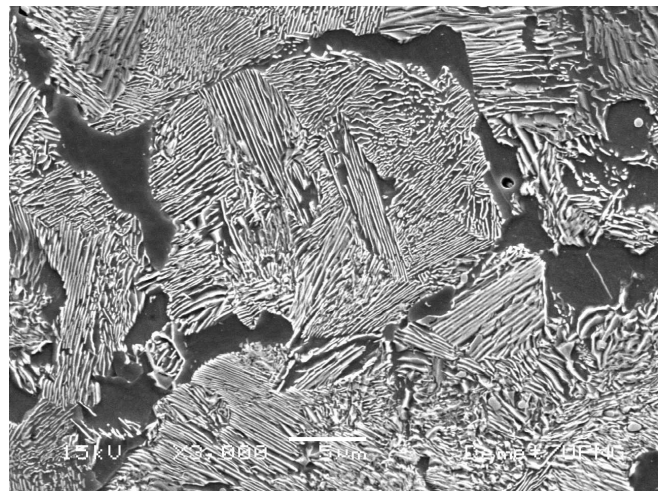
a) Barra de 16mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

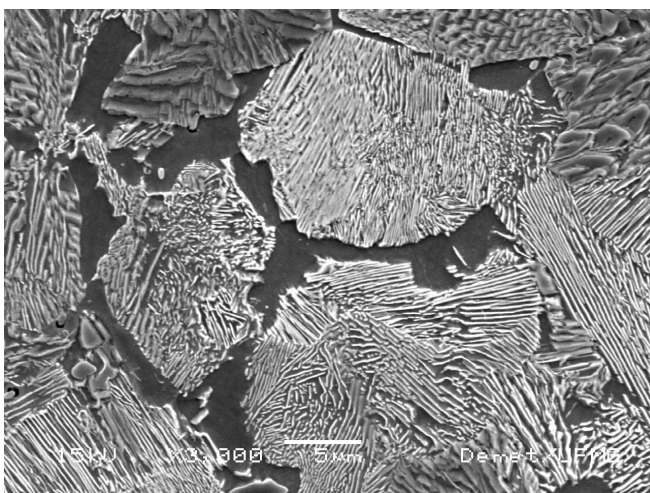
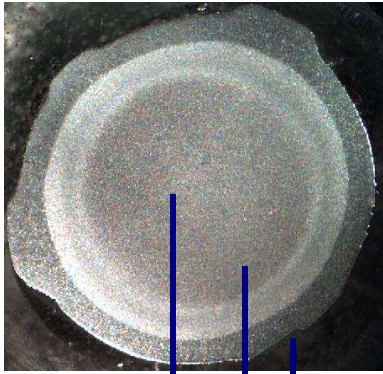
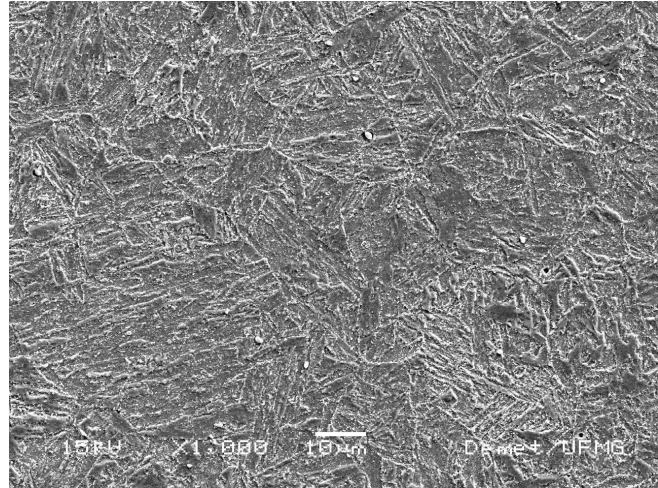


Figura 5.38 – MEV da seção transversal. a) Barra de 16,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

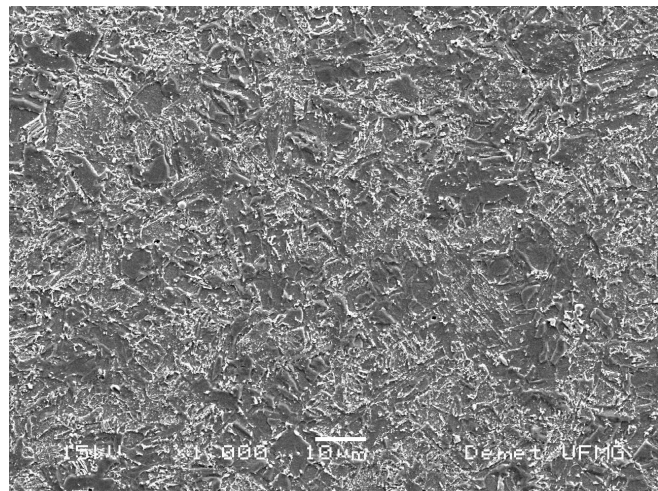
a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

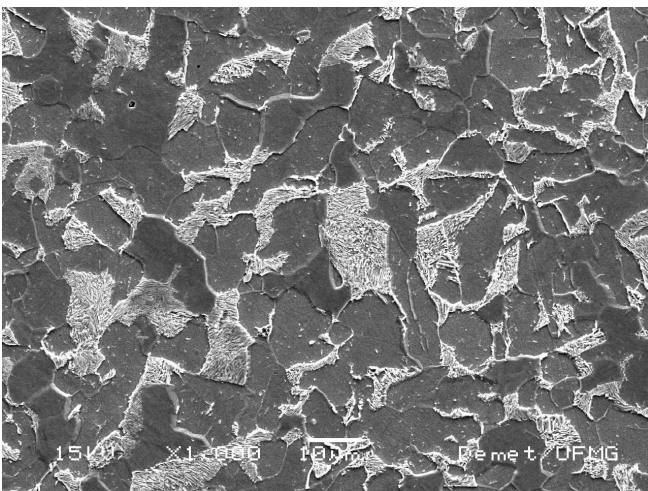
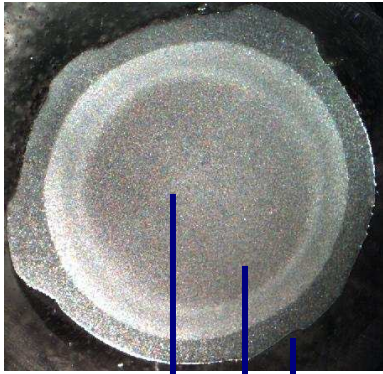
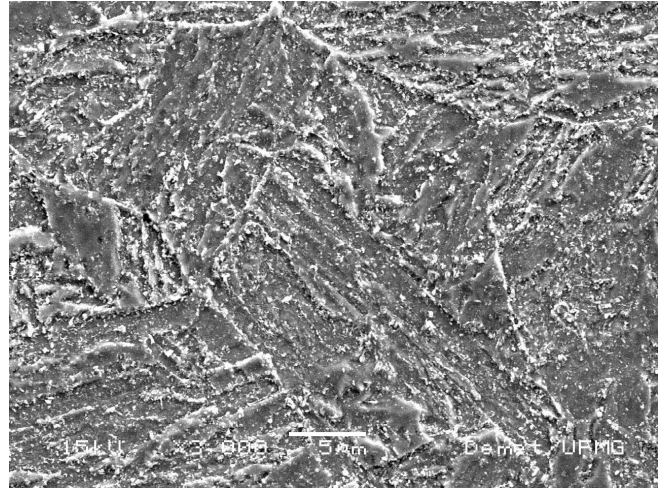


Figura 5.39 – MEV da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

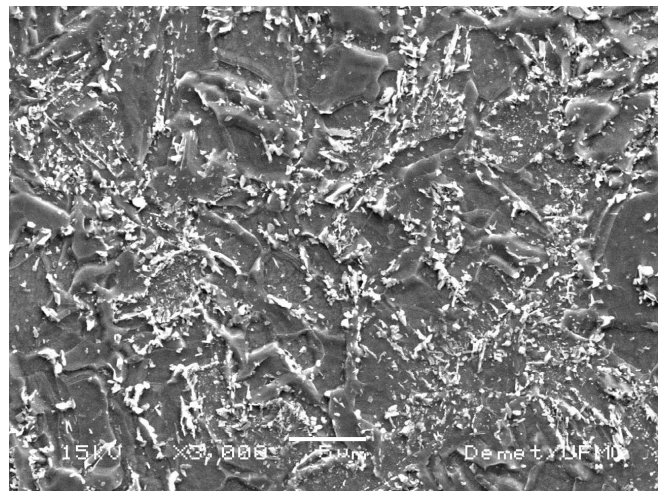
a) Macrografia 20mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

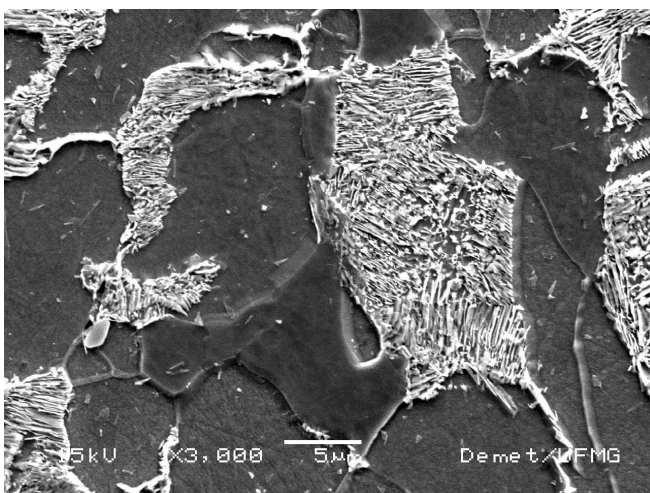
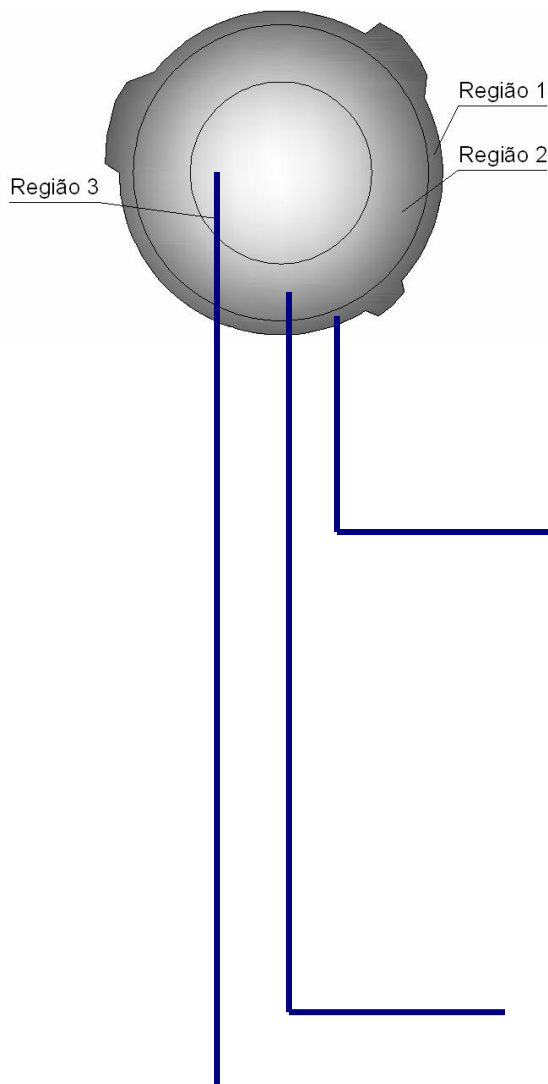
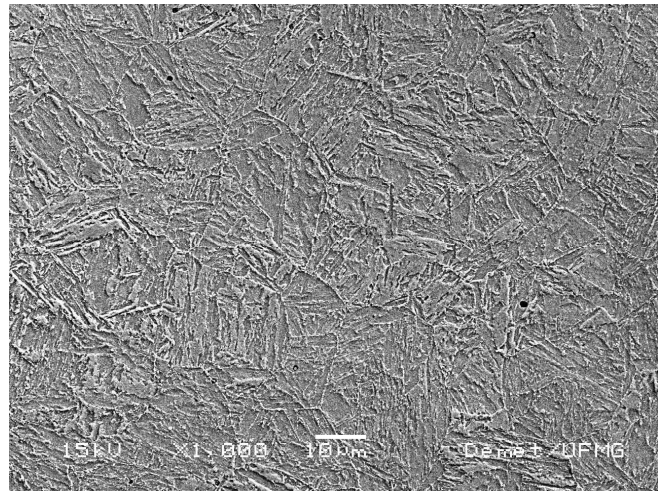


Figura 5.40 – MEV da seção transversal. a) Barra de 20,0 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

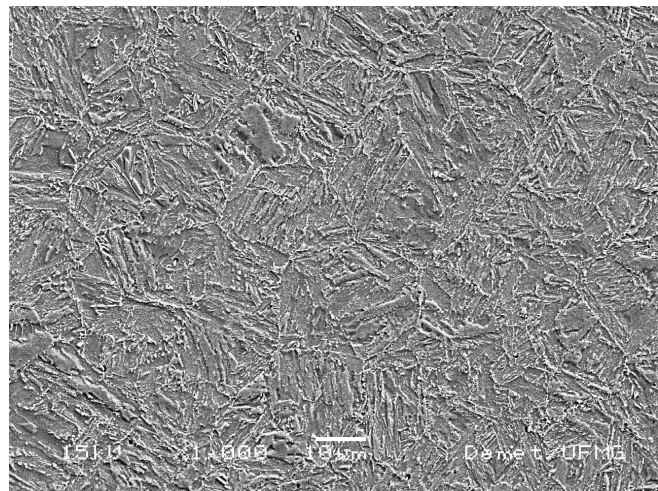
a) Barra de 25,4mm



b) Microestrutura (1000 vezes)



c) Microestrutura (1000 vezes)



d) Microestrutura (1000 vezes)

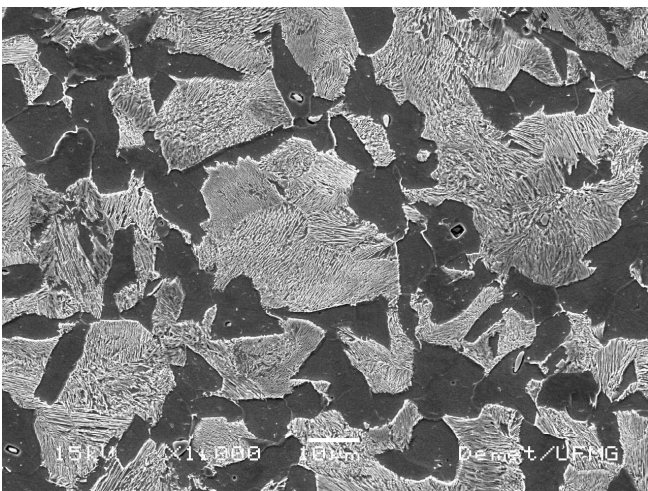
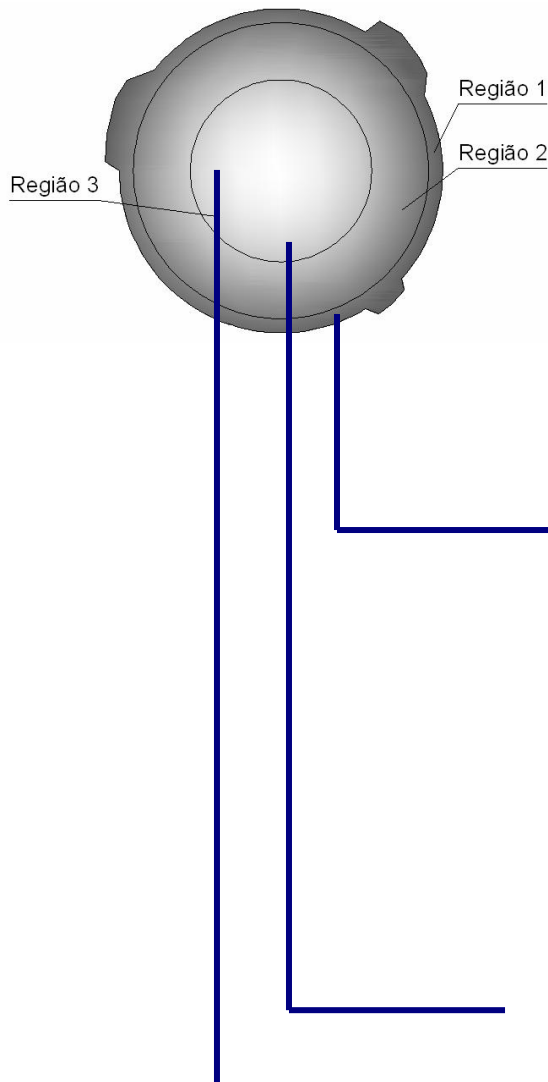
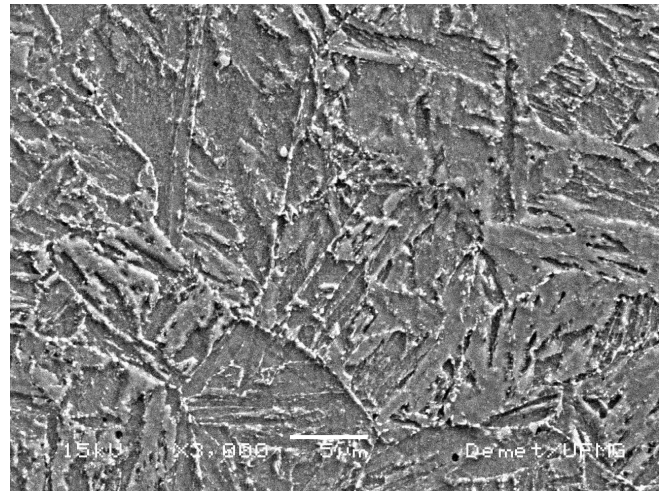


Figura 5.41 – MEV da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

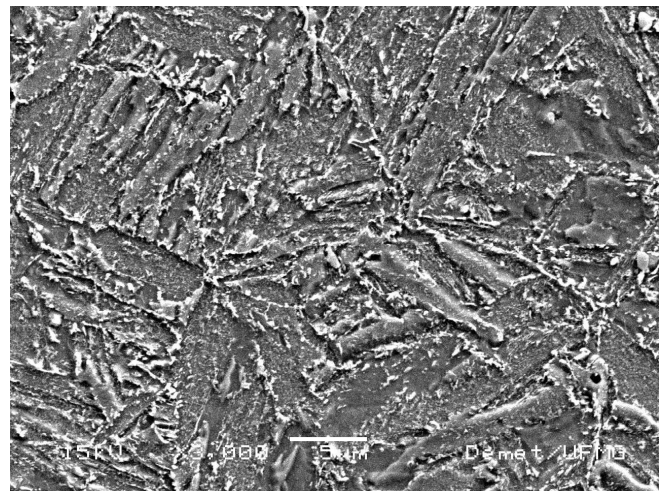
a) Barra de 25,4mm



b) Microestrutura (3000 vezes)



c) Microestrutura (3000 vezes)



d) Microestrutura (3000 vezes)

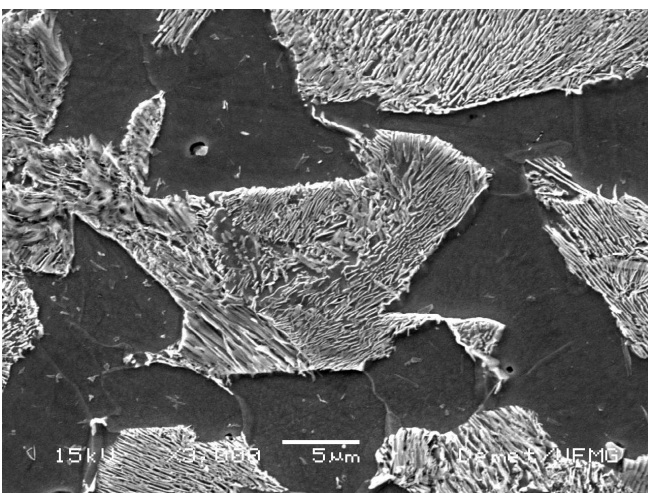


Figura 5.42 – MEV da seção transversal. a) Barra de 25,4 mm, b) Região 1, c) Região 2, d) Região 3.

