



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru



**EFEITO DOS PARÂMETROS DE PULSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
GEOMÉTRICAS E DESEMPENHO DA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR
AUTOPROTEGIDO E CORRENTE PULSADA**

FÁBIO RICARDO TORRANO CORRÊA

**Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP – Campus de Bauru, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.**

**BAURU – SP
Janeiro – 2006**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru



**EFEITO DOS PARÂMETROS DE PULSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
GEOMÉTRICAS E DESEMPENHO DA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR
AUTOPROTEGIDO E CORRENTE PULSADA**

FÁBIO RICARDO TORRANO CORRÊA

Orientador: Prof. Dr. Yukio Kobayashi

**Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP – Campus de Bauru, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.**

**BAURU – SP
Janeiro – 2006**

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – BAURU**

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Brichi Cintra – CRB 5046

Corrêa, Fábio Ricardo Torrano.

Efeito dos parâmetros de pulso sobre as características geométricas e desempenho da soldagem com arame tubular autoprottegido e corrente pulsada / Fábio Ricardo Torrano Corrêa, 2006.

105 f.

Orientador : Yukio Kobayashi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2006.

1. Soldagem. 2. Arame tubular autoprottegido. 3. Características geométricas. I - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II - Título.

ATA Nº 079/2006

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE FABIO RICARDO TORRANO CORREA, ALUNO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNESP – CAMPUS DE BAURU.

No dia vinte de janeiro de dois mil e seis, às 9:00 horas, no anfiteatro do prédio da Pós-graduação, da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru, reuniu-se à Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelo Professor Doutor Yukio Kobayashi do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Bauru, Presidente da Banca, Professor Doutor Paulo Cesar Rioli Duarte de Souza, do Curso de Navegação Fluvial- Projetos da Faculdade de Tecnologia de Jaú e o Professor Doutor Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Bauru, a fim de proceder à arguição pública da Dissertação do candidato FABIO RICARDO TORRANO CORREA, intitulada “EFEITO DOS PARÂMETROS DE PULSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E DESEMPENHO DA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO E CORRENTE PULSADA”. O Professor Doutor Yukio Kobayashi, Presidente da Banca, apresentou o candidato, que dissertou sobre seu trabalho, em quarenta minutos, após, o candidato foi argüido oralmente pelos membros componentes da Comissão Examinadora no tempo regulamentar exigido. Logo após, reuniu-se a Comissão Examinadora, tendo apresentado o conceito final: **APROVADO**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após, lida e aprovada, será assinada pelos Senhores Membros da Comissão Examinadora.

Bauru, 20 de janeiro de dois mil e seis.

Prof. Dr. Yukio Kobayashi _____

Prof. Dr. Paulo César Rioli Duarte de Souza _____

Prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves _____

DEDICATÓRIA

Dedico à minha querida esposa pela dedicação, companheirismo e compreensão para que o trabalho fosse concluído.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio concedido durante toda a minha formação escolar e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, disposição, tranquilidade, sabedoria e ajuda em todos os momentos que necessitei.

À minha esposa Rafaela Grillo Corrêa, pela paciência e apoio na coleta e aquisição dos dados.

Aos meus pais pelo esforço que fizeram para me proporcionar uma boa educação e formação.

Ao Prof. Dr. Yukio Kobayashi pela orientação, empenho e colaboração nesta dissertação e, fundamentalmente, pela amizade, compreensão e apoio durante estes anos de trabalho.

Ao colega de pós-graduação Prof. Carlos De Nardi pelas sugestões importantes para elaboração deste trabalho.

Ao colega de pós-graduação Eng. Sidney Yamamoto pelos conselhos e incentivos durante a execução deste trabalho.

A aluna de Engenharia Mecânica Ana Carolina Silva Amoroso Anastácio pela ajuda prestada sempre que foi necessário.

Ao Prof. Dr. Célio Losnak pela utilização do laboratório de Metrologia do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP – Bauru.

Ao Prof. Dr. João Candido pelo apoio inicial para o ingresso no programa de pós-graduação.

Ao colega de trabalho Eng. Anderson Hagemayer dos Santos pela disponibilização de tempo para cursar disciplinas da pós graduação.

Aos demais professores, funcionários e alunos da Faculdade de Engenharia da UNESP – campus de Bauru que colaboraram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

"a flor que sorri hoje,
amanhã morre,
amizade como é rara..."

(Lord Byron)

RESUMO

No presente trabalho buscou-se determinar o comportamento das características geométricas do cordão da solda e o desempenho da soldagem, através do processo de soldagem com arame tubular autoprotegido e corrente pulsada. As características geométricas estudadas foram largura do cordão, penetração da solda e altura do reforço. Para definir o desempenho da soldagem analisou-se o rendimento de deposição e a taxa de deposição. Como metal de base utilizou-se o aço ABNT 1010 de espessura 6,35mm. O arame utilizado foi o AWS E71T-11 com diâmetro 1,1mm. As soldas foram realizadas por simples deposição, utilizando-se uma fonte de solda microprocessada, mantendo-se a velocidade de soldagem e a distância tocha/peça constante. Durante o processo de soldagem os parâmetros de pulso analisados foram a corrente de pico (A_p), corrente de base (A_b), frequência de pulso (F) e tempo de pico (T_p). Para coleta dos dados foi utilizada uma placa de aquisição de dados com interface a um microcomputador. De posse dos dados, foi aplicada a técnica de ANOVA, com o objetivo de identificar, quantificar e localizar a significância das dispersões. Verificou-se que a tensão média tem grande influência nas características geométricas do cordão de solda e de desempenho da soldagem. Para cada incremento de F provocou uma redução da largura do cordão de solda e aumento da penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição. O incremento T_p acarretou a formação de cordões mais largos, como também a redução na altura do reforço, penetração, taxa de deposição e rendimento de deposição. A variação de A_p não teve influência sobre largura do cordão, a altura do reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição.