5.2 Microdureza Vickers

Outro método empregado para analisar a microestrutura das amostras dos vergalhões foi a microdureza Vickers, a partir da definição na seção de métodos, que seriam analisados dois perfis perpendiculares em cada amostra a fim de se conseguir uma caracterização eficiente do material estudado.

Nas figuras 5.43 e 5.44 são mostrados os gráficos dos perfis de microdureza para a amostra do vergalhão de 6,3mm de diâmetro, podemos perceber que a variação da microdureza da borda mais dura (286 HV) para o centro mais macio (240 HV) é relativamente pequena para um vergalhão de aço auto-revenido.

Já nas figuras 5.45 e 5.46 é mostrado, por meio de imagem do microscópio, a distância entre impressões de microdureza utilizada, aproximadamente 0,45mm.

Para a amostra de 8mm de diâmetro os perfis de microdureza indicaram uma dureza máxima da ordem de 287 HV próximo a borda do vergalhão e 255 HV próximo ao centro, conforme pode ser visto nas figuras 5.47 e 5.48. Na figura 5.49 podemos ver em detalhe os perfis perpendiculares a partir da imagem do microscópio.

Já para a amostra de 10mm podemos perceber uma elevação na dureza da amostra, o ensaio apontou uma microdureza de 330 HV para a região próxima a uma das bordas e 285 HV para a outra borda, e com o centro da amostra apresentando uma microdureza ligeiramente elevada 270 HV, conforme pode ser visto nas figuras 5.51 e 5.52. A diferença grande no valor de microdureza entre as bordas pode ser explicada por jatos de água desiguais no vergalhão durante o processo de resfriamento na usina.

Já nas figuras 5.55 e 5.56 podemos ver os perfis de microdureza para a amostra de 12,5mm, nele encontramos valores de 277 HV próximos a borda e 230 HV no centro.

Para a amostra de vergalhão de 16mm de diâmetro, encontramos os resultados mais inesperados, como pode ser visto nas figuras 5.59 e 5.60, os perfis de microdureza apresentam uma tendência homogeneia distribuída por todo o diâmetro da amostra com valores oscilando de 255 HV a 225 HV. Neste

caso ficou evidenciado que o tratamento térmico sofrido pelo vergalhão na usina não proporcionou ao aço o auto-revenimento das camadas mais exteriores.

Em virtude dos resultados podemos perceber uma homogeneidade de microestrutura nas amostras de 6,3mm a 16mm de diâmetro.

Os valores de microdureza encontrados para os vergalhões de 6,3mm, 8,0mm e 10mm de diâmetro se mostraram superiores aos valores encontrados para a amostra de 16mm de diâmetro, podendo evidenciar que a ferrita está na forma acicular com presença de martensita.

Já para a amostra de 20mm, os perfis de microdureza apresentaram valores satisfatórios, evidenciando que o tratamento térmico por auto-revenimento surtiu o efeito esperado, que é uma borda mais dura (270 HV) e um centro mais mole apresentando uma microdureza de 162 HV, conforme pode ser visto nas figuras 5.62 e 5.63.

Para a última amostra analisada, a de 25,4mm, os perfis de microdureza apresentaram nova variação, com um valor de 330 HV para a borda e 195 HV para o centro da amostra do vergalhão, conforme pode ser visto nas figuras 5.65 e 5.66.

Em função dos resultados encontrados nas microscopias óptica e eletrônica de varredura e nos perfis de microdureza Vickers citados acima, optou-se por utilizar apenas o vergalhão de 20mm de diâmetro para o restante da pesquisa, em virtude de ter sido comprovado que apenas nos vergalhões de 20mm e 25,4mm o tratamento térmico sofrido pelo aço na usina foi realmente o auto-revenimento. A exclusão do vergalhão de 25,4mm de diâmetro no restante da pesquisa se deu apenas porque o ensaio de tração não seria possível em virtude de limitações no equipamento utilizado.

Nas figuras 5.50, 5.53, 5.54, 5.57, 5.58, 5.61, 5.64, 5.67 e 5.68 são apresentados detalhes das distâncias entre as impressões deixadas nas amostras dos vergalhões pela micro-dureza Vickers.

Nas figuras 5.69 e 5.70 podemos ver os perfis de todos os vergalhões plotados em conjunto, o que dá uma real idéia da diferença de resultados apresentados pelos diversos diâmetros analisados.

Todos os resultados de microdureza foram organizados nas tabelas 8.1 a 8.14 que encontram-se em anexo neste documento.

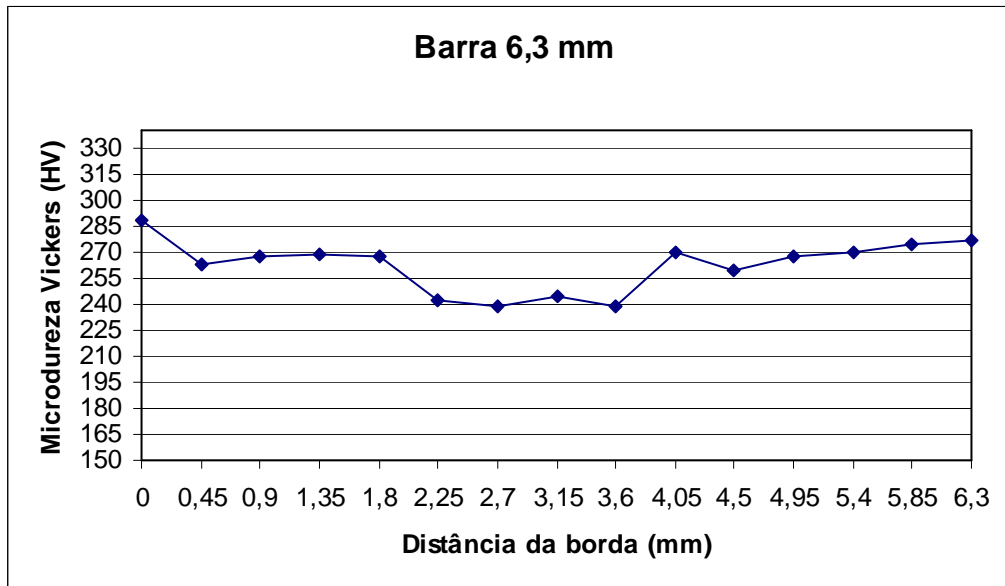


Figura 5.43 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.

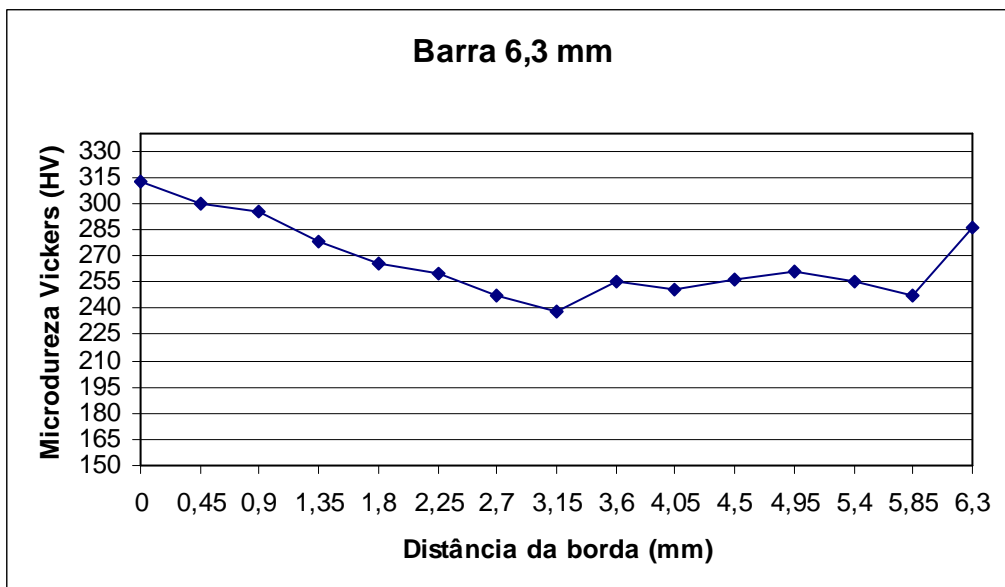


Figura 5.44 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.

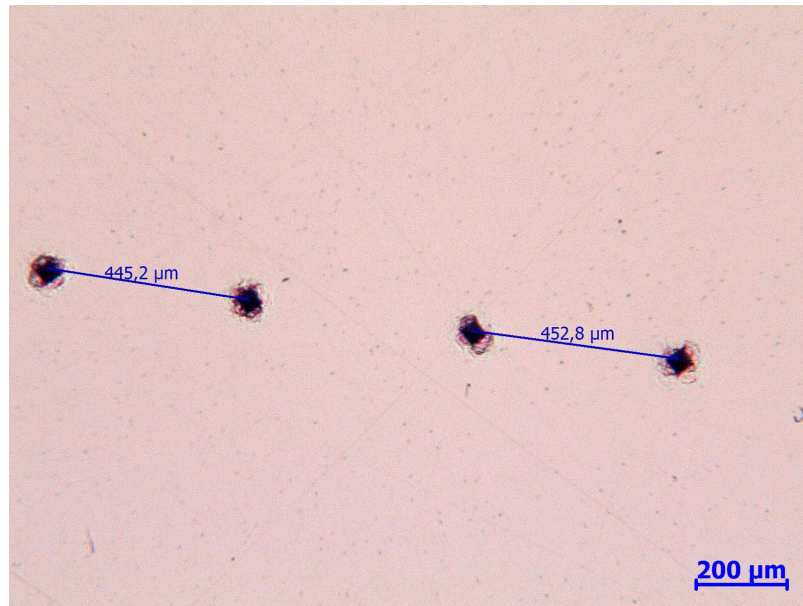


Figura 5.45 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 6,3 mm.

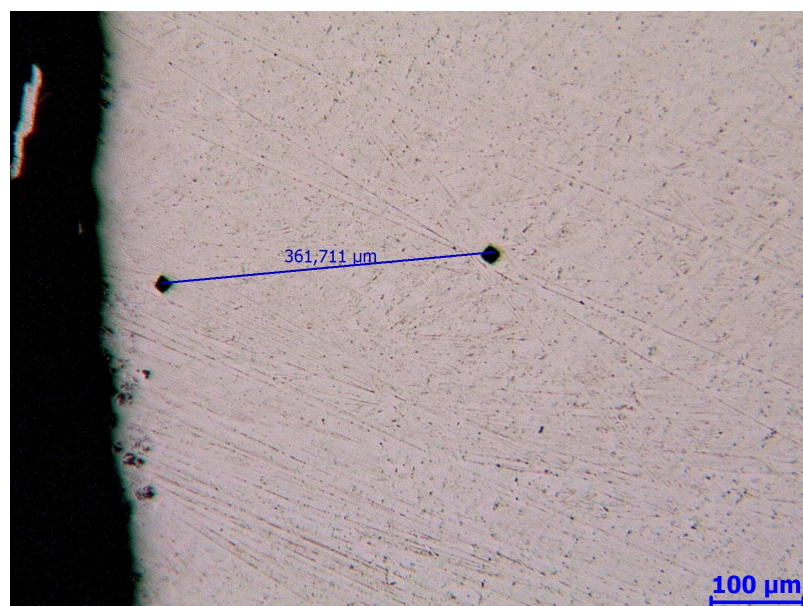


Figura 5.46 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 6,3 mm.

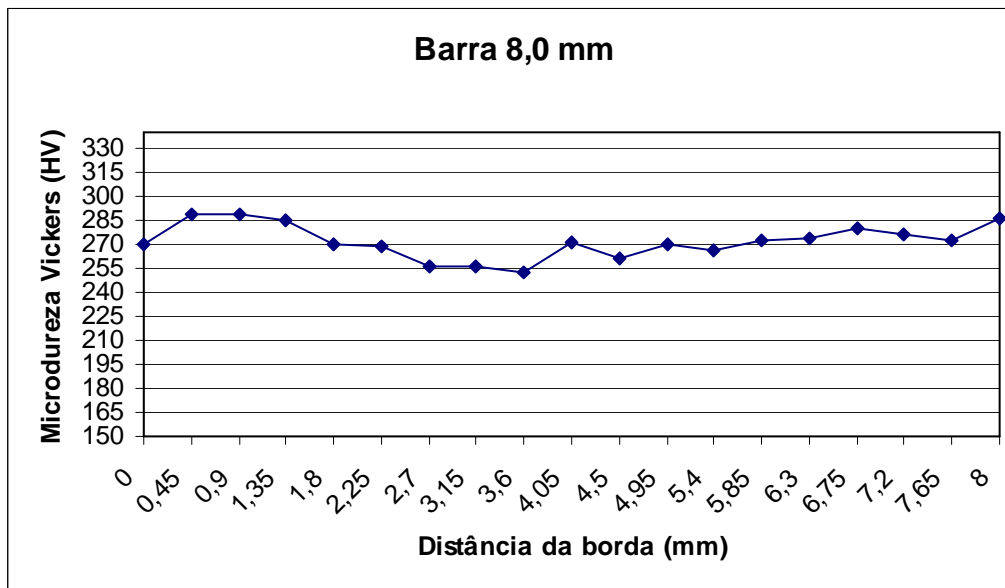


Figura 5.47 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.

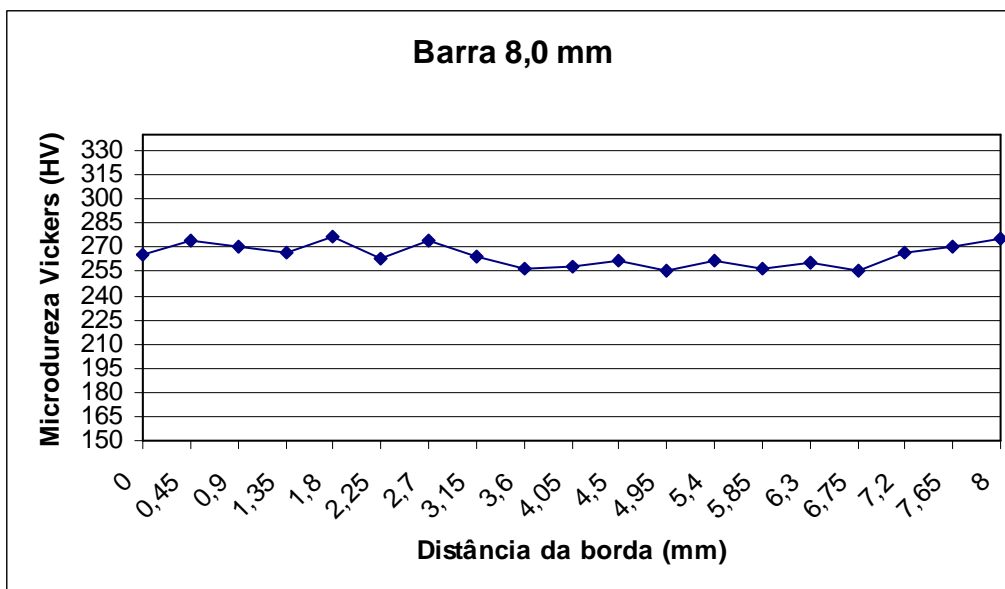


Figura 5.48 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.



Figura 5.49 – Impressões perpendiculares da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.

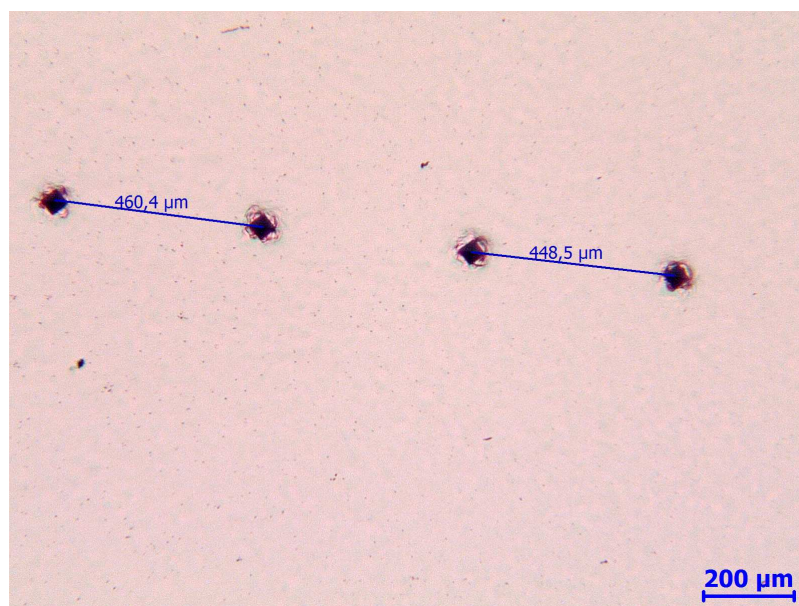


Figura 5.50 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 8,0 mm.

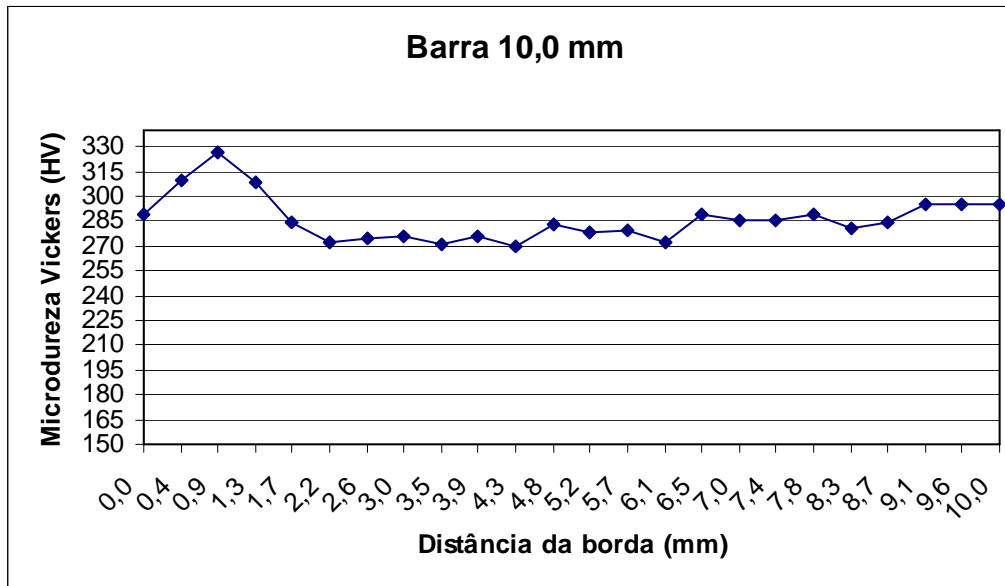


Figura 5.51 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.

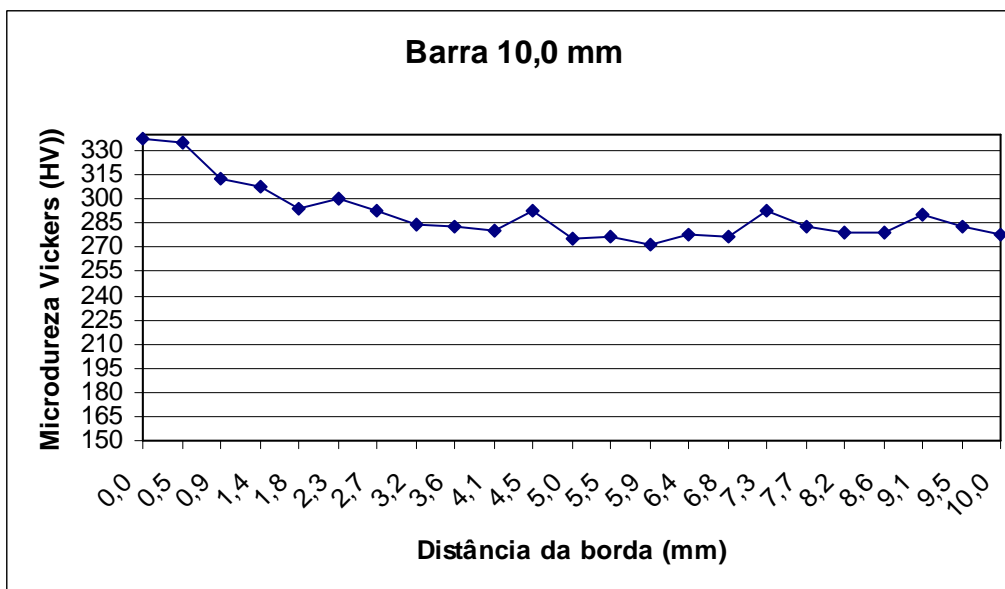


Figura 5.52 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.

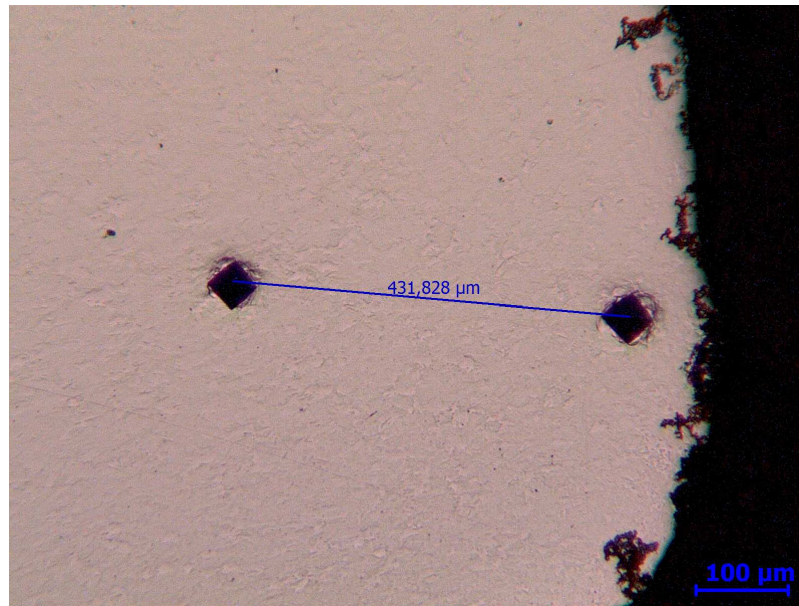


Figura 5.53 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 10,0 mm.

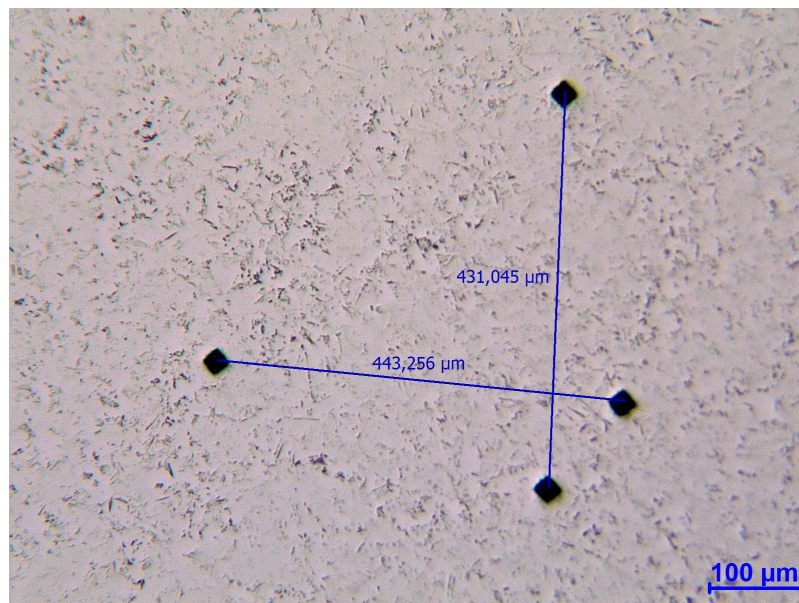


Figura 5.54 – Impressões perpendiculares da microdureza Vickers, barra 10,0 mm.

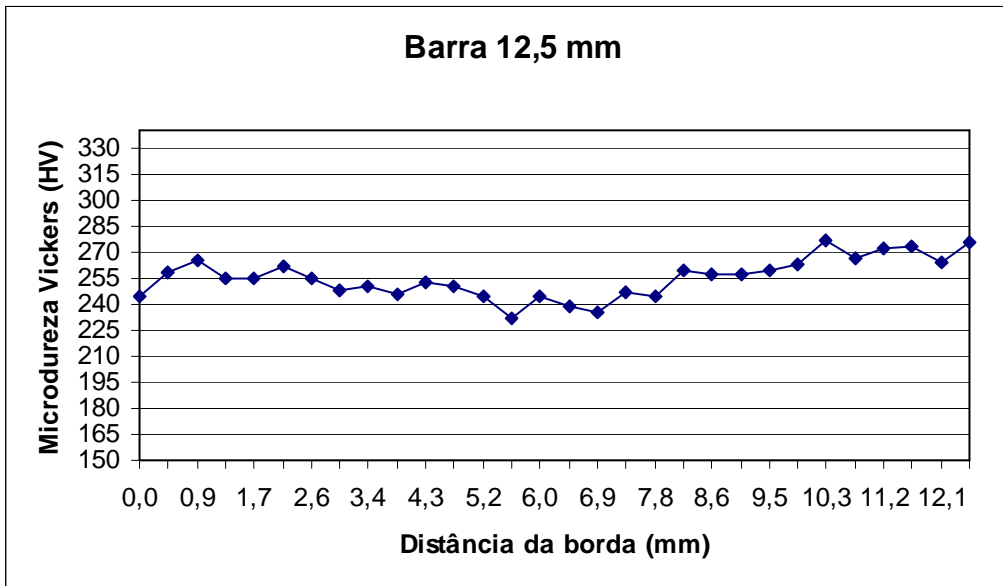


Figura 5.55 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.

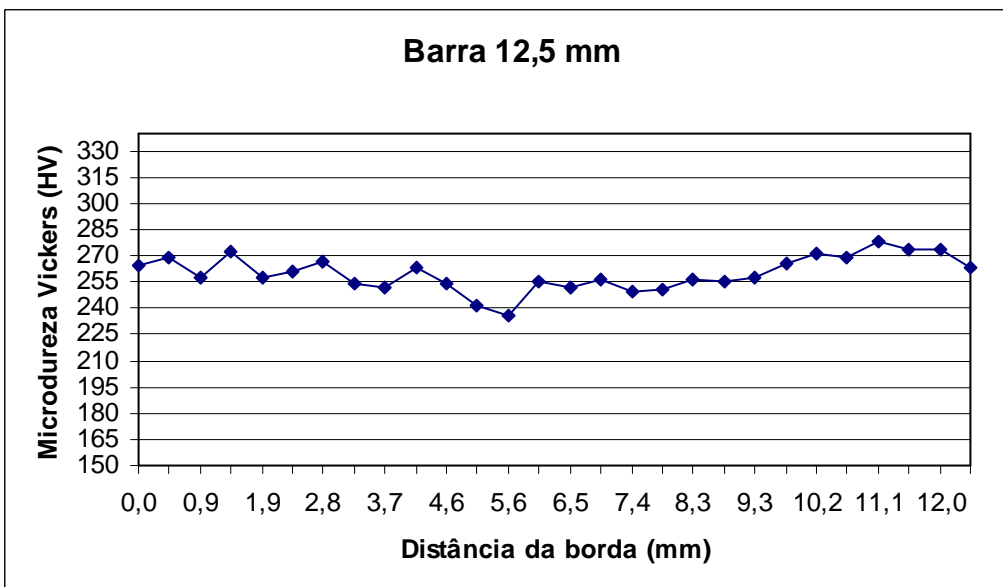


Figura 5.56 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.

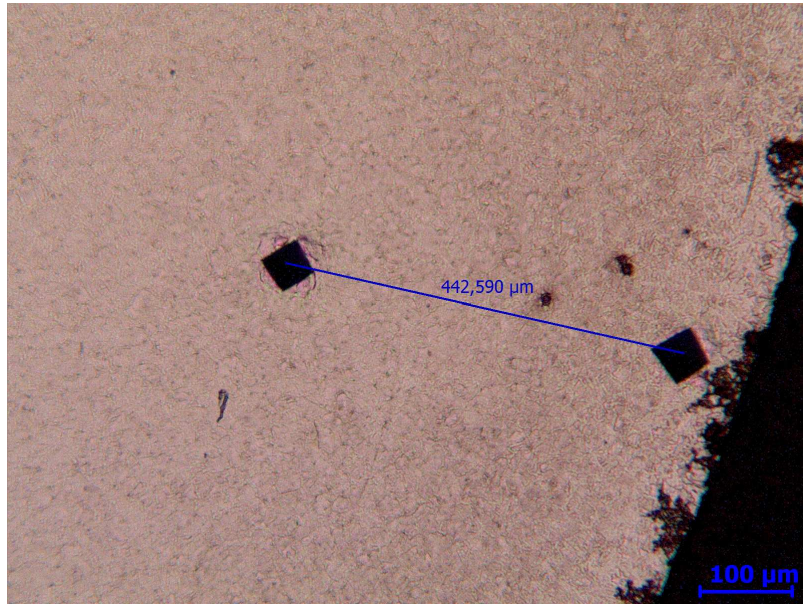


Figura 5.57 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 12,5 mm.

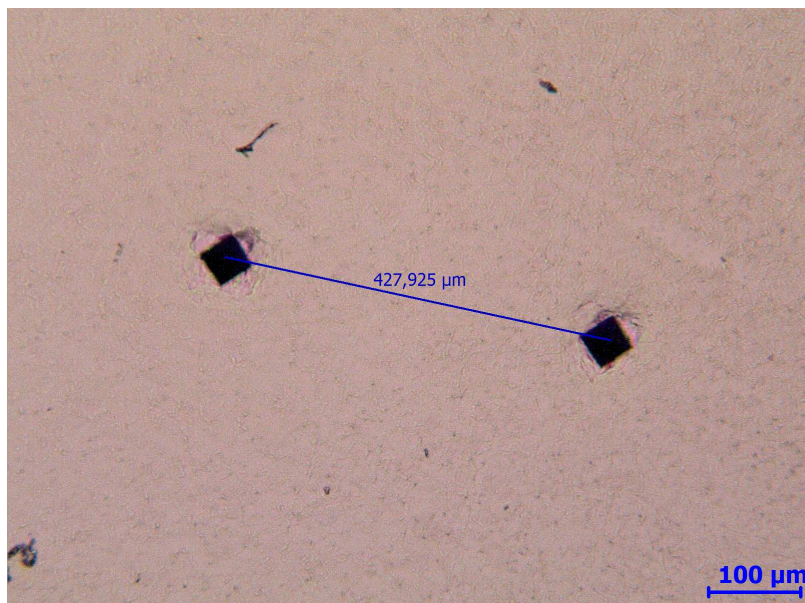


Figura 5.58 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 12,5 mm.

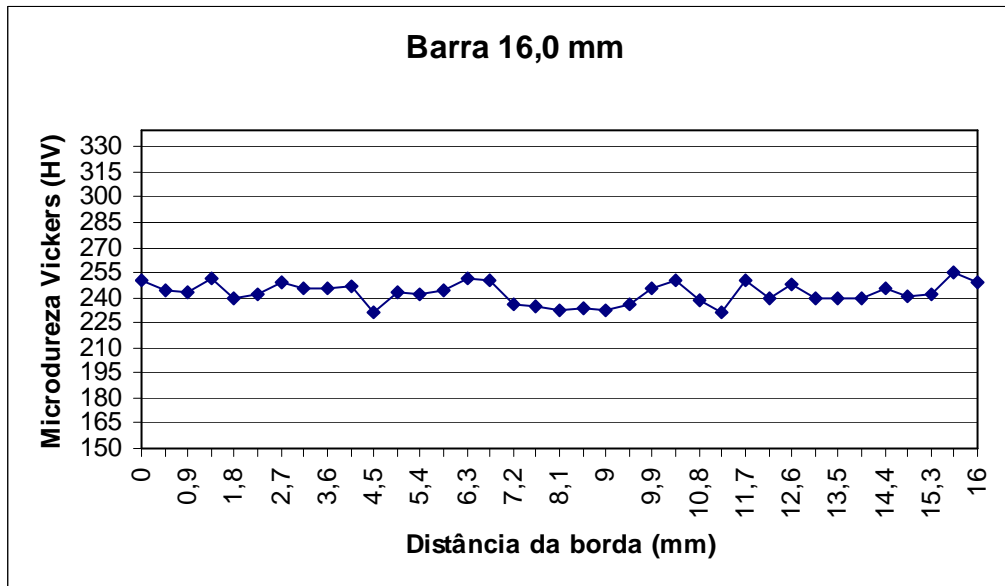


Figura 5.59 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.

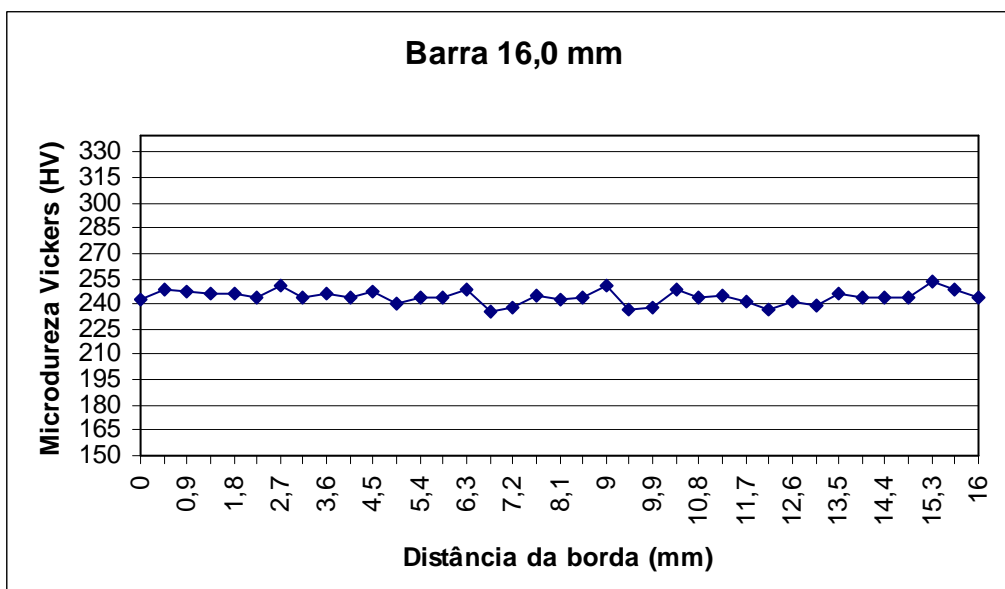


Figura 5.60 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.

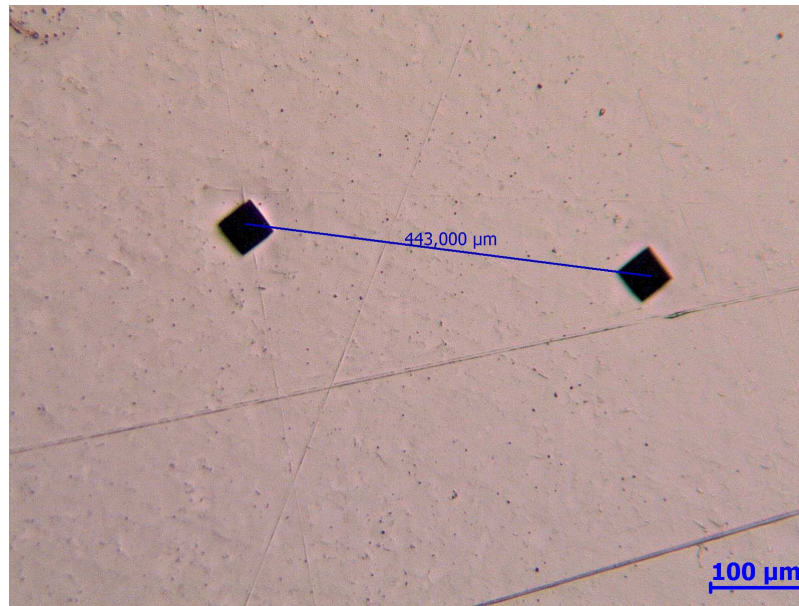


Figura 5.61 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 16,0 mm.