ABSTRACT

In the present work one searched to determine the behavior of the geometric characteristics of the bead weld and the performance of the welding, through the process self-shielded flux cored arc welding and pulsed current. The studied geometric characteristics had been width of bead, penetration of the weld, height of the reinforcement. To define the performance of the welding one analyzed the deposition efficiency and the deposition rate. As metal base was used steel ABNT 1010 with thickness 6,35mm. The used wire was the AWS E71T-11 with diameter 1,1mm. The welds had been carried through by simple deposition, using themselves a microprocessed weld power source, remaining constant it welding speed and the stick-out. During the welding process the analyzed parameters of pulse had been the peak current (A_p), base current (A_b), pulse frequency (F) and peak duration (T_p). For collection of the data a plate of acquisition of data with interface to a microcomputer was used. Of ownership of the data, the ANOVA technique was applied, with the objective to identify, to quantify and to locate the significance of the dispersions. It was verified that the mean voltage has great influence in the geometric characteristics of the bead weld and performance of the welding. For each increment of F it provoked a reduction of the width of the bead weld and increase of the penetration, height of the reinforcement, deposition rate and deposition efficiency. The T_p increment caused the wider bead weld formation, as also the reduction in the height of the reinforcement, penetration, deposition rate and deposition efficiency. The variation of A_p did not have influence on width of the bead weld, the height of the reinforcement, deposition rate and deposition efficiency.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DA LITERATURA	3
3.1. Soldagem com arame tubular	3
3.1.1. Tipos de arames tubulares.	4
3.1.2. Características do processo	6
3.1.3. Parâmetros de soldagem	8
3.1.4. As principais vantagens e desvantagens do processo de soldagem FCAW	10
3.2. Soldagem com arco pulsado.	11
3.3. Soldagem com arame tubular e arco pulsado	16
3.4. Características geométricas	17
3.5. Características de desempenho	22
4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	24
4.1. Materiais	24
4.2. Métodos	24
4.2.1. Processo de soldagem	24
4.2.2. Análise metalográfica	28
4.2.3. Procedimento de medição da geometria.	28
4.2.4. Determinação da taxa de deposição.	29
4.2.5. Determinação da taxa de consumo	30
4.2.6. Análise da Eficiência da deposição	32
4.2.7. Tratamento estatístico	32
5. RESULTADOS	34
5.1. Aspecto visual do cordão de solda	34
5.2. Geometria do cordão de solda	39
5.2.1. Influência do tempo de pico e da frequência	39
5.2.2. Influência das correntes de pico e de base.	40
5.3. Características de desempenho	43
5.3.1. Influência do tempo de pico e da frequência	43
5.3.2 – Influência das correntes de pico e de base	44
5.4. Corrente e Tensão	47
5.5. Resultados Estatísticos	49
5.5.1. Influência do tempo de pico	50
5.5.2. Influência da frequência	52

5.5.3. Influência da corrente de pico	54
5.5.4. Influência da corrente de base	56
5.6. Fotomicrografias	58
6. DISCUSSÃO	63
6.1. Influência do tempo de pico	63
6.2. Influência da Frequência	67
6.3. Influência da corrente de pico e de base	70
7. CONCLUSÕES	75
8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO A - MEDIDAS DO DIÂMETRO COLETADAS NO PROJETO DE PERFIL	84
ANEXO B – RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIANCIAS	85
ANEXO C – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA LARGURA DO CORDÃO DE SOLDA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE	91
ANEXO D – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA PENETRAÇÃO DE SOLDA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE	94
ANEXO E – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA ALTURA DO REFORÇO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE	97
ANEXO F – DIAGRAMAS DAS CURVAS DA TAXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.	100
ANEXO G – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DO RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema ilustrativo da soldagem com arame tubular com proteção adicional de gás (Fonte: Welding Handbook (1991)).	5
Figura 2 –	Esquema ilustrativo da soldagem com arame tubular autoprottegido (Fonte: Welding Handbook (1991)).	5
Figura 3 –	Formas de seção de arame tubulares (Fonte: Norrish (1992)).	6
Figura 4 –	Esquema ilustrativo do efeito colchão gerado na soldagem com arame tubular autoprottegido (Fonte: Boniszewski (1992))	8
Figura 5 –	Diagrama esquemático de uma onda do tipo corrente pulsada.	13
Figura 6 –	Esquema ilustrativo do posicionamento da tocha.	25
Figura 7 –	Equipamento de translação utilizado na soldagem.	26
Figura 8 –	Fonte de energia multiprocessos, microprocessada.	27
Figura 9 –	Esquema ilustrativo da medição da geometria do cordão de solda.	29
Figura 10 –	Equipamento de medição e monitoração do processo de soldagem.	30
Figura 11 –	Desenho esquemático das medidas de diâmetro do arame E71T-11.	31
Figura 12 –	Solda realizada utilizando o grupo 1 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	34
Figura 13 –	Solda realizada utilizando o grupo 2 – $A_p = 350A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	35
Figura 14 –	Solda realizada utilizando o grupo 3 – $A_p = 350A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	35
Figura 15 –	Solda realizada utilizando o grupo 4 – $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	35
Figura 16 –	Solda realizada utilizando o grupo 5 – $A_p = 420A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	36

Figura 17 – Solda realizada utilizando o grupo 6 – $A_p = 420A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	36
Figura 18 – Solda realizada utilizando o grupo 7 – $A_p = 400A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	36
Figura 19 – Solda realizada utilizando o grupo 8 – $A_p = 400A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	37
Figura 20 – Solda realizada utilizando o grupo 9 – $A_p = 400A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	37
Figura 21 – Solda realizada utilizando o grupo 10 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	37
Figura 22 – Solda realizada utilizando o grupo 11 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	38
Figura 23 – Solda realizada utilizando o grupo 12 – $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	38
Figura 24 – Solda realizada utilizando o grupo 13 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,50$ ms.	38
Figura 25 – Solda realizada utilizando o grupo 14 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 150$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	39
Figura 26 – Comparação entre os valores médios de Largura do cordão (L) obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).	50
Figura 27 – Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).	51
Figura 28 – Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).	51
Figura 29 – Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (T_d), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).	51
Figura 30 – Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).	52
Figura 31 – Comparação entre os valores médios de largura do cordão (L), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).	52

Figura 32 –	Comparação entre os valores médios de penetração de solda (P), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).	53
Figura 33 –	Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).	53
Figura 34 –	Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (Td), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).	53
Figura 35 –	Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).	54
Figura 36 –	Comparação entre os valores médios de Largura do cordão (L), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).	54
Figura 37 –	Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).	55
Figura 38 –	Comparação entre os valores médios de Altura do reforço (R), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).	55
Figura 39 –	Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (Td), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).	55
Figura 40 –	Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).	56
Figura 41 –	Comparação entre os valores médios de largura do cordão (L), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).	56
Figura 42 –	Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).	57
Figura 43 –	Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).	57
Figura 44 –	Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (Td), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).	57
Figura 45 –	Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).	58
Figura 46 –	Fotomicrografia do grupo 1 - $Ap = 350A$; $Ab = 30A$; $F = 100$ Hz e $Tp = 2,00$ ms.	58

Figura 47 – Fotomicrografia do grupo 2 - $A_p = 350A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	58
Figura 48 – Fotomicrografia do grupo 3 - $A_p = 350A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	59
Figura 49 – Fotomicrografia do grupo 4 - $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	59
Figura 50 – Fotomicrografia do grupo 5 - $A_p = 420A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	59
Figura 51 – Fotomicrografia do grupo 6 - $A_p = 420A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	60
Figura 52 – Fotomicrografia do grupo 7 - $A_p = 400A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	60
Figura 53 – Fotomicrografia do grupo 8 - $A_p = 400A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	60
Figura 54 – Fotomicrografia do grupo 9 - $A_p = 400A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.	61
Figura 55 – Fotomicrografia do grupo 10 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	61
Figura 56 – Fotomicrografia do grupo 11 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	61
Figura 57 – Fotomicrografia do grupo 12 - $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	62
Figura 58 – Fotomicrografia do grupo 13 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,50$ ms.	62
Figura 59 – Fotomicrografia do grupo 14 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 150$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.	62
Figura 60 – Influência do tempo de pico (T_p) na penetração da solda (P).	64
Figura 61 – Influência do tempo de pico (T_p) na altura do reforço (R).	65
Figura 62 – Influência do tempo de pico (T_p) na taxa de deposição (T_d).	65