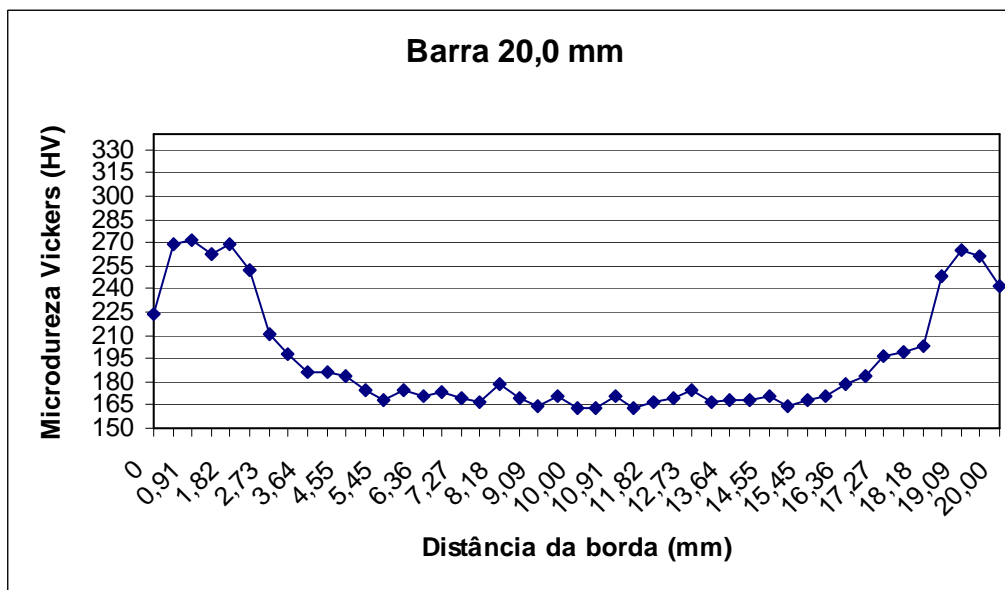


Figura 5.62 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.

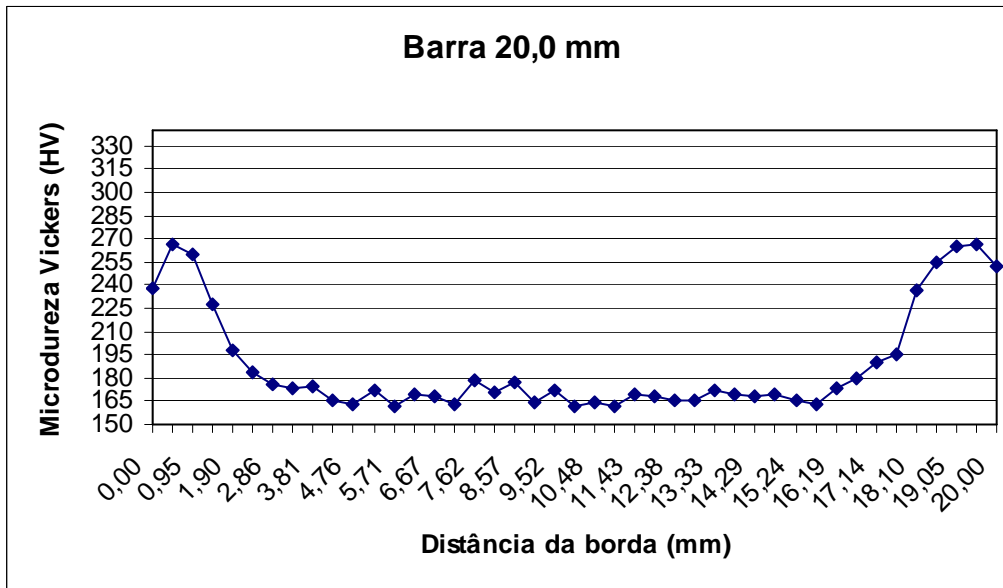


Figura 5.63 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.

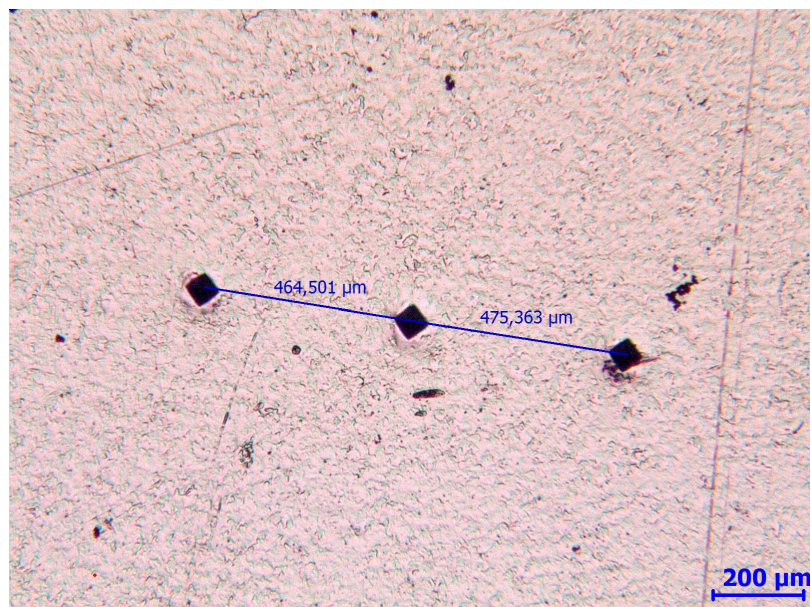


Figura 5.64 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 20,0 mm.

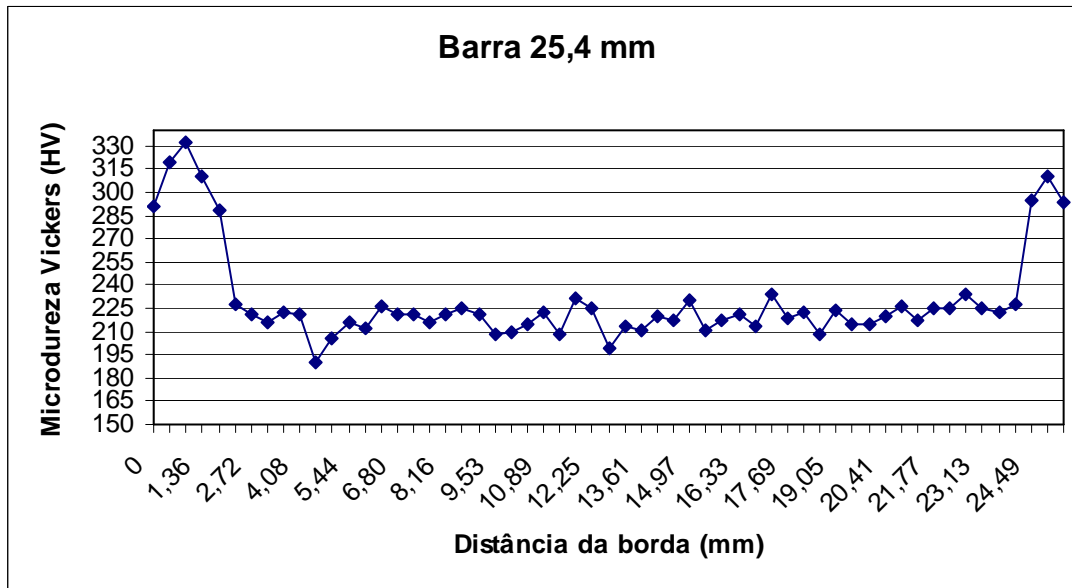


Figura 5.65 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.

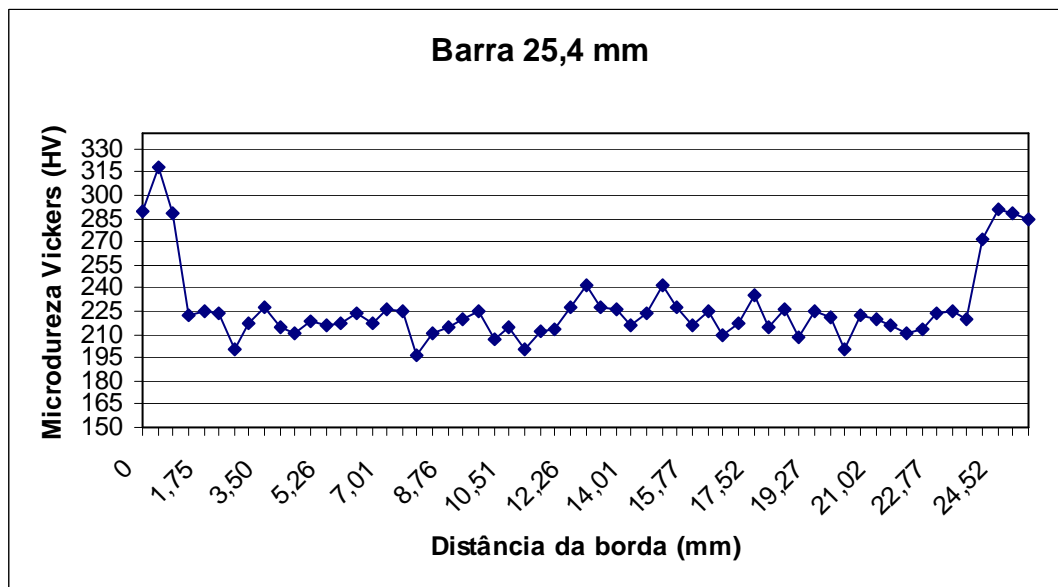


Figura 5.66 – Gráfico da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.

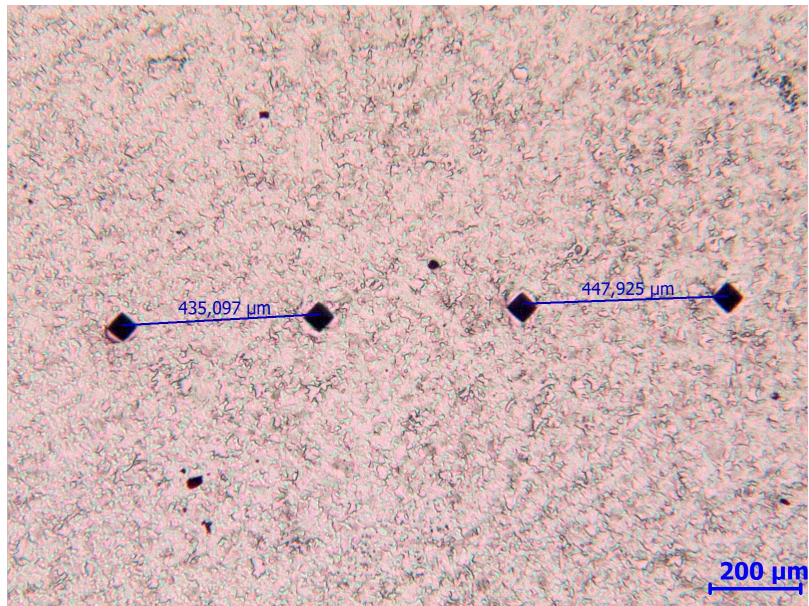


Figura 5.67 – Distância entre impressões da microdureza Vickers, barra 25,4 mm.

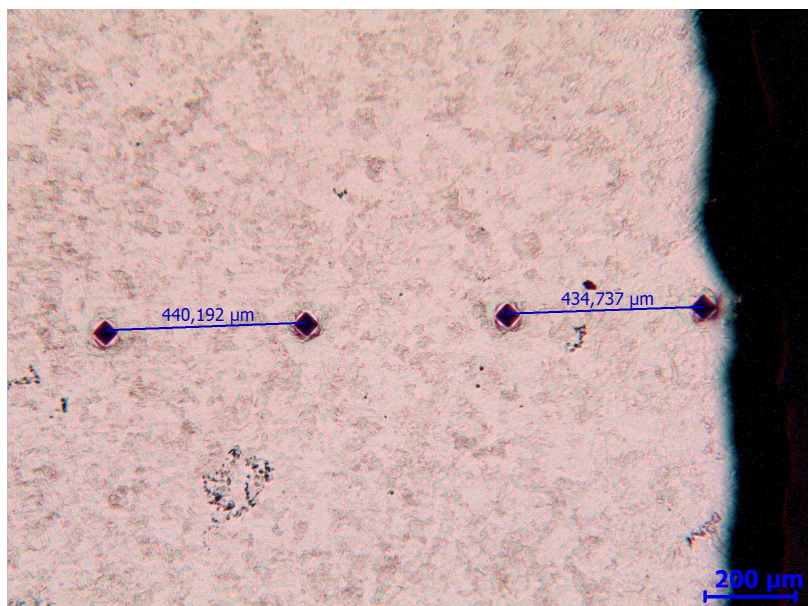


Figura 5.68 – Detalhe das impressões de microdureza Vickers próximo da borda, barra 25,4 mm.

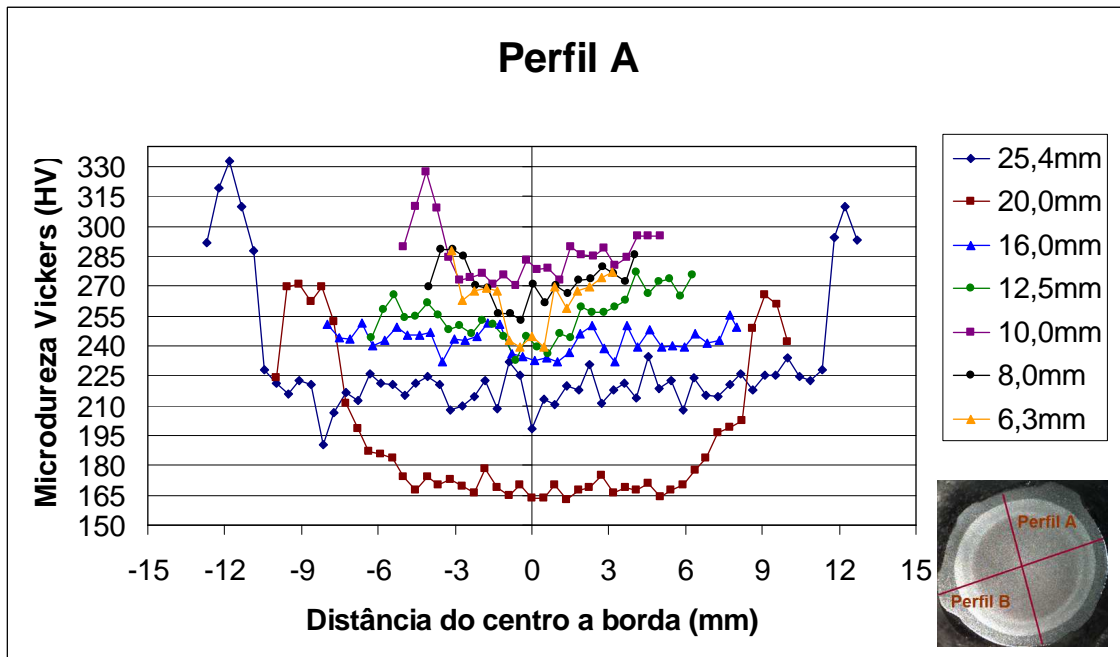


Figura 5.69 – Gráfico da microdureza Vickers para todas as barras.

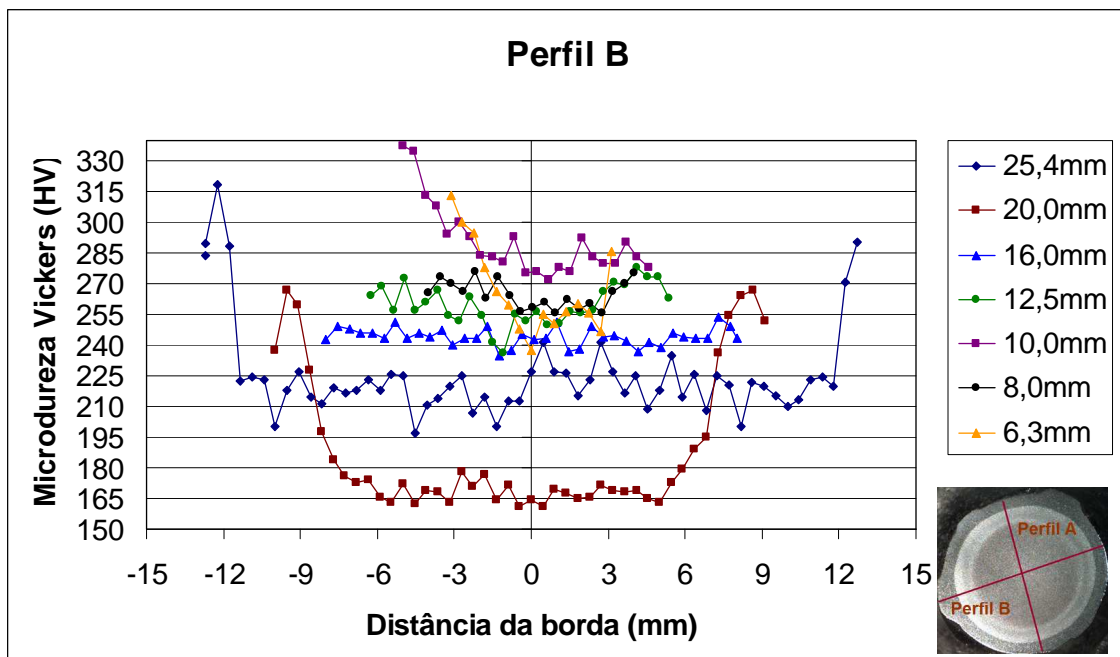


Figura 5.70 – Gráfico da microdureza Vickers para todas as barras.

5.3 Ensaio de Tração

Após a escolha de trabalhar somente com o vergalhão de 20mm de diâmetro, sete amostras foram separadas e preparadas para o ensaio de tração, ou seja, seis amostras de 20mm foram usinadas e assim obtivemos corpos de prova com: 20mm, 17mm, 16mm, 14mm, 12mm, 10mm e 8mm de diâmetro.

A partir dos valores fornecidos pelo ensaio de tração (carga e deformação convencional) e do diâmetro inicial dos corpos de prova, foi possível calcular as deformações e tensões verdadeiras para cada um dos corpos de prova tracionados (os resultados dos ensaios de tração estão em anexo).

Utilizando esses dados foram calculadas as deformações verdadeiras (total e plástica) que permitiram a determinação das tensões verdadeiras, estes dados foram plotados em gráficos conforme podemos ver nas figuras 5.71 a 5.77.

Inicialmente foram plotados a curva σ - ϵ dos vergalhões analisados e não se determinou as equações de ajuste. Em um segundo momento considerou-se apenas as deformações plásticas, e em cada gráfico estão superpostas a curva experimental e as curvas de melhor ajuste, conforme podemos ver nas figuras 5.78 a 5.84. As equações que descrevem essas curvas são também apresentadas nos gráficos.

Foi plotado também, figura 5.85, as curvas e as equações que as descrevem, contendo apenas as deformações plásticas dos resultados das amostras de 20mm e 17mm, o que evidenciou uma diferença no comportamento mecânico do aço, ou seja, ao retirar a primeira camada do vergalhão de 20mm de diâmetro, os valores de tensão para a mesma deformação foram menores para a amostra de vergalhão com 17mm de diâmetro. Isto evidencia que ao retirar a camada mais externa, com dureza superior, à amostra perdeu parte de sua resistência.

Fazendo a mesma comparação para as demais camadas retiradas, não houve reduções significativas para as demais curvas, ou seja, de 17mm até 8mm, a diminuição da tensão para uma mesma deformação é muito pequena.

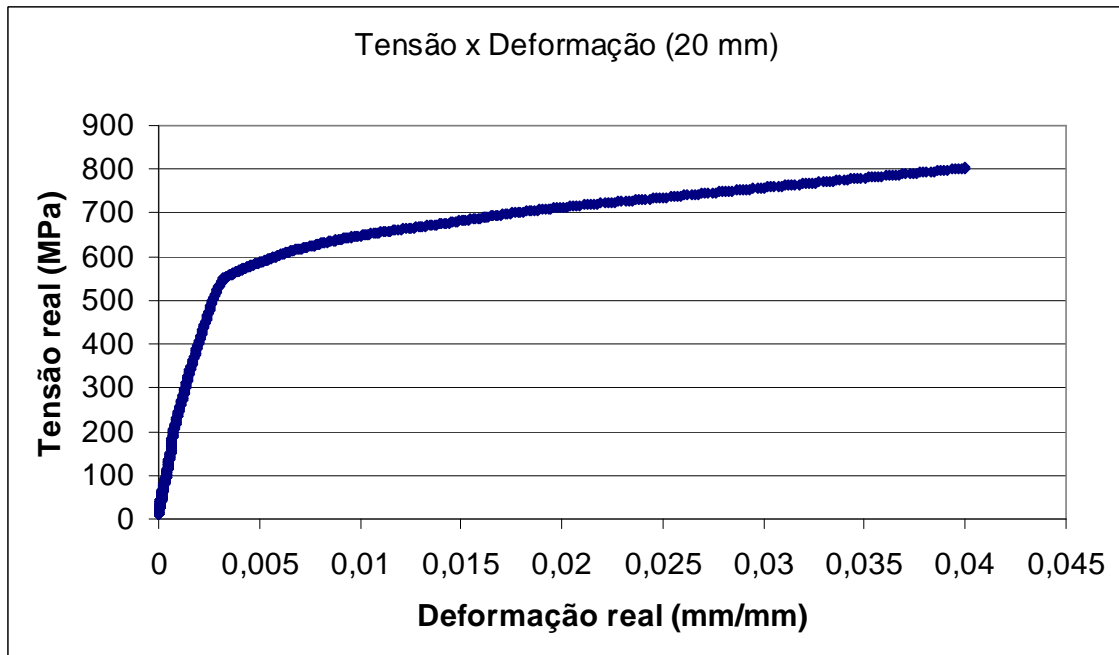


Figura 5.71 – Curva tensão-deformação do vergalhão de 20 mm de diâmetro.

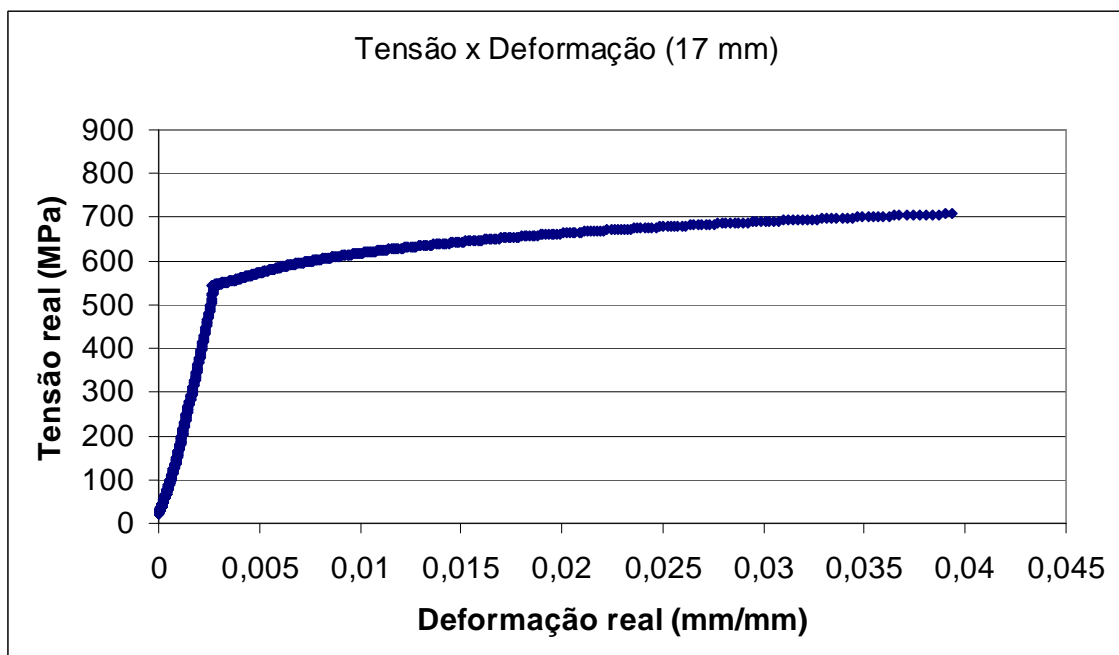


Figura 5.72 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 17 mm de diâmetro.

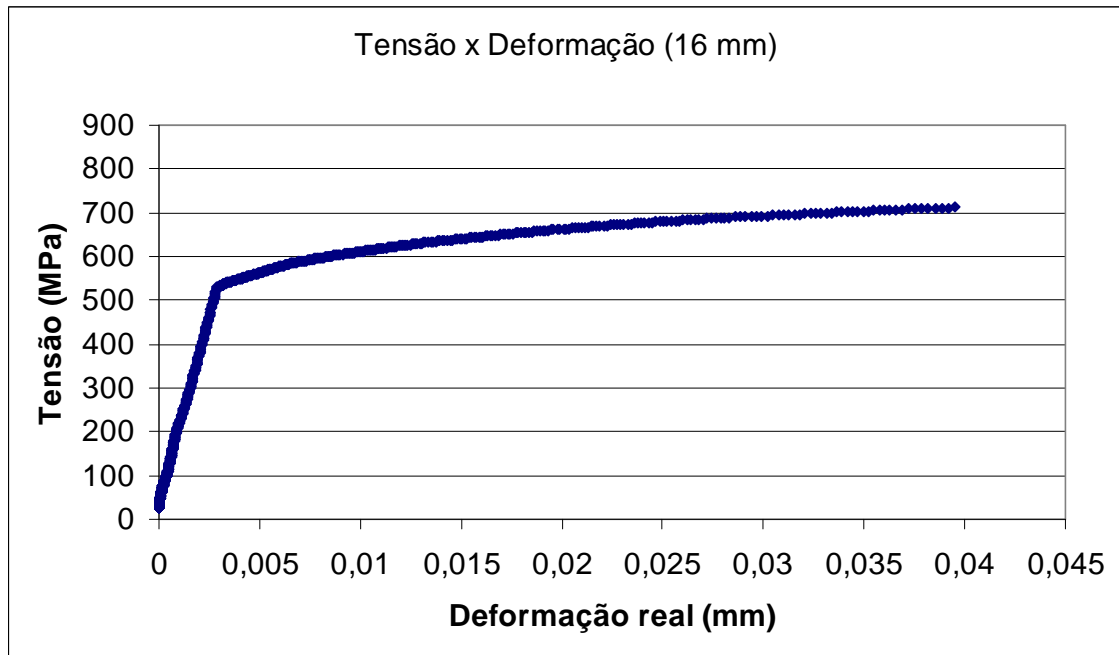


Figura 5.73 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 16 mm de diâmetro.

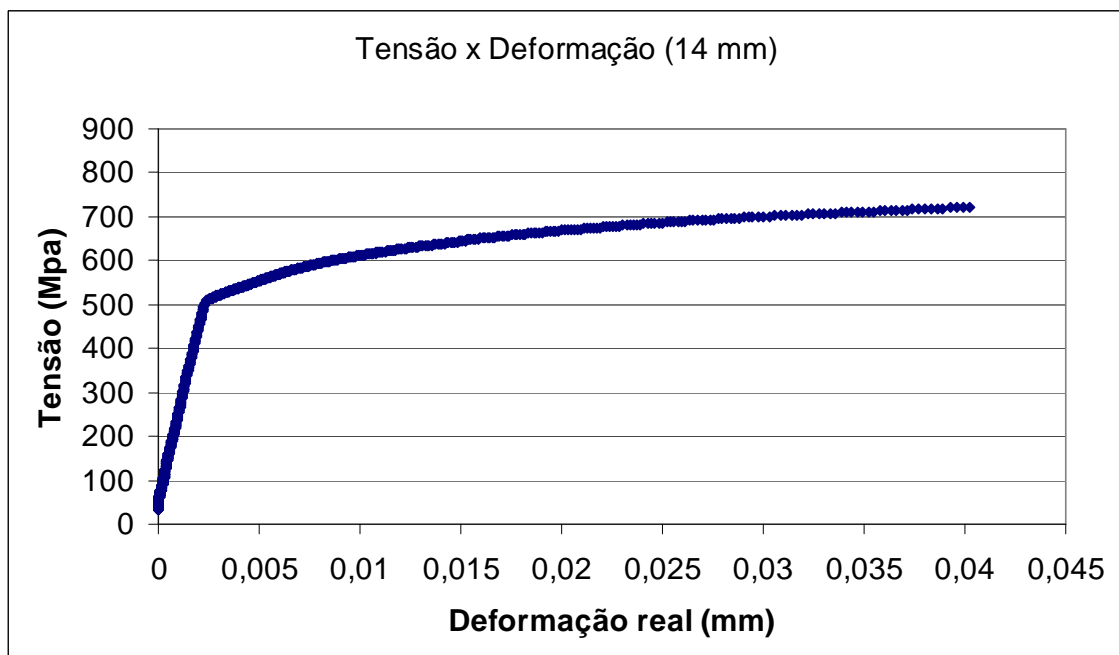


Figura 5.74 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 14 mm de diâmetro.

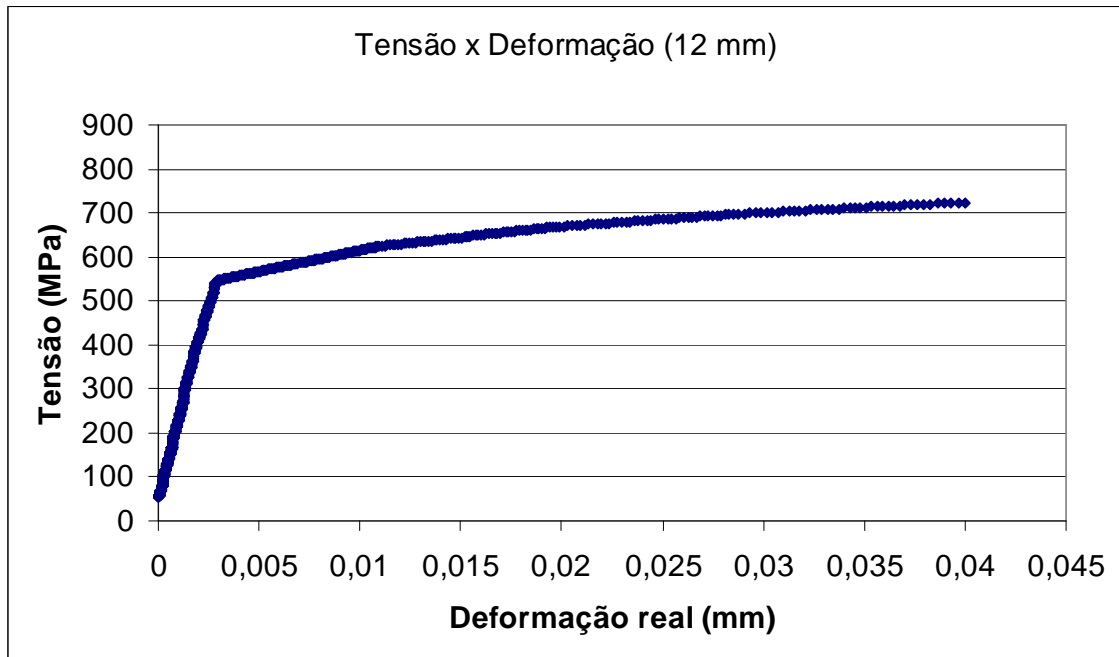


Figura 5.75 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 12 mm de diâmetro.

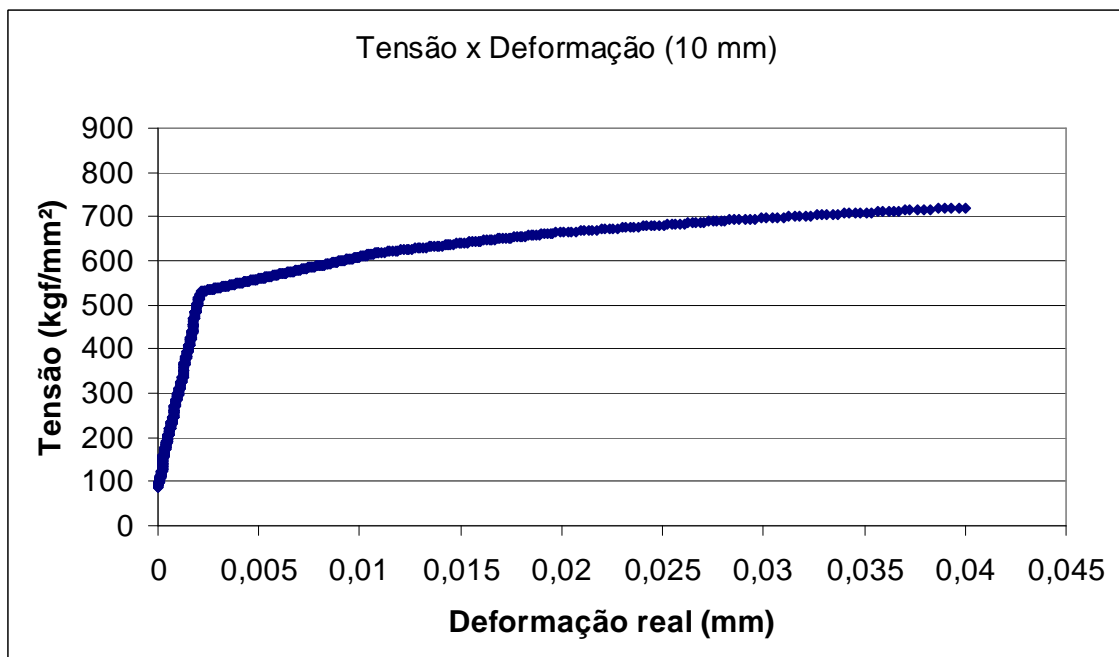


Figura 5.76 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 10 mm de diâmetro.

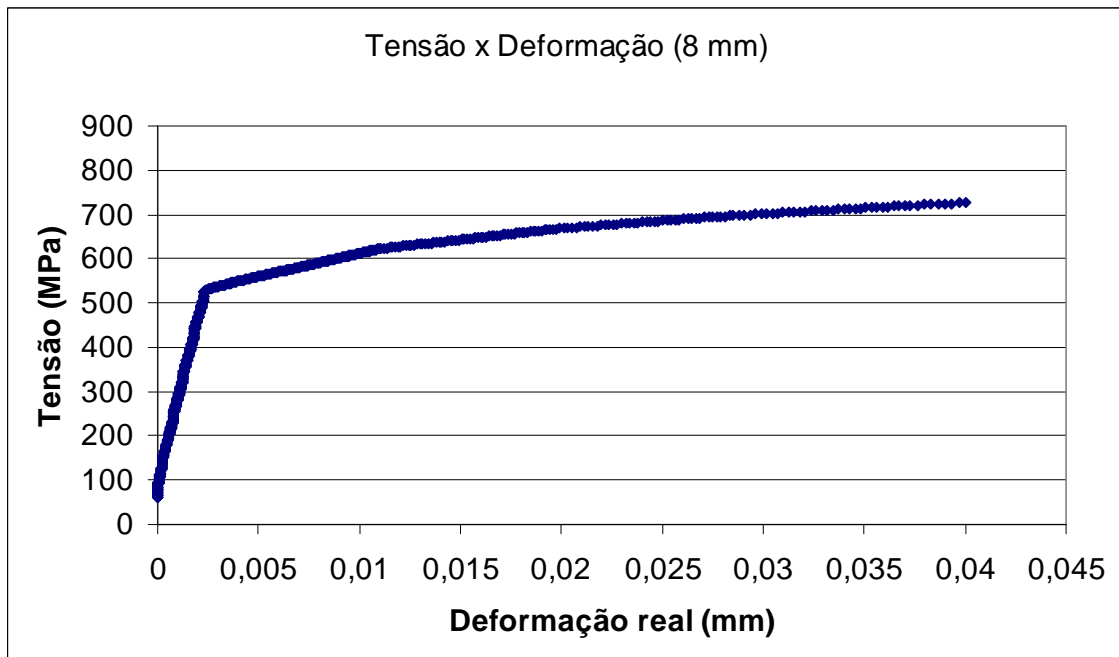


Figura 5.77 – Curva tensão-deformação de camada do vergalhão de 20 mm usinado com 8 mm de diâmetro.