Figura 63 –	Influência do tempo de pico (T_p) no rendimento da deposição (η).	66
Figura 64 –	Influência do tempo (T_p) de pico na largura do cordão (L).	67
Figura 65 –	Influência da frequência (F) na largura do cordão (L).	68
Figura 66 –	Influência da frequência (F) na penetração da solda (P).	68
Figura 67 –	Influência da frequência (F) na altura do reforço (R).	69
Figura 68 –	Influência da frequência (F) na taxa de deposição (T_d).	69
Figura 69 –	Influência da frequência (F) no rendimento da deposição (η).	70
Figura 70 –	Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na largura do cordão (L).	71
Figura 71 –	Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P).	72
Figura 72 –	Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R).	73
Figura 73 –	Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d).	74
Figura 74 –	Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η).	74
Figura 75 –	Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $A_b=30A$.	91
Figura 76 –	Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $A_b=40A$.	91
Figura 77 –	Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $A_b=50A$.	92
Figura 78 –	Influência da corrente de base (A_b) na largura do cordão (L) para $A_p=350A$.	92
Figura 79 –	Influência da corrente de base (A_b) na largura do cordão (L) para $A_p=400A$.	93

Figura 80 –	Influência da corrente de base (A_b) na largura do cordão (L) para $A_p=420A$.	93
Figura 81 –	Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $A_b=30A$.	94
Figura 82 –	Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $A_b=40A$.	94
Figura 83 –	Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $A_b=50A$.	95
Figura 84 –	Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=350A$.	95
Figura 85 –	Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=400A$.	96
Figura 86 –	Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=420A$.	96
Figura 87 –	Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $A_b=30A$.	97
Figura 88 –	Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $A_b=40A$.	97
Figura 89 –	Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $A_b=50A$.	98
Figura 90 –	Influência da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R) para $A_p=350A$.	98
Figura 91 –	Influência da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R) para $A_p=400A$.	99
Figura 92 –	Influência da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R) para $A_p=420A$.	99
Figura 93 –	Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $A_b=30A$.	100
Figura 94 –	Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $A_b=40A$.	100

Figura 95 –	Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $A_b=50A$.	101
Figura 96 –	Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=350A$.	101
Figura 97 –	Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=400A$.	102
Figura 98 –	Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=420A$.	102
Figura 99 –	Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $A_b=30A$.	103
Figura 100 –	Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $A_b=40A$.	103
Figura 101 –	Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $A_b=50A$.	104
Figura 102 –	Influência da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η) para $A_p=350A$.	104
Figura 103 –	Influência da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η) para $A_p=400A$.	105
Figura 104 –	Influência da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η) para $A_p=420A$.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Composição química arame tubular autoprotegido E71T-11 (Fonte: Lincoln Electric (2004)).	24
Tabela 2 –	Propriedades mecânicas do arame tubular autoprotegido E71T-11 (Fonte: Lincoln Electric (2004)).	24
Tabela 3 –	Grupos de combinações de parâmetros de pulso.	26
Tabela 4 –	Grupos utilizados para cada variação de parâmetro de pulso.	27
Tabela 5 –	Resultado de medições do diâmetro do arame E71T-11.	31
Tabela 6 –	Resultado da influência do tempo de pico (T_p) na geometria do cordão.	39
Tabela 7 –	Resultado da influência da frequência (F) na geometria do cordão.	40
Tabela 8 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 30A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	40
Tabela 9 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 40A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	41
Tabela 10 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 50A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	41
Tabela 11 –	Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 350A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	42
Tabela 12 –	Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 400A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	42
Tabela 13 –	Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 420A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	43

Tabela 14 –	Resultado da influência do tempo de pico (T_p) nas características de desempenho.	44
Tabela 15 –	Resultado da influência da frequência (F) nas características de desempenho.	44
Tabela 16 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $Ab = 30A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	45
Tabela 17 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $Ab = 40A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	45
Tabela 18 –	Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $Ab = 50A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	46
Tabela 19 –	Resultado da influência da corrente de base (Ab) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_p = 350A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	46
Tabela 20 –	Resultado da influência da corrente de base (Ab) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_p = 400A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	47
Tabela 21 –	Resultado da influência da corrente de base (Ab) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_p = 420A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).	47
Tabela 22 –	Valores médios e eficazes de corrente e tensão para cada grupo (combinações) de parâmetros.	48
Tabela 23 –	Exemplo da análise de Variância fator único - Influência de F em L para $AP = 350 A$; $Ab = 30A$ e $T_p = 2,2ms$.	49
Tabela 24 –	Medidas do diâmetro interno na vertical (d_{iv0} e d_{iv1}), horizontal (d_{ih0} e d_{ih1}), e diâmetro externo (d_{e0} e d_{e1}) coletadas no projetor de perfil.	84
Tabela 25 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em P para $AP = 350 A$; $Ab = 30^A$ e $T_p = 2,2ms$.	85
Tabela 26 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em R para $AP = 350 A$; $Ab = 30^A$ e $T_p = 2,2ms$.	85

Tabela 27 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em Td para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $Tp = 2,2$ ms.	85
Tabela 28 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em η para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $Tp = 2,2$ ms.	86
Tabela 29 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em L para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz.	86
Tabela 30 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em P para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz.	86
Tabela 31 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em R para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz.	87
Tabela 32 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em Td para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz.	87
Tabela 33 –	Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em η para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz.	87
Tabela 34 –	Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de Ap e Ab em L para $F = 100$ Hz e $Tp = 2,0$ ms.	88
Tabela 35 –	Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de Ap e Ab em P para $F = 100$ Hz e $Tp = 2,0$ ms.	88
Tabela 36 –	Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de Ap e Ab em R para $F = 100$ Hz e $Tp = 2,0$ ms.	89
Tabela 37 –	Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de Ap e Ab em Td para $F = 100$ Hz e $Tp = 2,0$ ms.	89
Tabela 38 –	Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de Ap e Ab em η para $F = 100$ Hz e $Tp = 2,0$ ms.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\phi =$	Fator adimensional definido para os parâmetros de pulso
$\rho =$	Densidade média do aço [kg/m ³]
$\eta =$	Rendimento de deposição [%]
$\Delta t =$	Intervalo de tempo [s]
$A =$	Amperes
$Ab =$	Corrente de base [A]
$Aef =$	Corrente eficaz [A]
$Al =$	Alumínio
$Am =$	Corrente média [A]
$Ap =$	Corrente de pico [A]
$As =$	Área da seção transversal do arame [mm ²]
$ASME =$	American Society of Mechanical Engineering
$AWS =$	American Welding Society
$C =$	Consumo linear do arame [m]
$CO_2 =$	Dióxido de carbono
$d_e =$	Diâmetro externo da seção do arame [mm]
$d_{e\ final} =$	Diâmetro externo final da seção do arame [mm]
$d_{e0} =$	Ponto inicial de coleta do Diâmetro externo da seção do arame [mm]
$d_{e1} =$	Ponto final de coleta do Diâmetro externo da seção do arame [mm]
$d_{hi\ final} =$	Diâmetro interno na horizontal final da seção do arame [mm]
$d_j =$	Diâmetro interno da seção do arame [mm]

d_{ih0} =	Ponto inicial de coleta do Diâmetro interno horizontal da seção do arame [mm]
d_{ih1} =	Ponto final de coleta do Diâmetro interno horizontal da seção do arame [mm]
d_{iv0} =	Ponto inicial de coleta do Diâmetro interno vertical da seção do arame [mm]
d_{iv1} =	Ponto final de coleta do Diâmetro interno vertical da seção do arame [mm]
$d_{iv\ final}$ =	Diâmetro interno na vertical final da seção do arame [mm]
F =	Frequência de pulso [ms]
$FCAW$ =	Flux cored arc welding
$FCAW-G$ =	Flux cored arc welding com proteção adicional de gás
$FCAW-S$ =	Flux cored arc welding sem proteção adicional de gás
$GMAW$ =	Gás metal arc welding
Hz =	Hertz
L =	Largura do cordão de solda [mm]
MAG =	Metal active gas
Mc =	Massa de material consumido [kg]
Md =	Massa de material depositado [kg]
Mf =	Massa final do corpo de prova [kg]
Mg =	Magnésio
Mi =	Massa inicial do corpo de prova [kg]
MIG =	Metal inert gas
mm =	milímetros
Mn =	Manganês