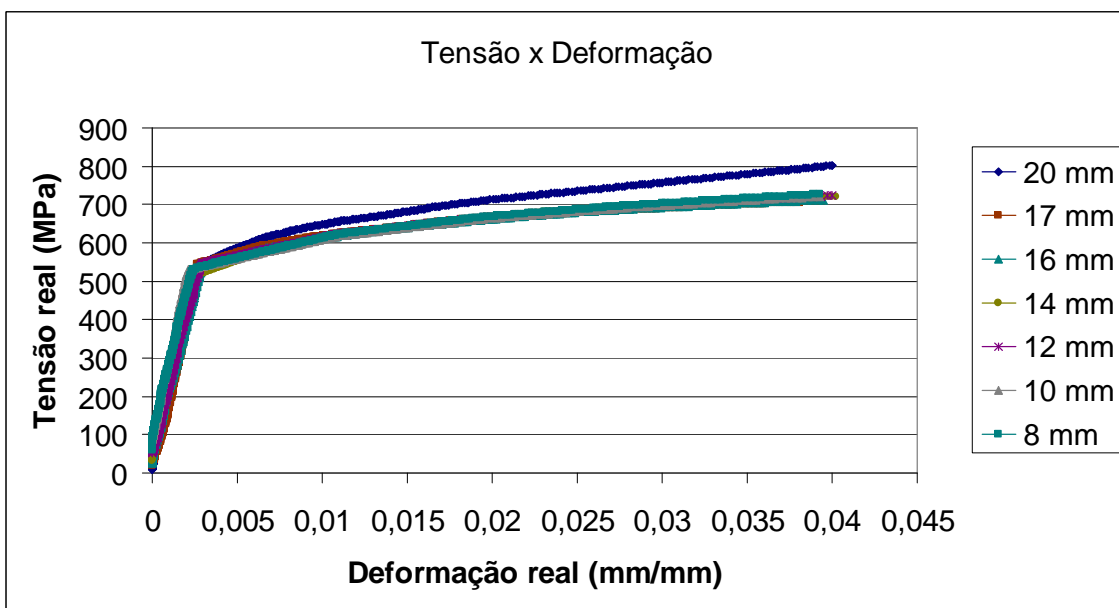


Figura 5.78 – Curvas tensão-deformação de camadas do vergalhão de 20 mm usinados com vários diâmetros.

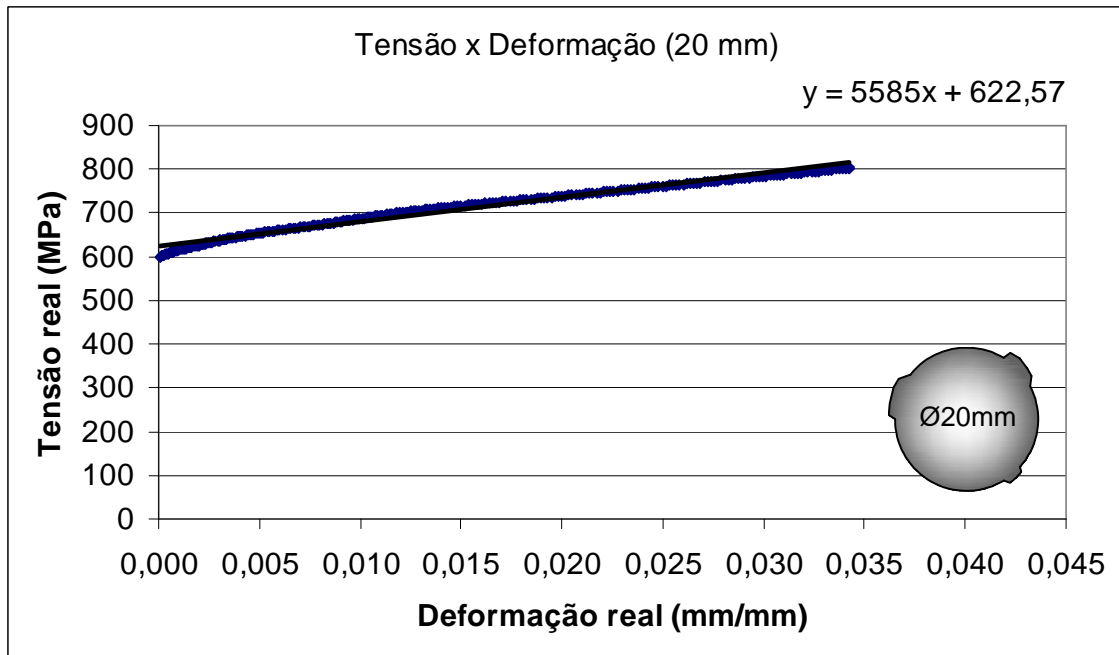


Figura 5.79 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm de diâmetro.

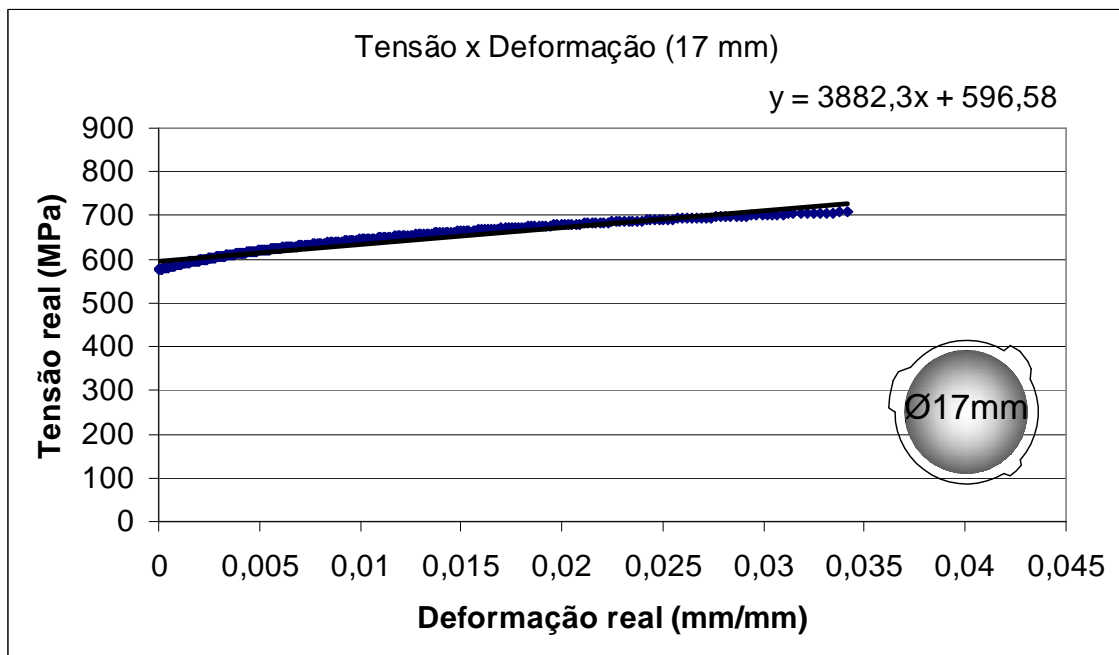


Figura 5.80 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 17 mm de diâmetro.

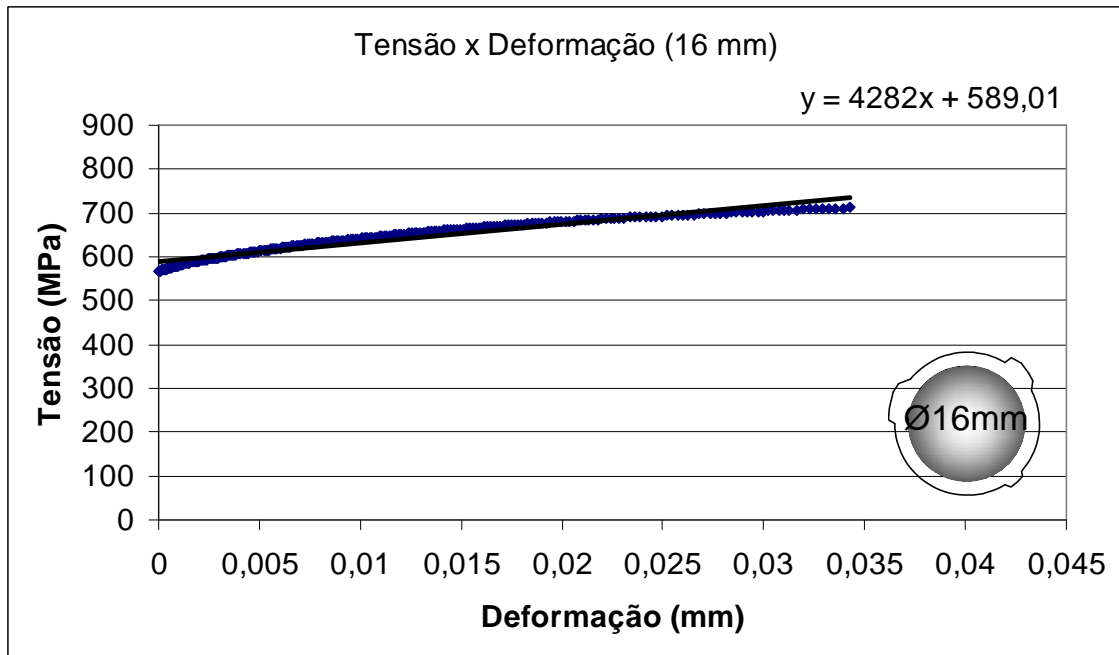


Figura 5.81 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 16 mm de diâmetro.

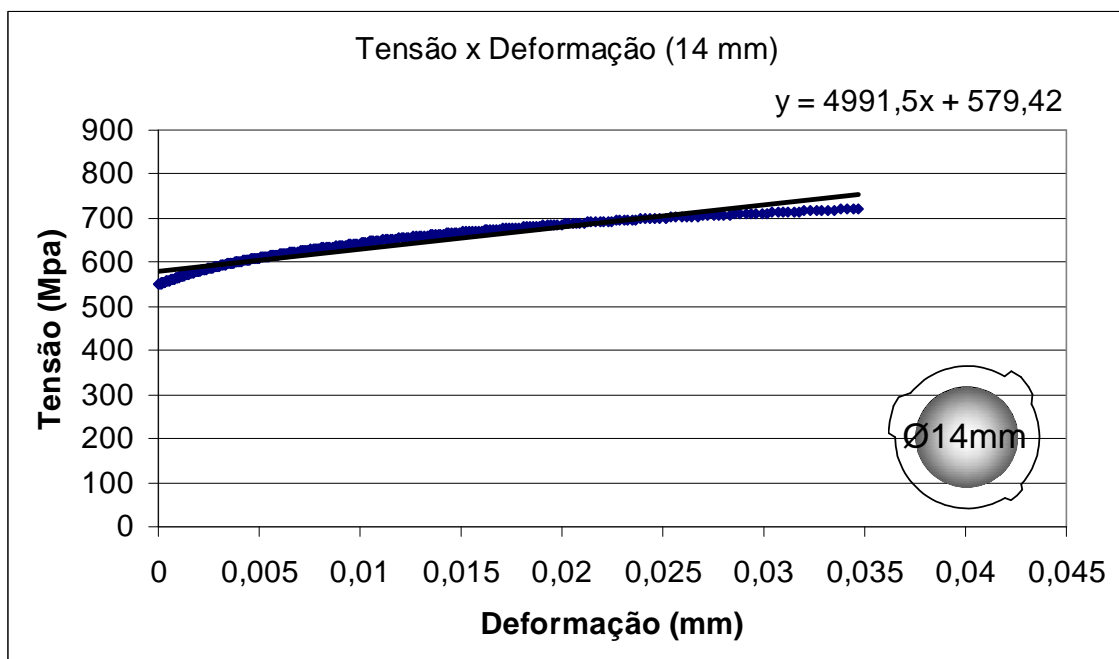


Figura 5.82 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 14 mm de diâmetro.

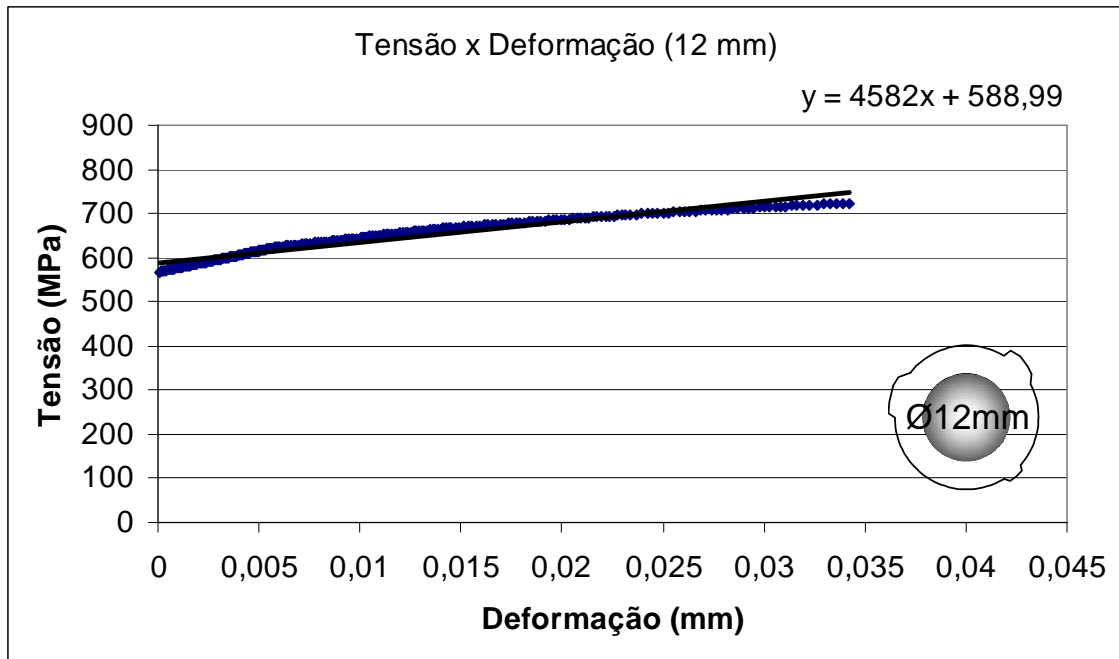


Figura 5.83 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 12 mm de diâmetro.

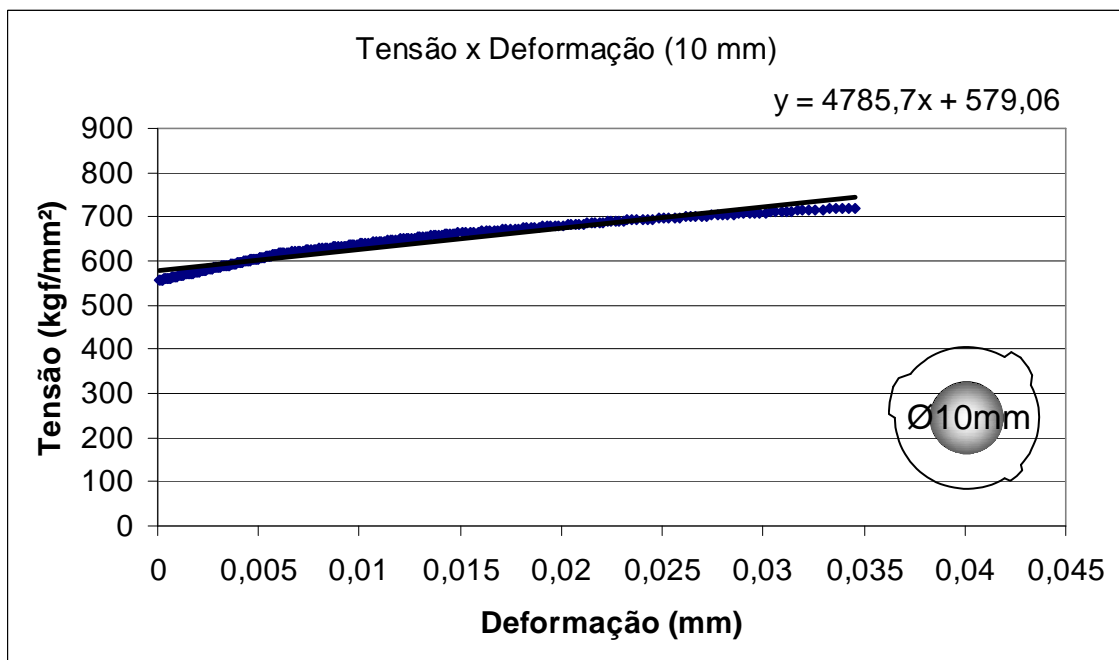


Figura 5.84 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 10 mm de diâmetro.

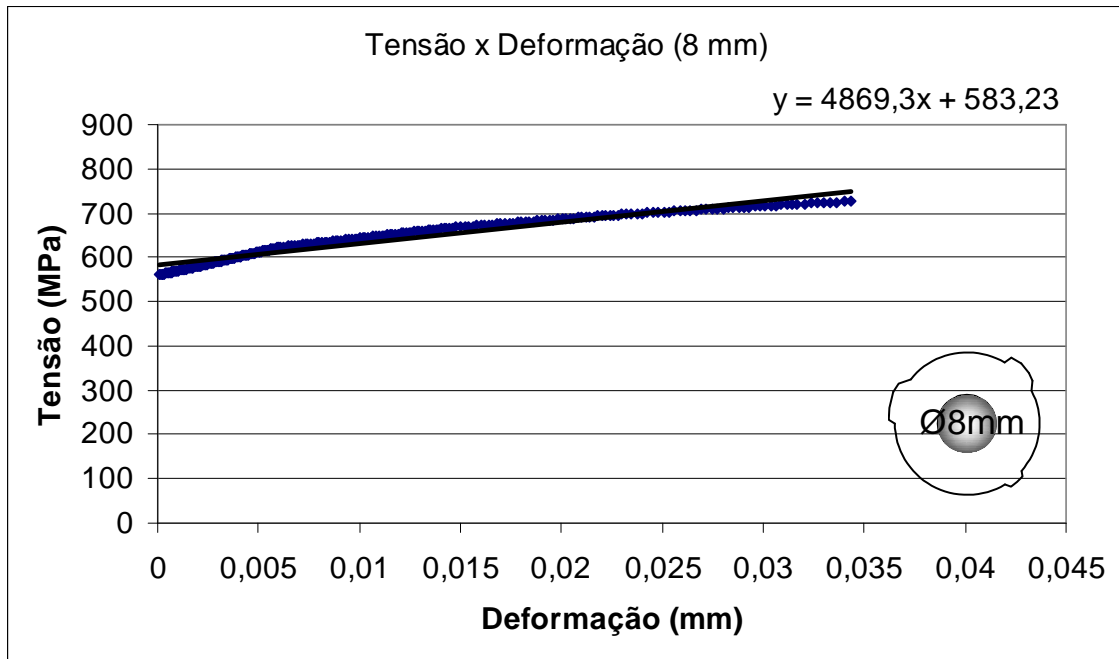


Figura 5.85 – Curva de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm usinado com 8 mm de diâmetro.

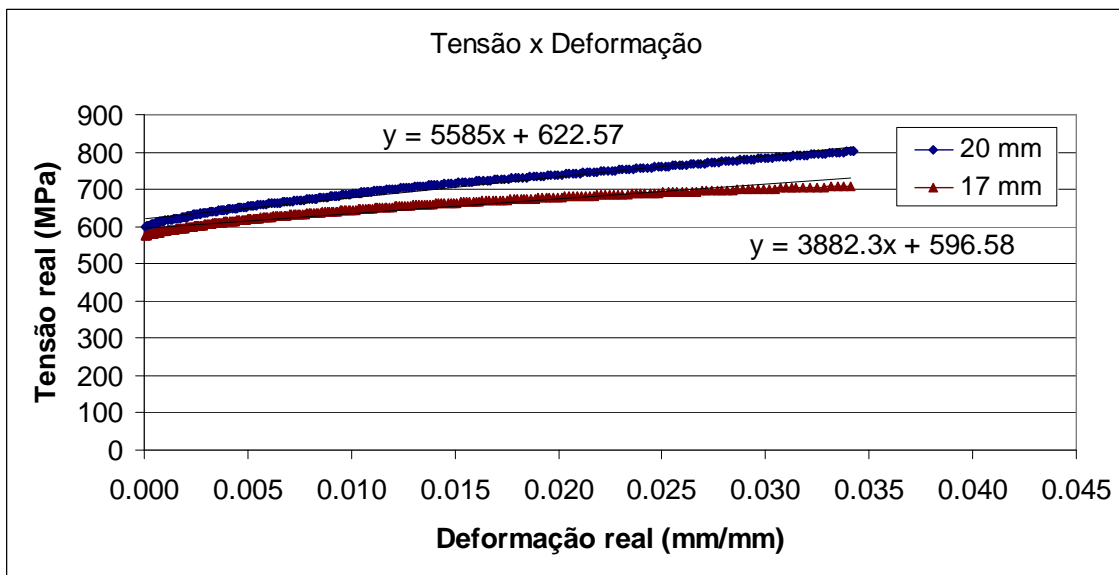


Figura 5.86 – Curvas de escoamento de camadas do vergalhão de 20 mm completo e usinado com 17 mm de diâmetro.

5.4 Modelagem Teórica

A partir das curvas da parte plástica para as amostras de vergalhão com 20mm e 17mm de diâmetro foi inferido pela regra das misturas o comportamento da camada concêntrica retirada do vergalhão de 17mm por usinagem.

Esta camada foi denominada de Z e sua curva, bem como seu ajuste, foram plotados juntamente com as curvas de 20mm e 17mm de diâmetro como pode ser visto na figura 5.86.

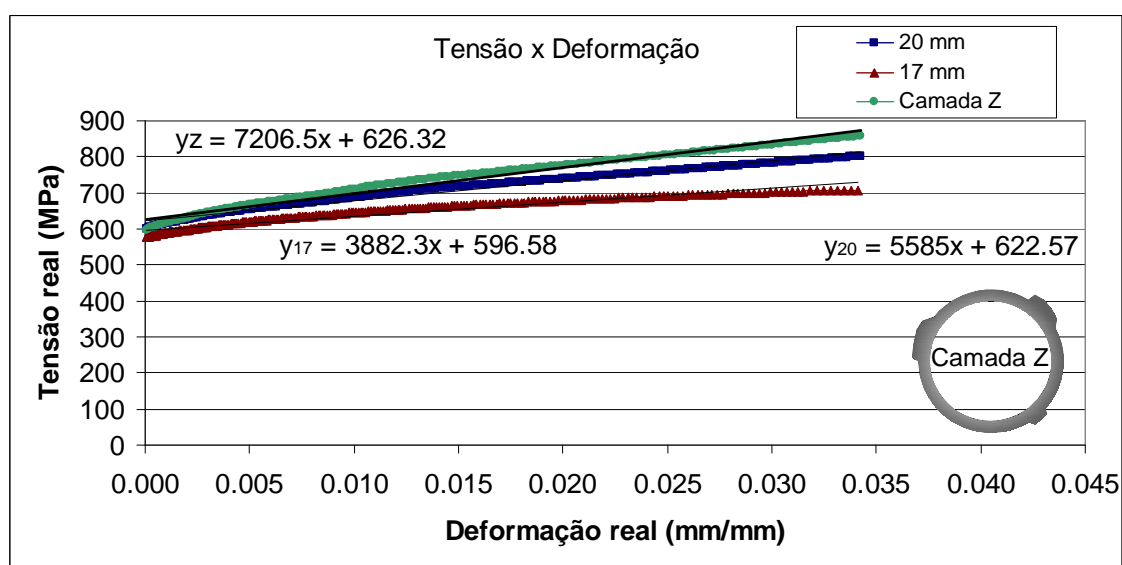


Figura 5.87 – Curva de escoamento prevista para a camada retirada do vergalhão de 20 mm.

Capítulo 6

6 CONCLUSÕES

Ao avaliar a microestrutura dos vergalhões pelos resultados da microscopia e pelos perfis de microdureza, o rumo da pesquisa mudou, pois foi uma grande surpresa descobrir que apenas as barras de 20mm e 25,4mm de diâmetro possuíam as características de vergalhões auto-revenidos. Todas as demais barras (6.3, 8.0, 10, 12.5 e 16) apresentavam perfis microestruturais estranhos ao esperado.

Em relação aos ensaios, todos foram adequados ao fim desejado, as microscopias ótica e eletrônica de varredura se mostraram importantes ferramentas de investigação e caracterização microestrutural, já a microdureza Vickers também se mostrou muito adequada na análise de vergalhões, tanto em relação ao material quanto ao tamanho das amostras, se mostrando eficaz e confiável.

A usinagem e os ensaios mecânicos também se mostraram adequados à situação simulada.

Em relação à avaliação das camadas concêntricas podemos concluir que a retirada da camada que possuía maior dureza, no vergalhão de 20mm de diâmetro, contribuiu para um decréscimo significativo da resistência da barra. E que a avaliação do vergalhão como material compósito se mostrou bastante apropriada, pois o comportamento da camada retirada pode ser previsto pela regra das misturas.

Porém os resultados indicam que mais investigações são necessárias para se chegar a uma conclusão mais detalhada sobre o comportamento mecânico das camadas concêntricas nos vergalhões de aço auto-revenido.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Marcelo de Barros. **Caracterização de União por Solda de Topo em Barras CA-50 com Eletrodos Revestidos**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 67 p.

BAUER, Luis Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 05 ed. Rio de Janeiro: LTC. 1994, 935 p. ISBN 85-216-0921-3.

CALLISTER, William D. Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. 02 ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006, 702 p. ISBN 85-216-1515-9.

CARVALHO, Thaís Hortense de, BACHA, Carlos José Caetano. **Análise da Evolução e da Estrutura da Siderurgia Brasileira e do Uso de Carvão Vegetal no Período de 1980 a 2006**. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. Anais. Rio Branco, AC. 2008. 20 p.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, CBCA. **Estatísticas do Uso de Sistemas Estruturais na Construção Civil**. Disponível em <<http://www.cbca-ibs.org.br/nsite/site/estatisticas.asp>>. Acesso em: 27 de mar. 2009, 11:20:27.

ECONOMOPOULOS, M., RESPEN, Y.,LESSEL, G., STEFFES, G., **Application of the Tempcore Process to the Fabrication of High Yield Strength Concrete-reinforcing Bars**. C.R.M. n. 45, Dez. 1975. p. 01-17.

FERRANTE, Maurizio. **Seleção de Materiais**. 1ª ed. São Carlos: UFSCar. 1996, 326p. ISBN 85-85173-12-2

FILHO, Cláudio Henrique Macedo Alves. **Análise da Influência da Taxa de Resfriamento no Gradiente Microestrutural de Barras Laminadas a Quente Tratadas Termicamente**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba 2004. 133 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, IBS. **Siderurgia Brasileira: Relatório de Sustentabilidade 2008**. Rio de Janeiro, 2009. 64 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, IBS. **Estatística da Produção de Aço 2009**. Disponível em <<http://www.ibs.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 18 de mar. de 2009, 10:45:45.

NIKOLAOU, J.; PAPADIMITRIOU, G. D. **Impact Toughness of Reinforcing Steels Produced by (i) the Tempcore Process and (ii) Microalloyins with Vanadium**. International Journal of Impact Engineering. v.31, 2005. p. 1065-1080.

NIKOLAOU, J.; PAPADIMITRIOU, G. D. **Microstructures and Mechanical Properties after Heating Reinforcing 500MPa class Weldable Steels Produced by Various Processes (Tempcore, Microalloyed with Vanadium and Work-Hardened)**. Construction and Building Materials v.18, 2004. p. 243-254.

PASSOS, P. R. A. **Destinação Sustentável de Cascas de Coco (cocos nucifera) Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas**. 2005, 169p. Originalmente apresentado como tese de doutorado a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RIVA, P. FRANCHI, A. TABENI, D. **Welded Tempcore Reinforcement Behaviour for Seismic Applications**. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, v. 34. 2001. p. 240-247.

RODRIGUES, Paulo César de Matos, CETLIN, Paulo Roberto, SILVA, Adriano de Paula e, AGUILAR, Maria Tereza Paulino. **Perfil de Temperatura em Aço para Construção Civil Fabricado pelo Processo Tempcore**. Revista Metalurgia & Materiais – ABM, v. 49. n. 418. Artigo. jun. 1993.

SABARIZ, Antônio. SILVA, Vânia Regina Velloso. SILVA, Leandro José. MARQUES, Daniel. **Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica Reforçada com Fibras Vegetais**. 2006, 11p. Artigo apresentado ao 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.

SILVA, Adriano de Paula. RODRIGUES, Paulo César. CETLIN, Paulo César. AGUILAR, Maria Teresa Paulino. **Propriedades Mecânicas e Soldabilidade de Barras de Aço para Concreto Armado Fabricadas pelo Processo Tempcore**. Anais do 47º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 1992. v. 4. p. 459-472.

SIMON, P.; ECONOMOPOULOS, M.; NILLES, P. **Tempcore: A New Process for the Production of High-Quality Reinforcing Bars**. Iron and Steel Engineering, mar. 1984. p. 53-57

SIMON, P.; ECONOMOPOULOS, M.; NILLES, P. **Tempcore, an Economical Process for the Production of High Quality Rebars**. Metallurgical Plant and Technology, mar. 1984. p. 80-93.

SOUZA, Sérgio Augusto. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. Edgard Blucher LTDA, 5ª ed, 1982.

TAMM, H. **Manual Técnico Thermex – HSE**, Hennigsdorfer Stahl Engineering, 2003. 28 p.

8 ANEXO

Tabela 8.1 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 6,3 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
287,72	0	239,1	3,6
262,91	0,45	269,42	4,05
267,78	0,9	258,93	4,5
268,57	1,35	267,75	4,95
267,75	1,8	269,41	5,4
242,58	2,25	274,48	5,85
239,08	2,7	277,06	6,3
244,73	3,15		

Tabela 8.2 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 6,3 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
313,03	0	255,08	3,6
299,98	0,45	250,56	4,05
295,17	0,9	256,64	4,5
277,89	1,35	260,54	4,95
266,13	1,8	255,83	5,4
259,73	2,25	246,9	5,85
247,62	2,7	285,67	6,3
237,72	3,15		

Tabela 8.3 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 8,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
269,48	0	261,31	4,5
288,63	0,45	270,24	4,95
288,61	0,9	266,11	5,4
285	1,35	272,78	5,85
270,26	1,8	273,6	6,3
268,59	2,25	279,65	6,75
255,86	2,7	276,19	7,2
255,86	3,15	271,92	7,65
252,8	3,6	285,88	8
271,11	4,05		

Tabela 8.4 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 8,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
265,31	0	261,3	4,5
273,62	0,45	255,83	4,95
270,26	0,9	262,1	5,4
266,12	1,35	257,41	5,85
276,15	1,8	260,53	6,3
262,91	2,25	255,84	6,75
273,62	2,7	266,13	7,2
264,51	3,15	270,23	7,65
256,63	3,6	275,34	8
258,17	4,05		

Tabela 8.5 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 10,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
289,54	0,0	277,9	5,2
309,96	0,4	278,9	5,7
326,94	0,9	272,79	6,1
308,93	1,3	289,52	6,5
284,08	1,7	285,89	7,0
272,76	2,2	284,96	7,4
274,46	2,6	288,64	7,8
276,19	3,0	280,52	8,3
271,08	3,5	284,11	8,7
275,3	3,9	295,15	9,1
270,24	4,3	295,17	9,6
283,2	4,8	295,12	10,0

Tabela 8.6 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 10,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
337,26	0,0	276,17	5,5
334,92	0,5	271,91	5,9
313,06	0,9	277,91	6,4
307,91	1,4	276,17	6,8
294,19	1,8	292,33	7,3
299,99	2,3	283,2	7,7
293,28	2,7	279,65	8,2
284,09	3,2	279,66	8,6
283,19	3,6	290,42	9,1
280,52	4,1	283,19	9,5
293,27	4,5	277,88	10,0
275,31	5,0		

Tabela 8.7 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 12,5 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
244,02	0,0	239,08	6,5
258,16	0,4	235,66	6,9
265,3	0,9	246,16	7,3
254,33	1,3	243,97	7,8
255,07	1,7	259,72	8,2
261,33	2,2	256,62	8,6
255,08	2,6	256,63	9,1
248,34	3,0	259,73	9,5
249,8	3,4	262,87	9,9
246,15	3,9	277,04	10,3
252,8	4,3	266,14	10,8
250,57	4,7	271,91	11,2
244,72	5,2	273,63	11,6
232,29	5,6	264,51	12,1
244,72	6,0	275,31	12,5

Tabela 8.8 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 12,5 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
264,55	0,0	252,08	6,5
268,6	0,5	256,6	6,9
257,39	0,9	249,83	7,4
272,78	1,4	250,73	7,9
257,4	1,9	256,62	8,3
261,29	2,3	255,86	8,8
266,94	2,8	257,39	9,3
254,32	3,2	266,11	9,7
252,05	3,7	271,06	10,2
263,72	4,2	269,42	10,6
254,32	4,6	277,9	11,1
241,17	5,1	273,61	11,6
236,33	5,6	273,62	12,0
255,09	6,0	262,92	12,5

Tabela 8.9 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 16,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
250,6	0	233,67	8,55
244,03	0,45	232	9
243,3	0,9	236,35	9,45
251,32	1,35	246,16	9,9
239,79	1,8	249,83	10,35
242,6	2,25	238,41	10,8
249,09	2,7	231,65	11,25
245,45	3,15	249,83	11,7
245,45	3,6	239,1	12,15
246,89	4,05	248,34	12,6
231,62	4,5	239,09	13,05
243,27	4,95	239,78	13,5
242,56	5,4	239,09	13,95
244,74	5,85	246,17	14,4
251,31	6,3	241,19	14,85
250,57	6,75	242,58	15,3
235,63	7,2	255,09	15,75
234,56	7,65	249,08	16
232,67	8,1		

Tabela 8.10 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 16,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
242,59	0	243,29	8,55
249,08	0,45	251,35	9
247,62	0,9	237,03	9,45
246,16	1,35	238,37	9,9
246,17	1,8	249,06	10,35
243,3	2,25	244	10,8
251,32	2,7	244,71	11,25
243,29	3,15	241,88	11,7
246,18	3,6	237,02	12,15
243,98	4,05	241,14	12,6
247,61	4,5	239,08	13,05
239,78	4,95	246,15	13,5
243,27	5,4	243,99	13,95
243,29	5,85	243,28	14,4
249,07	6,3	243,31	14,85
234,98	6,75	253,56	15,3
237,7	7,2	249,09	15,75
245,08	7,65	243,29	16
242,99	8,1		

Tabela 8.11 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 20,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
223,91	0	163,26	10,45
269,45	0,45	170,1	10,91
271,08	0,91	162,46	11,36
262,1	1,36	167,23	11,82
269,41	1,82	168,87	12,27
252,05	2,27	174,84	12,73
211,27	2,73	166,44	13,18
198,09	3,18	168,47	13,64
186,6	3,64	167,64	14,09
185,65	4,09	170,96	14,55
183,31	4,55	164,42	15,00
174,34	5,00	167,65	15,45
167,64	5,45	170,1	15,91
174,34	5,91	177,85	16,36
170,1	6,36	183,78	16,82
172,62	6,82	196,03	17,27
169,7	7,27	199,15	17,73
166,44	7,73	202,36	18,18
178,3	8,18	248,37	18,64
168,88	8,64	265,29	19,09
164,44	9,09	260,54	19,55
170,11	9,55	241,87	20,00
163,26	10,00		

Tabela 8.12 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 20,0 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
237,7	0,00	164,42	10,48
266,96	0,48	161,32	10,95
259,75	0,95	169,27	11,43
227,71	1,43	167,64	11,90
197,6	1,90	165,22	12,38
184,24	2,38	165,63	12,86
176,09	2,86	171,35	13,33
173,05	3,33	168,87	13,81
174,36	3,81	168,04	14,29
165,63	4,29	168,88	14,76
163,26	4,76	165,23	15,24
172,19	5,24	162,84	15,71
162,09	5,71	173,06	16,19
168,86	6,19	179,21	16,67
168,46	6,67	189,5	17,14
163,25	7,14	195,01	17,62
177,86	7,62	236,34	18,10
170,96	8,10	254,33	18,57
176,51	8,57	264,51	19,05
164,44	9,05	266,97	19,52
171,79	9,52	252,08	20,00
161,32	10,00		

Tabela 8.13 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 25,4 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
291,39	0	213,03	13,15
319,37	0,45	210,12	13,61
332,6	0,91	219,56	14,06
309,93	1,36	217,73	14,51
287,7	1,81	230,32	14,97
227,68	2,27	211,27	15,42
221,4	2,72	217,75	15,88
215,95	3,18	221,42	16,33
222,66	3,63	213,6	16,78
220,79	4,08	234,31	17,24
189,96	4,54	218,35	17,69
206,19	4,99	222,63	18,14
216,53	5,44	207,86	18,60
212,43	5,90	223,92	19,05
225,79	6,35	214,79	19,50
221,39	6,80	214,18	19,96
220,8	7,26	220,2	20,41
215,38	7,71	225,84	20,86
221,4	8,16	217,75	21,32
224,54	8,62	225,15	21,77
220,83	9,07	225,19	22,23
207,86	9,53	233,61	22,68
209,56	9,98	224,54	23,13
214,17	10,43	222,65	23,59
222,66	10,89	227,67	24,04
208,42	11,34	294,19	24,49
231,63	11,79	309,94	24,95
225,17	12,25	293,25	25,40
198,64	12,70		

Tabela 8.14 – Ensaio de microdureza Vickers, barra de 25,4 mm

<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>	<i>Microdureza Vickers (HV)</i>	<i>Distância da Borda (mm)</i>
289,52	0	227,05	13,14
318,29	0,44	226,46	13,58
288,62	0,88	215,37	14,01
222,66	1,31	223,29	14,45
224,54	1,75	241,15	14,89
223,27	2,19	227,07	15,33
200,22	2,63	216,56	15,77
217,75	3,07	225,17	16,20
227,07	3,50	209,01	16,64
214,76	3,94	217,76	17,08
211,28	4,38	234,99	17,52
218,96	4,82	214,76	17,96
216,56	5,26	225,81	18,39
217,76	5,69	208,41	18,83
223,26	6,13	225,18	19,27
217,72	6,57	220,79	19,71
225,8	7,01	200,49	20,14
225,17	7,44	222,03	20,58
197,07	7,88	219,56	21,02
210,71	8,32	215,38	21,46
214,17	8,76	210,11	21,90
219,59	9,20	213,03	22,33
225,14	9,63	223,26	22,77
206,74	10,07	224,52	23,21
214,78	10,51	219,57	23,65
200,23	10,95	271,06	24,09
212,44	11,39	290,46	24,52
213	11,82	287,72	24,96
227,08	12,26	284,05	25,40
241,16	12,70		



CERTIFICADO Nº: 194523

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO CIVIL

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092158 Tipo: Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetros (mm)		Peso Linear (kg/m)	Área Seção (mm²)	Limite Escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along. em 10D (%)
			Nominal	Medido					
1	1	@@@@@@@@@	20,00	20,00	2,444	311,38	563	778	16,0

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60;EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
CREA-MG 47457/D



CERTIFICADO Nº: 194530

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 Tipo: Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm²)	Limite Escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60;EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
CREA-MG 47457/D

CERTIFICADO Nº: 194531

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 Tipo: Ensaio de Tração

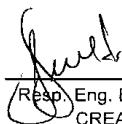
ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm ²)	Limite escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza
2	1	@@@@@@@@@	15,79	195,82	536	785	26,2	49,5	=====

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60:EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009



 Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
 CREA-MG 47457/D
CERTIFICADO Nº: 194532

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 Tipo: Ensaio de Tração

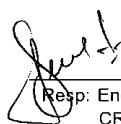
ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm ²)	Limite escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza
3	1	@@@@@@@@@	14,14	157,03	535	795	22,0	46,7	=====

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60:EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009



 Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
 CREA-MG 47457/D



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA
FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 194533

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 Tipo: Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm ²)	Limite Escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza
4	1	@@@@@@@@@	12,12	115,37	546	803	21,2	47,5	=====

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60;EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
CREA-MG 47457/D



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA
FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 194534

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 Tipo: Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm ²)	Limite Escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza
5	1	@@@@@@@@@	10,17	81,23	534	795	22,4	49,9	=====

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60;EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
CREA-MG 47457/D



CERTIFICADO Nº: 194535

INTERESSADO: MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA BARRETO.