$ms =$	milisegundos
$P =$	Penetração da solda [mm]
$R =$	Altura do reforço da solda [mm]
$Si =$	Silício
$T =$	Coefficiente de Tukey
$Tb =$	Tempo de corrente de base [mm]
$Tc =$	Taxa de consumo [kg/h]
$Td =$	Taxa de deposição [kg/h]
$Tp =$	Tempo de corrente de pico [ms]
$TPU =$	Tempo de pulso [ms]
$TRIM =$	Controle de comprimento do arco no equipamento de solda
$UFSC =$	Universidade Federal de Santa Catarina
$Vc =$	Volume consumido de arame [mm ³]
$Vef =$	Tensão eficaz [V]
$Vm =$	Tensão média [V]
$Wp =$	Velocidade de alimentação do arame [m/h]

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com avançada modernização e alta tecnologia, as industriais, cada vez mais, buscam ganhar mercado com a alta produtividade e redução de custos de produção, aliada a uma excelente qualidade do produto.

Com o passar dos anos, os processos de soldagem vêm sofrendo vários avanços tecnológicos, merecendo destaque a soldagem com arame tubular autoprottegido e corrente pulsada.

O processo FCAW (*Flux Cored Arc Weld*) tem se mostrado, atualmente, como aquele de maior ascensão no ambiente industrial, decorrente de sua alta produtividade e excelente qualidade dos cordões de solda, em relação ao eletrodo revestido. Em virtude disto, a soldagem com arame tubular vem progressivamente substituindo o processo de soldagem com eletrodo revestido. Em breve estará assumindo uma posição privilegiada, em relação aos demais processos de soldagem.

É sabido, que a distorção é um dos defeitos mais comuns, resultado do elevado aporte de calor introduzido na peça durante o processo de soldagem. Com a introdução do modo pulsado de soldagem, foi possível conseguir uma corrente média com valores mais baixos que os do método com corrente com contínua.

Com isso, aumentou-se, ainda mais, a faixa de utilização do processo FCAW, possibilitando a soldagem de chapas finas em todas as posições, através do modo de transferência por pulverização ou *spray*, onde são obtidos cordões com aspecto mais homogêneo, arcos mais estáveis e pequena formação de salpicos.

Vale salientar que o fator primordial para o sucesso de uma boa transferência metálica e ótima qualidade do cordão de solda, é a correta seleção dos parâmetros de pulso, que somente pode ser determinada realizando testes experimentais.

Este trabalho foi o motivado, com o intuito de entender o comportamento do processo de soldagem com arame tubular auto protegido em conjunto com a corrente pulsada e combinação de parâmetros de pulso sobre as características geométricas e de desempenho da soldagem, visando assim contribuir para enriquecer os conhecimentos da comunidade científica nos temas pertinentes ao assunto, haja vista o limitado acervo deste tipo de estudo.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principais objetivos:

- Verificar a influência dos parâmetros de pulso - corrente de pico, corrente de base, frequência de pulso e tempo de pico, sobre a geometria do cordão de solda - largura do cordão, penetração da solda, altura do reforço, como também sobre as características desempenho da soldagem - taxa de deposição e a eficiência da deposição, utilizando arame tubular autoprottegido e corrente pulsada.
- Aumentar o legado de estudos relacionados ao processo de soldagem com arame tubular autoprottegido (FCAW-S), aliado à utilização de corrente pulsada.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Soldagem com arame tubular

A soldagem é um dos processos mais utilizados na união entre partes metálicas, e no decorrer dos tempos vem sofrendo avanços tecnológicos, especialmente nos processos semi-automáticos e automáticos, devido principalmente a competitividade entre as indústrias que tem como principal matéria prima o aço.

A incessante busca por maior qualidade, produtividade e redução de custos, faz com que o processo de soldagem semi-automático prevaleça sobre os processos manuais.

De acordo com WAINER et al (1992), o processo de soldagem teve seu grande impulso na II Guerra Mundial, devido à fabricação de navios e aviões soldados, apesar de o arco elétrico ter sido desenvolvido no século XIX.

Em meados dos anos 40, os primeiros trabalhos vislumbrando processo de soldagem com proteção gasosa foram feitos com eletrodos de tungstênio não consumível (TIG). Devido ao objetivo de aumento de produtividade e qualidade, este processo passou por constantes evoluções, chegando atualmente aos eletrodos consumíveis autoprotetidos.

Segundo GAREIS (1994), as primeiras tentativas de produzir um arame consumível com fluxo (revestimento) foram baseadas nos eletrodos revestidos. Os resultados não foram satisfatórios, devido problema da indução de energia elétrica com suficiente regularidade e confiabilidade e também ao fácil destacamento do revestimento do arame em curvas acentuadas.

Visando solucionar os problemas encontrados no fluxo (revestimento externo) dos arames consumíveis, na década de 50, a empresa norte americana *Lincoln Electric Company*, desenvolveu um processo denominado *Innershield*, o qual se caracterizava por um fluxo inserido no interior do arame consumível, criando assim o arame tubular.

O processo de soldagem com arame tubular, denominado FCAW (*Flux Cored Arc Weld*), foi apresentado pela primeira vez em 1954 na exposição da AWS (*American Welding Society*).

No início da sua utilização, o arame tubular era limitado as posições plana e horizontal e, a partir de 1967, através do melhoramento do seu fluxo, pode ser utilizado em todas as posições.

Segundo FARIAS (1996), a dificuldade com o manuseio dos gases em ambientes abertos expostos a fortes correntes de ar na soldagem com arame sólido, estimulou o desenvolvimento do arame tubular autoprotégido. Complementa SOUZA (1998), que em um futuro próximo, o processo com arame tubular deverá assumir posição de destaque no Brasil em relação aos demais processos de soldagem a arco elétrico.

PEKKARI (2004), relata que a existe uma mobilização dos fabricantes nacionais de consumíveis e equipamentos de soldagem para a fabricação do arame tubular, uma vez que houve um grande crescimento na utilização deste tipo de eletrodo, principalmente no Japão. Baseado no motivo que os eletrodos revestidos está com o mercado decrescente, enquanto o arame tubular tornou-se uma alternativa viável para substituí-lo, tendo qualidade e produtividade superior e facilidades de produção pelos fabricantes.

3.1.1. Tipos de arames tubulares.

Existem duas versões de arames tubulares para processo de soldagem *Flux Cored Arc Welding* (FCAW).

A primeira, arame tubular, é utilizada para o processo de soldagem FCAW-G (Soldagem a Arco com Arame Tubular e Gás de Proteção), onde flui através do bocal da tocha, uma proteção adicional por meio de gás CO₂ ou mistura com argônio, conforme ilustrado na Figura 1.

Já a segunda versão, denominada de arame tubular autoprotégido, foi desenvolvida para ambientes expostos a fortes correntes de ar, não sendo necessária a utilização de proteção de gás. É empregada no processo de soldagem FCAW-S (Soldagem a Arco com Arame Tubular Autoprotégido), a própria fusão do fluxo gera gás protetor do metal de transferência e da região da solda, podendo ser visualizada na Figura 2.

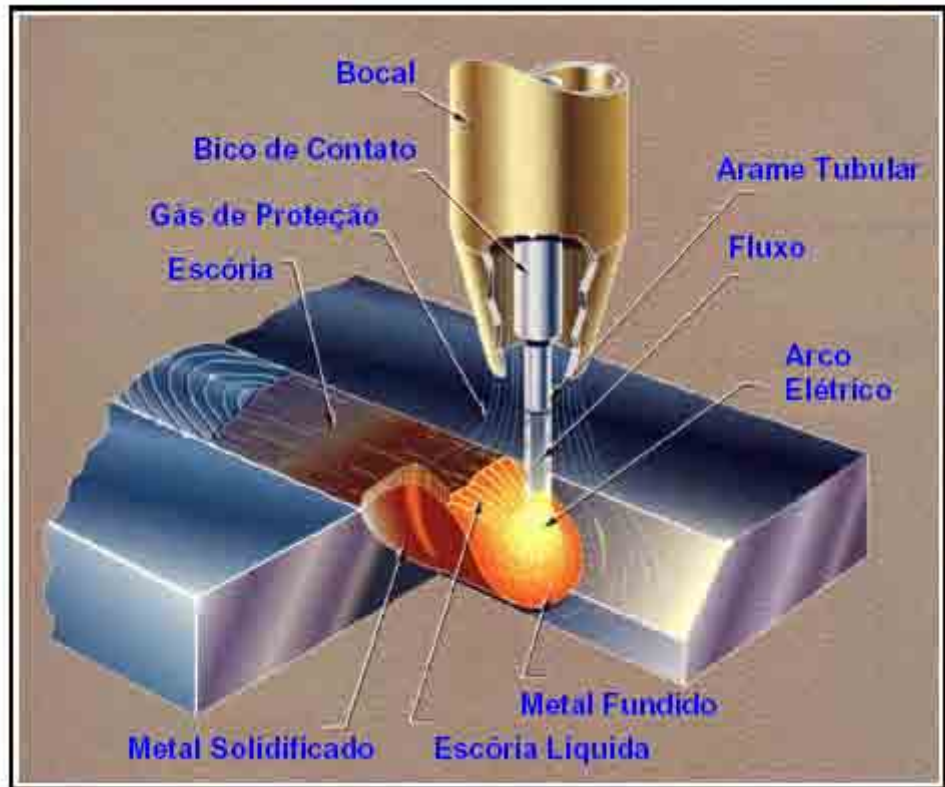


Figura 1 – Esquema ilustrativo da soldagem com arame tubular com proteção adicional de gás (Fonte: Welding Handbook (1991)).

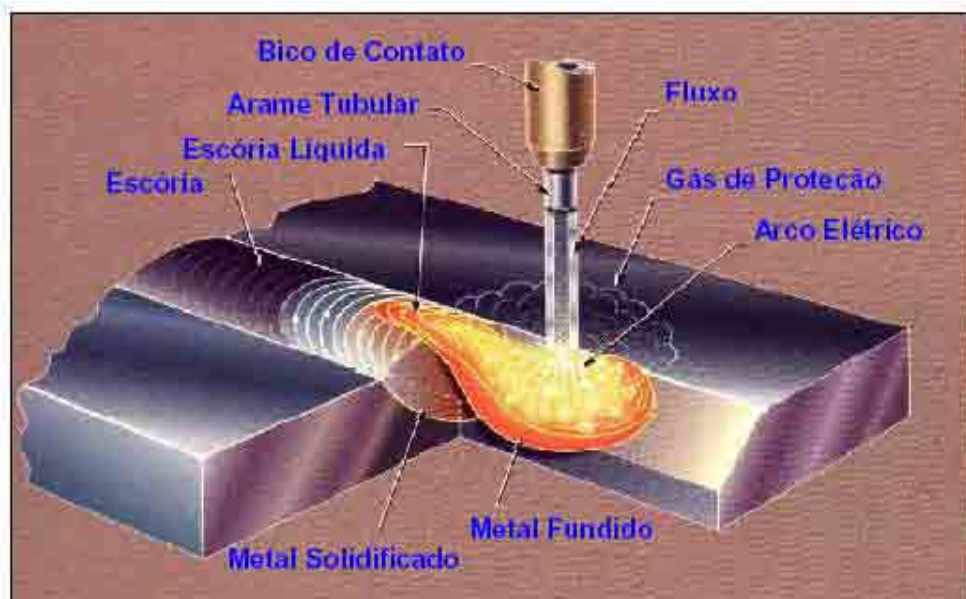


Figura 2 – Esquema ilustrativo da soldagem com arame tubular autoprotetido (Fonte: Welding Handbook (1991)).

GAREIS (1994), relata que a capa externa do arame tubular é de aço com baixo teor de carbono e existem diversos tipos de seções de arame, sendo elas: sem costura, de topo, sobreposto, dobra simples, dobra múltipla e dobra dupla. Na Figura 3 são mostradas esquematicamente as seções mais comuns para este tipo de arame.

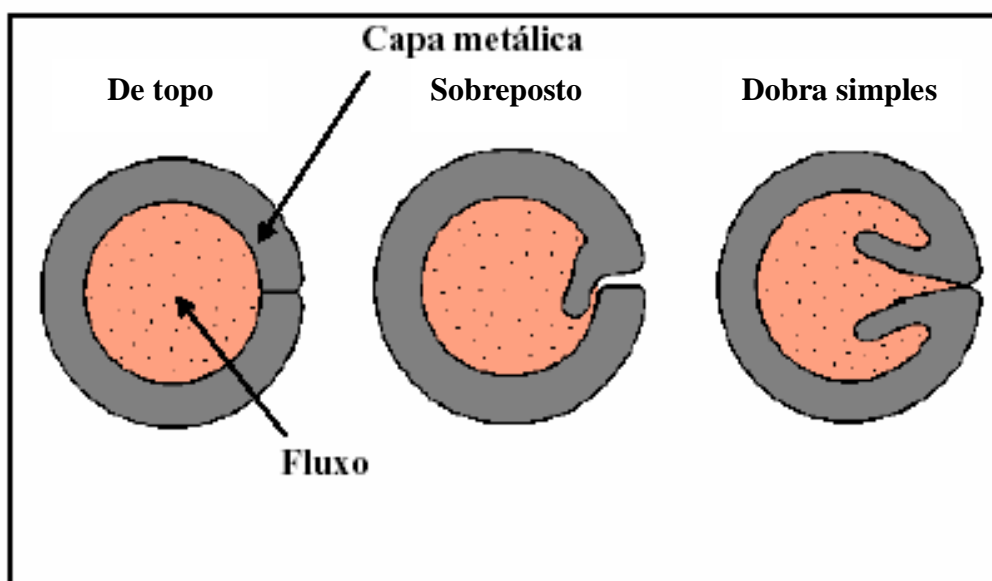


Figura 3 – Formas de seção de arame tubulares (Fonte: Norrish (1992)).