MATERIAL: ACO CONSTRUCAO MECANICA

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 092160 **Tipo:** Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Indicacoes	Diâmetro (mm)	Área Seção (mm ²)	Limite escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)	Dureza
6	1	@@@@@@@@@	7,94	49,51	528	799	19,0	49,7	=====

*** Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo UPD 60;EJ573. Está calibrada pela NBR ISO/IEC17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº121878, de 06/05/2009, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Itaúna, 16 de Outubro de 2009

Resp: Eng. Ewerton Augusto de Souza Nogueira
CREA-MG 47457/D



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2600
faleconosco@fatec.br - www.fatec.br

Setor de
Testes Físicos

Certificado de Calibração Nº 121878

01/03

LABORATÓRIO ISAAC NEWTON
REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO
LABORATÓRIO ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO



REDE METROLÓGICA MG
LABORATÓRIO HOMOLOGADO PELA REDE METROLÓGICA MG SOB O Nº 001

Cliente: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

Endereço: Rodovia MG 431, km 45, Campos Verdes, 35680-142 Itaúna, MG, Brasil

Guia de autorização de serviços Nº: 62417

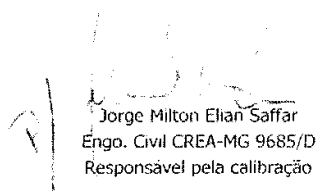
Etiqueta CETEC Nº: 2009-0656

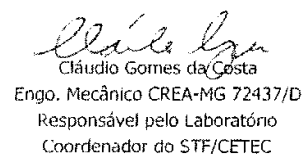
Objeto: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS, tipo: hidráulica, marca: MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN, modelo: UPD 60/EJ573, número de série: 8133/20393, número de patrimônio: 001201, faixa nominal: 600 kN, instrumentação eletrônica associada: transdutor de pressão, marca EMIC, faixa nominal: 600 kN, resolução: 0,1 kN; sistema de leitura por interface de computador

Natureza do trabalho: CALIBRAÇÃO A COMPRESSÃO segundo NBR NM-ISO 7500-1:2004 e Norma do Sistema da Qualidade CETEC MSQC 1101

Data da calibração: 06.05.2009

Data da emissão: 08.05.2009


Jorge Milton Elian Saffar
Engo. Civil CREA-MG 9685/D
Responsável pela calibração


Cláudio Gomes da Costa
Engo. Mecânico CREA-MG 72437/D
Responsável pelo Laboratório
Coordenador do STF/CETEC

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao instrumento descrito como Objeto
Nas situações aplicáveis, o arredondamento dos números deste certificado foi realizado segundo as prescrições da NBR 5891/1977
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral
Este certificado atende aos requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, que avaliou a competência do Laboratório Isaac Newton e comprovou a rastreabilidade dos resultados a padrões nacionais de medida





Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Heliópolis
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil
Telefone: (31) 3489-2000 Fax: (31) 3489-2200
faleconosco@cetec.br www.cetec.br

Setor de
Testes Físicos

Certificado de Calibração Nº 121878

02/03

1 Faixa nominal 600 kN (compressão), com acessório registrador de força máxima

1.1 Medições

Valor fixo na máquina		Leitura no padrão / kN				Média cresc.	Média decresc.	Resolução relativa
/ kN	/ kN	F1	F2	F3	F4	/ kN	/ kN	/ %
30,00	30,00	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	NA	0,33
60,00	60,00	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	NA	0,17
120,0	120,0	120,0	120,2	120,0	120,0	120,0	NA	0,063
180,0	180,0	179,2	179,6	180,0	180,0	179,7	NA	0,056
240,0	240,0	239,8	239,8	239,8	239,9	239,8	NA	0,042
300,0	300,0	300,4	300,2	300,0	300,0	300,2	NA	0,033
360,0	360,0	360,1	360,1	360,0	360,0	360,0	NA	0,028
420,0	420,0	420,2	420,0	420,0	420,0	420,0	NA	0,024
480,0	480,0	480,2	480,0	480,0	480,0	480,0	NA	0,021
540,0	540,0	540,0	540,0	539,9	540,0	540,0	NA	0,019

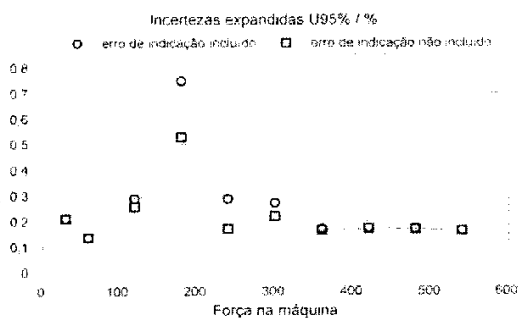
1.2 Erros e incertezas

Valor fixo na máquina		Erro Indic.	Erro Repet.	Erro Revers.	Incertezas, U95% / %			
/ kN	/ kN	/ %	/ %	/ %	Neff	k	incl. erro indic.	excl. erro indic.
30,00	30,00	0,0	0,0	NA	infinito	1,96	±0,21	±0,21
60,00	60,00	0,0	0,0	NA	infinito	1,96	±0,14	±0,14
120,0	120,0	-0,042	0,17	NA	3,00E+00	3,18	±0,29	±0,26
180,0	180,0	0,17	0,45	NA	3,00E+00	3,18	±0,75	±0,53
240,0	240,0	0,073	0,042	NA	3,00E+00	3,18	±0,29	±0,17
300,0	300,0	0,050	0,13	NA	3,00E+00	3,18	±0,27	±0,22
360,0	360,0	-0,014	0,028	NA	3,00E+00	3,18	±0,17	±0,16
420,0	420,0	-0,012	0,048	NA	3,00E+00	3,18	±0,17	±0,17
480,0	480,0	-0,010	0,042	NA	3,00E+00	3,18	±0,17	±0,17
540,0	540,0	0,0046	0,019	NA	3,00E+00	3,18	±0,16	±0,16

1.3 Erro de zero

Determ.	F1	F2	F3	F4	máximo
Erro / %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1.4 Representação gráfica das incertezas



1.5 Classificação da faixa

Força limite inferior	Classe
30,0	1
60,0	0,5
120	0,5

Lab. calibração acreditado pela CGCRE/INMETRO, cf. ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o No.0045
O Laboratório Isaac Newton é homologado pela Rede Metroológica MG sob o número 001




Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

 Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto
 31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil
 Telefones: (51) 3489-2000 - Fax: (51) 3489-2200
 faleconos@cetec.br - www.cetec.br

 Setor de
 Testes Físicos

Certificado de Calibração Nº 121878

 Folha
 03/03

2 Equipamentos utilizados na calibração

Id. STF	349.00	352.00	454.00
Função	padrão	padrão	instr. eletr. associada
Tipo	transdutor de força	transdutor de força	condicionador de sinais
Marca	HBM	HBM	HBM
Modelo	U1	C1	MGC AB12 MC30
Num.séne	D 39693	D 13473	414371A
Faixa nom.	100 kN	1 MN	5 1/2 dígitos
Resolução	-	-	1 dígito
Data cal.	09.04.2008	05.08.2008	-
Certificado	120770	121144	-
Órgão cal.	CETEC	CETEC	-
Período cal.	24 meses	24 meses	-
Incert U95%	± 200 ppm	± 200 ppm	-
Rastreab.	INMETRO-Brasil	INMETRO-Brasil	-

3 Condições operacionais

- 3.1 Temperatura ambiente: T = 24,4°C (sem ar condicionado)
- 3.2 Operação: Márcilio José Madeira Peixoto - CETEC e André Oliveira Prado - CLIENTE
- 3.3 Local de instalação da máquina: Laboratório Metalográfico e Metroológico - Faculdade de Engenharia - CLIENTE
- 3.4 Acompanhamento da calibração: Ewerton Augusto de Sousa Nogueira - CLIENTE
- 3.5 Posições do pistão da máquina: 10 mm (curso do pistão 300 mm).

4 Observações

- 4.1 A incerteza expandida de medição relatada (U95%) é a incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência k, o qual, para uma distribuição t com Neff graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%.
- 4.2 A incerteza padrão combinada de medição foi determinada segundo as prescrições do ISO GUM (2a. Ed. Bras. 1998) e a publicação EA-4/02.
- 4.3 A estimativa das incertezas de medição foi realizada considerando-se os seguintes componentes: padrão, resolução e erros de repetitividade, de zero e de indicação (quando aplicável)
- 4.4 Siglas empregadas neste certificado: NA: não-aplicável; ND: não-detectado.

5 Fatores de conversão adotados nas situações aplicáveis

Unidade	Para converter em N, multiplicar por	Unidade	Para converter em N, multiplicar por
kN	1000	poundal	0,138255
dyn	0,00001	ozf	0,2780139
kgf	9,80665	lbf	4,448222
kp	9,80665	kip	4448,222
tf	9806,65	tf (av)	8896,443
Mp	9806,65	-	-

Lab. calibração acreditado pela CGCRE/INMETRO, cf. ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o No.0045
 O Laboratório Isaac Newton é homologado pela Rede Metroológica MG sob o número 001





**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Venda: Rua Dianópolis 1278 - Moca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11 3202-8623 - Fax.: 11 3202-8699

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA, COMERCIO, CORTE E DO
 Produto/Product: CASO 6,30 BR 12m 2ton NBR7490

Nota Fiscal/Invoice: 000009144
 Certificado/Certificate Nr: 267202

Data Emissão/Issue Date: 11.03.2009
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TC	Le Kgf/mm ²	Lr Kgf/mm ²	Al %	Lr/Le	Dobr												
1000024167	4,309	52,1	75,7	14,6	1,45	OK												
1000024153	2,150	55,3	76,4	16,2	1,38	OK												

Observação/Observation: Corrida: 1000024167 Volumes: 002 Corrida: 1000024153 Volumes: 001

Códigos propriedades mecânicas: Le - Limite escoamento Lr - Limite Resistência Al - Alongamento Lr/Le - Relação Elástica

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng Luis Claudio Nunes CREA-RJ2001109584



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Vendas: Rua Dianópolis 1278 - Mooca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11 6215-8699 - Fax.: 11 6215-8699

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA COMERCIO CORTE E DOBR
 Produto/Product: CA50 8,00 BR 12m 2t NBR7480

Nota Fiscal/Invoice: 348664
 Certificado/Certificate Nr: 182586

Data Emissão/Issue Date: 27.04.2008
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm ²	Lr kgf/mm ²	Al %	Lr/Le	Dobr												
2000013661	4,344	50,9	75,4	18,1	1,48	OK												

Observação/Observation: Corrida: 2000013661 Volumes: 001

Códigos propriedades mecânicas: Le	- Limite escoamento	Lr	- Limite Resistência	Al	- Alongamento	Lr/Le	- Relação Elástica

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLIES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo controle de Qualidade: Engº Elizab Issene Jr. CREA RJ-130153/D



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Vendas: Rua Dianópolis 1278 - Mooca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11 3202-8623 - Fax.: 11 3202-8699

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA COMERCIO CORTE E DOBR
 Produto/Product: CASO 10,00 BR 12m NBR7480

Nota Fiscal/Invoice: 369661
 Certificado/Certificate Nr: 228215

Data Emissão/Issue Date: 18.10.2008
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm2	Lr kgf/mm2	AL %	Lr/Le	DoBr												
1000021594	2,622	53,2	75,2	14,0	1,41	OK												
1000022082	2,378	53,5	78,0	13,5	1,46	OK												
1000022083	8,476	54,6	78,8	13,0	1,43	OK												
1000022090	1,678	51,1	75,7	14,0	1,48	OK												
2000016850	2,165	54,3	76,1	13,5	1,40	OK												
2000017185	6,424	55,7	80,2	13,0	1,44	OK												

Observação/Observation: Corrida: 1000021594 Volumes: 002
 Corrida: 2000016850 Volumes: 001

Corrida: 1000022082 Volumes: 002
 Corrida: 2000017185 Volumes: 003

Corrida: 1000022083 Volumes: 004

Corrida: 1000022090 Volumes: 001

Códigos propriedades mecânicas: Le - Limite escoamento Lr - Limite Resistência AL - Alongamento Lr/Le - Relação Elástica

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng Luis Claudio Nunes CREA-RJ2001109584



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Vendas: Rua Dianópolis 1278 - Mooca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11 3202-8623 - Fax.: 11 3202-8699

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA, COMERCIO, CORTE E DO
 Produto/Product: CA50 12,50 BR 12m NBR7480

Nota Fiscal/Invoice: 371085
 Certificado/Certificate Nr: 232435

Data Emissão/Issue Date: 30.10.2008
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm ²	Lr kgf/mm ²	AL %	Lr/le	Dobr												
1000021531	4,076	59,3	70,4	16,0	1,19	OK												
2000016688	1,962	55,5	66,3	17,4	1,19	OK												
2000017368	2,062	57,9	68,6	16,0	1,19	OK												

Observação/Observation: Corrida: 1000021531 Volumes: 002 Corrida: 2000016688 Volumes: 001 Corrida: 2000017368 Volumes: 001

Códigos Propriedades mecânicas: Le	- Limite escoamento	Lr	- Limite Resistência	AL	- Alongamento	Lr/le	- Relação Elástica

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng Luis Claudio Nunes CREA-RJ2001109584



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24.33249655 - Fax.: 24.33249600
 Vendas: Rua Dianópolis 1278 - Mooca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11.3202-8623 - Fax.: 11.3202-8699

Cliente/Customer: CSD IND, COM, CORTE E DOBRA DE AC
 Produto/Product: CASO 16,00 BR 12m NBR7480
 Nota Fiscal/Invoice: 369700
 Certificado/Certificate Nr.: 228556
 Data Emissão/Issue Date: 19.10.2008
 Nº Folha/Page Nr.: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm ²	Lr kgf/mm ²	AL %	Lr/Le	DoBr													
1000022116	6,169	53,0	79,9	17,0	1,51	OK													

Observação/Observation: Corrida: 1000022116 Volume: 003

Códigos propriedades mecânicas: Le	- Limite Escoamento	Lr	- Limite Resistência	AL	- Alongamento	Lr/Le	- Relação Elástica
------------------------------------	---------------------	----	----------------------	----	---------------	-------	--------------------

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng LUIS Claudio Nunes CREA-RJ2001109584

Luiz Claudio Nunes



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Vendas: Rua Dianópolis 1278 - Mooca - Cep: 03126-007 - São Paulo - SP - Tel.: 11 3202-8623 - Fax.: 11 3202-8699

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA COMERCIO CORTE E DOBR
 Produto/Product: CA50 20,00 BR 12m NBR7480

Nota Fiscal/Invoice: 365881
 Certificado/Certificate Nr: 219729

Data Emissão/Issue Date: 15.09.2008
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm ²	Lr kgf/mm ²	Al %	Lr/le	Dobr											
1000016046	12,262	56,2	68,1	15,5	1,21	OK											
1000020966	3,940	53,5	65,9	19,0	1,24	OK											

Observação/Observation: Corrida: 1000016046 Volumes: 006 Corrida: 1000020966 Volumes: 002

Códigos propriedades mecânicas: Le	- Limite escoamento	Lr	- Limite Resistência	Al	- Alongamento	Lr/le	- Relação Elástica

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng. Luis Claudio Nunes CREA-RJ2001109584



**CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE**

Usina: Av. Homero Leite 1051 - Saudade - Cep: 27355-501 - Barra Mansa - RJ - Tel.: 24 33249655 - Fax.: 24 33249600
 Vendas: Rua Manoel P. Mendes 333 - Cep: 32010-090 - Contagem - MG - Tel.: 31 33514033 - Fax.: 31 33514033

Cliente/Customer: CSD INDUSTRIA COMERCIO CORTE E DORR
 Produto/Product: CASO 25,00 BR 12m NBR7480

Nota Fiscal/Invoice: 045597
 Certificado/Certificate Nr: 216301

Data Emissão/Issue Date: 28.08.2008
 nº Folha/Page Nr: 1

Corrida	Peso TO	Le kgf/mm2	Lr kgf/mm2	Al %	Lr/Le	Dobr												
1000020553	3,974	56,0	68,5	13,8	1,22	OK												

Códigos propriedades mecânicas: Le - Limite Escoamento Lr - Limite Resistência Al - Alongamento Lr/Le - Relação Elástica																		
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Certificamos que os produtos descritos, foram ensaiados e analisados conforme especificado e os resultados atendem a norma citada
 WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL, HAS BEEN TESTED AND ANALYSED AS SPECIFIED, AND RESULT COMPLIES THE MENTIONED SPECIFICATION

Responsável pelo Controle de Qualidade: Eng Luis Claudio Nunes CREA-RJ2001109584