3.1.2. Características do processo

FARIAS (1996) relata que a soldagem com arame tubular autoprotégido é bastante simples, uma vez que necessita apenas de uma fonte de energia e um adequado sistema de alimentação do arame. Dispensa os reguladores de pressão, armazenagem e o sistema de alimentação de gás, necessários para soldagem com proteção gasosa.

Segundo POECKE (1997), na soldagem com arame tubular, a fonte de calor é gerada por um arco elétrico produzido entre um arame eletrodo consumível metálico tubular, sólido, de diversos formatos e com um fluxo interno, e o metal de base.

De acordo com FARIAS (1996), a proteção da poça de fusão é feita pela decomposição do fluxo interno do arame, que pode desempenhar muitas funções, tais como: estabilização do arco, geração de gás, de vapor, de escória, adição de pós de ferro e elementos de liga, desoxidação e desnitretação.

Salienta SANTOS NETO (2003) que uma composição adequada do fluxo é fundamental, pois gera restrições a sua utilização.

A proteção do metal depositado ocorre principalmente pela ação dos desoxidantes e desnitretantes (Mn, Al, Ti, Si, Mg, etc.) que por terem afinidade pelo oxigênio e nitrogênio combinam-se facilmente com estes elementos, evitando a formação de porosidade e danos às propriedades mecânicas da solda.

Vale destacar que a principal fonte de contaminação do metal fundido é o tempo de destacamento da gota na soldagem com arame tubular autoprotetido. De acordo com BONISZEWSKI (1992), na transferência metálica em soldagens com arames tubulares autoprotetidos, existe a formação do “efeito colchão”, esquematizado na Figura 4, que é causado pela reflexão de parte do gás de proteção gerado pela decomposição do fluxo após atingir a superfície da poça de fusão. A gota fundida formada flutua neste colchão gasoso, deslocando-se do eixo do arame e girando em sua parte metálica. Com isso o tempo de destacamento da gota é retardado pelo “efeito colchão”, o que a faz aumentar de volume e expor parte de seu conteúdo à contaminação do ar atmosférico por não permanecer sob o fluxo do gás de proteção.

Afirma POECKE (1997), que na soldagem com arame tubular, deve-se levar em consideração alguns parâmetros de soldagem, que são: Intensidade da Corrente, Tensão do arco, distância da pistola (tubo de contato) à ponta do arame, velocidade de soldagem e a vazão do gás.

Reafirma SANTOS NETO (2003), que a corrente de soldagem e a tensão do arco elétrico, a velocidade de soldagem, a distância bico de contato peça e o ângulo de deslocamento da tocha estão entre os principais parâmetros de soldagem, que são responsáveis pela forma da transferência metálica, pelo nível de respingos gerados, pela estabilidade do arco, interferindo diretamente nas características da junta soldada.

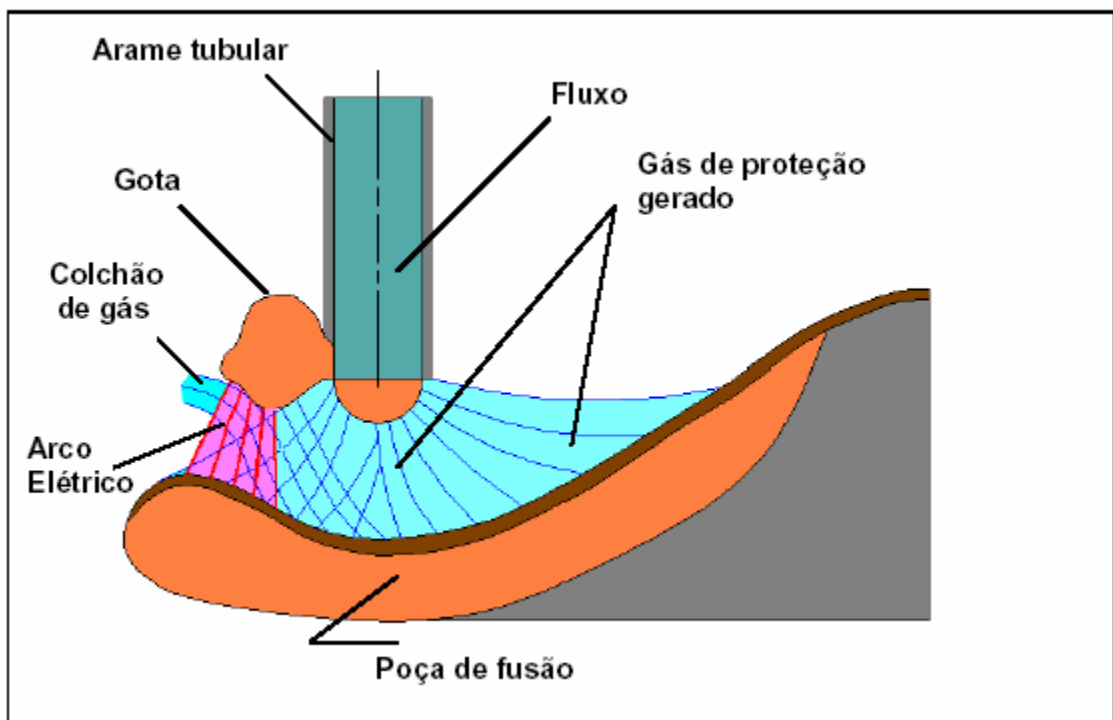


Figura 4- Esquema ilustrativo do efeito colchão gerado na soldagem com arame tubular autoprotetido (Fonte: Boniszewski, 1992).

3.1.3. Parâmetros de soldagem

Durante o processo de soldagem com arame tubular, a qualidade, produtividade e confiabilidade da soldagem estão diretamente relacionadas aos parâmetros de soldagem envolvidos.

Podemos destacar como os principais parâmetros de soldagem, a corrente de soldagem, a tensão do arco elétrico, a velocidade de soldagem, a distância tocha/peça (*stick-out*), que são responsáveis pela forma da transferência metálica, pelo nível de respingos gerados, pela estabilidade do arco, sendo, portanto, fatores preponderantes nas características da solda.

- **Intensidade de corrente**

Seu acréscimo provoca aumento na velocidade de alimentação do arame, taxa de deposição e penetração. Causa também, uma diminuição na quantidade de salpicos, porosidades e diâmetro da gota, bem como a formação excessiva de nitretos e má aparência do cordão. Para a soldagem pelo processo FCAW, o aumento

da corrente acelera a transferência, determinando, desta forma, o modo de transferência.

- **Tensão do arco**

Esta intimamente relacionada a estabilidade e com o comprimento do arco, sendo que arcos excessivamente longos podem provocar a contaminação da poça de fusão por nitrogênio e oxigênio, reduzindo a tenacidade da junta e aumentando a formação de porosidades, além de promover excesso de salpicos, porosidade e irregularidades no cordões.

O aumento da tensão resulta em um cordão de solda mais largo e uma excessiva diminuição deste parâmetro pode causar pouca penetração e cordões convexos, como também, pode provocar a extinção do arco.

- **Distância tocha/peça (*stack-out*)**

É a distância do tubo de contato à ponta do arame, quanto maior for o seu valor, maior será o calor gerado por efeito Joule, influenciando na fusão do arame e aquecimento do fluxo interno.

Um excessivo comprimento do eletrodo contribui para a redução da tensão no arco elétrico e para a sua instabilidade, podendo gerar uma maior quantidade de salpicos e também de porosidades no metal depositado.

- **Velocidade de soldagem**

A velocidade de soldagem tem uma forte influência na geometria do cordão de solda, sendo inversamente proporcional à área da seção do cordão. Altos valores da velocidade de soldagem tornam o cordão estreito e convexo, com bordas irregulares, diminuindo a penetração. Para velocidades de soldagem muito pequenas, há uma maior inclusão de escórias e o cordão torna-se irregular. Além disto, a velocidade de soldagem é um importante fator de grandeza na determinação do aporte de energia, influenciando igualmente na taxa e rendimento de deposição.

3.1.4. As principais vantagens e desvantagens do processo de soldagem FCAW.

Conforme MINNICK (1999), as vantagens e desvantagens da soldagem por arco elétrico com arame tubular autoprotégido são:

Vantagens:

- processo semi-automático bastante versátil, podendo ser adaptado facilmente para soldagem automática;
- o eletrodo nu é alimentado continuamente;
- penetração da raiz mais uniforme que no processo com eletrodo revestido;
- alta taxa de deposição;
- redução dos problemas de distorções e tensões residuais;
- a soldagem não precisa ser protegida das correntes de ar;
- a soldagem pode ser executada em todas as posições;
- a velocidade de soldagem é elevada;
- soldagem com total visibilidade da poça de fusão;
- menor velocidade de resfriamento devido haver formação de escória, o que diminui a ocorrência de trincas, principalmente no caso de aços temperáveis;
- facilidade de execução da soldagem, e
- reduzido tempo para treinamento do soldador para soldar em todas as posições.

Desvantagens:

- há formação de escória e, conseqüentemente, perde-se tempo para a sua remoção e tem-se o risco de inclusão de escória na solda em vários passes;
- há projeção de gotas de metal líquido (salpicos) durante a soldagem;
- requer equipamentos de soldagem mais caros e complexos que o do processo com eletrodo revestido, e

- equipamento não tão portátil que o do processo com eletrodo revestido.

3.2. Soldagem com arco pulsado.

Nos anos 90 vem sendo desenvolvida a utilização de corrente pulsada na soldagem, aplicando-se a arames sólidos e tubulares, em ligas de alumínio, em revestimentos de aço inoxidável e em aços estruturais.

Basicamente a soldagem a arco pulsado é definida como um processo que envolve uma fonte de energia aliada a um sistema de alimentação contínua do eletrodo (arame de solda consumível), estabelecendo arco entre a ponta do eletrodo e o material de base, podendo ou não utilizar um gás de proteção na região de soldagem.

COSTA (1994) relata que as fontes de energia, para promoverem uma melhor utilização do equipamento, com redução ao máximo do atrito no alimentador do arame, receberam atenção especial dos fabricantes, devido a operação dos arames com altas velocidades de alimentação (maior que 8m/min, no caso de arames tubulares).

Visando um melhor entendimento do processo com arco pulsado, faz-se necessário um melhor detalhamento sobre os tipos de transferência metálicas existentes na soldagem com proteção gasosa (GMAW).

De acordo com WAINER et al (1992), existem quatro tipos de transferência metálica no processo GMAW, que são: globular, curto circuito, por pulverização axial e rotacional e por arco pulsado.

Nos processos de soldagem com corrente contínua, a transferência por pulverização ou *spray* se dá para elevadas densidades de corrente proporcionando grande aporte de calor. A penetração é bem elevada e o arco bastante estável, por isso é recomendada para soldar chapas grossas, principalmente na posição horizontal e plana. Já a transferência globular ocorre densidades de corrente mais baixa e a quantidade de calor colocada na peça situa-se num valor intermediário, comparando com os outros métodos de transferência, o que pode causar falta de penetração, falta de fusão e reforço do cordão de solda excessivo.

Na transferência metálica tipo curto circuito, ocorrem densidades de corrente mais baixas que a do tipo globular, conseqüentemente menor aporte de calor na peça, sendo recomendada para soldagem em todas as posições e para chapas finas, pois a penetração não é elevada. É comum neste tipo de transferência a ocorrência de respingos e instabilidade do arco.

As desvantagens citadas acima, nos três tipos de transferência, são eliminadas utilizando-se a corrente pulsada. A fonte de soldagem gera dois valores de intensidade de corrente, sendo um baixo (corrente de base) e um elevado (corrente de pico), conseguindo-se uma transferência com características do tipo *spray*, contudo com um valor de corrente média bem inferior ao gerado pela corrente contínua.

Na Figura 5 pode-se visualizar o formato de uma onda por corrente pulsada, onde se encontram destacados os principais parâmetros de pulso. Os parâmetros de pulso visualizados são:

- **Corrente de pico (A_p)**

Em uma forma de onda pulsada é geralmente a mais elevada dos dois níveis de corrente. É nesta intensidade de corrente que ocorre a transferência metálica por pulverização.

- **Corrente de Base (A_b)**

É geralmente a de valor mais baixo dos dois níveis de corrente existentes em uma onda do tipo pulsada. Possui valores de corrente bem mais baixos do que os existentes na transferência tipo pulverização.

- **Tempo de pico (T_p)**

Tempo de duração do valor de corrente de pico. Inicia-se quando a corrente sai do patamar do valor inferior de corrente (A_b) e termina quando a corrente sai do patamar de intensidade máxima de corrente (A_p).

- **Freqüência de pulso (F)**

Número de pulsos de corrente que ocorrem no intervalo de um segundo. Para um mesmo tempo de pico, quanto maior o número de pulsos menor a duração do tempo da corrente de base.

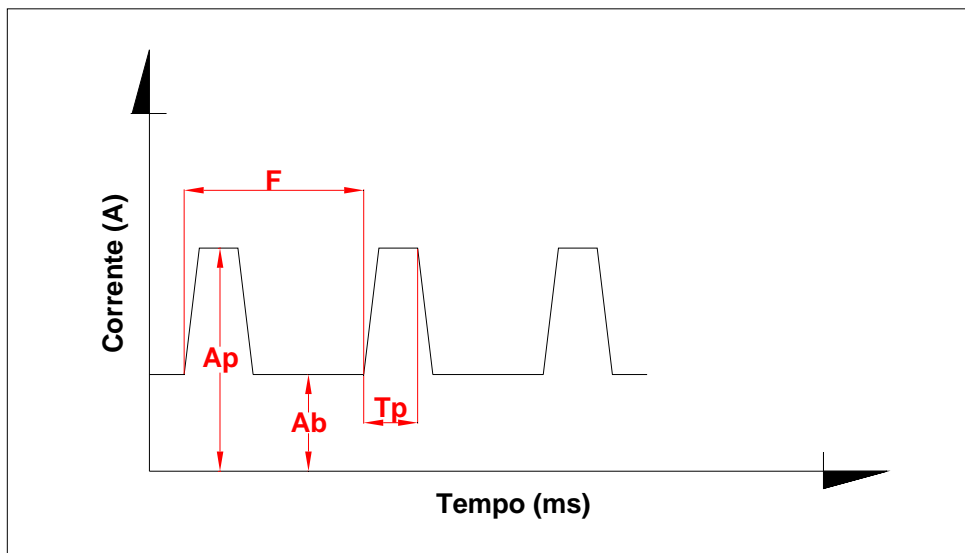


Figura 5 - Diagrama esquemático de uma onda do tipo corrente pulsada.

Observa-se, ainda, que ocorre o destacamento de somente uma gota, onde a corrente de base serve principalmente para manter o arco a fim de fundir o eletrodo e promover a limpeza catódica do metal de base, mas insuficiente para promover a transferência metálica. Já a corrente de pico é estabelecida para passar o valor crítico, e assim proporcionar o desprendimento do metal em pequenas gotas. Além disto, o seu valor e o tempo de duração é tal que a cada pulso ocorre o destacamento de uma única gota de diâmetro igual ou menor que o diâmetro do eletrodo.

NORRISH e NIXON (1989), salientam que para iniciar o destacamento do material fundindo, a corrente do arco é mantida em valores altos e por um tempo suficiente. Após o destacamento da gota a corrente cai imediatamente para patamares baixos. Estes intervalos de alta e baixa corrente permitem a redução da corrente média a valores adequados para soldagem na posição desejada, com injeções periódicas de pulsos de correntes que permitem que o metal seja transferido no modo *spray*.

Conforme NEEDAHAM e CARTER (1965), a mais importante característica do processo de soldagem com corrente pulsada é que os valores de corrente usados para se obter as mesmas taxas de deposição do material do eletrodo obtidas em corrente contínua são bem menores, permitindo menores aportes térmicos, melhor qualidade microestrutural e menor consumo energético, comparado a outros processos.

Para ALLUM (1985), existe uma grande variedade de aplicações para os sistemas modernos a arco pulsado. Podem ser unidos por esse processo tanto materiais ferrosos e não ferrosos, abrangendo uma vasta gama de materiais, incluindo alumínio e muitas outras ligas, aços ao carbono-manganês e inoxidáveis.

BOSWORTH (1991) acrescenta que a transferência por *spray* proporciona a mesma eficiência térmica da corrente contínua, em torno de 85%, com exceção da transferência por curto-circuito (em torno de 95%).

Outro ponto importante a ser observado é a geração de ruídos, onde CASTNER e SINGH (1997) relatam que o nível de ruído depende do tipo de transferência metálica, tipo de onda e intensidade de corrente e tensão de soldagem. Para os processos de soldagem em corrente contínua e corrente pulsada, os ruídos produzidos possuem a mesma intensidade para transferência globular ou *spray*, não obstante a qualidade dos ruídos obtida com corrente pulsada encontra-se dentro de limites menos nocivos ao ouvido humano. E ainda, a otimização dos parâmetros de pulso tende a melhorar a qualidade sonora durante a soldagem.

CASTNER (1995), mostrou em seu trabalho que a geração de fumos tóxicos é maior para uso de corrente contínua do que para corrente pulsada. Salientou também, que existe uma faixa determinada de tensão para cada velocidade de alimentação do arame que minimiza a emissão de fumos tóxicos. Vale lembrar que o simples uso da corrente pulsada não é suficiente para reduzir a emissão de fumos, contudo a otimização dos parâmetros de pulso pode reduzir esses valores significativamente, onde estes permitem também produzir soldas de boa qualidade.

TAKEUCHY e SINODA (1991), destacam que utilizando o processo de soldagem com corrente pulsada, ocorre uma pequena formação de salpicos.

ALCAN (1992) afirma que a definição dos corretos parâmetros de pulso, corrente pico, corrente de base, tempo de pico e tempo de base, sendo que o tempo

de pico e o tempo de base definem a frequência de pulso, são responsáveis pela obtenção do tipo de transferência ideal. Destaca ainda, que o volume da gota destacada por pulso é proporcional a relação entre a taxa de alimentação do arame, corrente média e a frequência de pulso.

Conforme ALCAN (1992) e AMIM (1983), existe uma dificuldade em definir, na prática, os valores dos parâmetros de pulso aplicáveis a um determinado trabalho e com isso, normalmente, a determinação destes valores se dá por testes experimentais. Isto ocorre devido as variáveis estarem correlacionadas, onde para uma determinada velocidade de alimentação do arame, tanto a corrente de pico como a corrente de base e o tempo de permanência nestas correntes, que juntos determinam a magnitude do pulso, devem ser ajustados de tal forma que ocorra o destacamento de uma gota por pulso. Além disto, a corrente média calculada, utilizando-se os parâmetros de pulso juntos, deve fornecer uma taxa de fusão que se equipare com a velocidade de alimentação do arame, de forma a manter o comprimento do arco constante. Caso a magnitude seja insuficiente, não ocorrerá concordância entre o destacamento e os pulsos, acarretando instabilidade na transferência, e conseqüentemente defeitos de solda, entre eles, penetração irregular, falta de fusão e mordeduras, etc.

O método de aproximação teórica é utilizado para solucionar os problemas descritos acima, onde se estima a faixa completa de parâmetros de pulsação relativos a qualquer velocidade de alimentação do arame, para uma determinada liga e dimensões do material. O método é descrito abaixo:

- Critério de fusão – a velocidade de alimentação do arame deve ser balanceada com a taxa de fusão, a fim de que o comprimento do arco seja mantido constante.
- Critério da transferência metálica – a transferência metálica do tipo pulverização ou *spray* deve ser obtida mesmo a baixas velocidades de alimentação do arame, a qual, caso contrário, resultaria numa transferência tipo globular.
- Critério estabilidade do arco – a corrente de base deve manter um valor limite mínimo para manter o arco estável, pois para valores abaixo desse limite o arco se extingue.

3.3. Soldagem com arame tubular e arco pulsado

Nos últimos quinze anos, muitos pesquisadores vêm realizando estudos com a utilização de corrente pulsada, entre eles, pode-se citar ALLUM (1985), relatando a utilização de corrente pulsada com eletrodos tubulares, que proporciona menores aportes térmicos durante a soldagem, acarretando melhor formação e destacamento das gotas de metal fundido, promovendo melhoria nas características mecânicas da junta, através do controle das taxas de resfriamento e reações químicas, proporcionadas pelo fluxo dos eletrodos.

FRENCH et al (1995), mostrou que a soldagem com revestimento básico utilizando corrente pulsada, em comparação com a convencional, apresentou como resultados para um mesmo diâmetro de arame: maior resistência mecânica, menor alongação, poucas variações na composição química do arame e poucas variações estruturais.

SURIAN et al (1997) que trabalhou com o efeito do tipo de fonte nas características operacionais e econômicas dos arames tubulares autoprotetidos, NAGADO (2001) que estudou a soldagem em chapas finas de alumínio com corrente pulsada, GOSHI et al (1996) que trabalhou na aplicação de revestimentos de aço inoxidável em aços estruturais.

MOSELI (2001), verificou que a soldagem com proteção gasosa com adição de pó metálico e corrente pulsada apresentou variações significativas no patamar de energia dúctil e temperatura de transição com incrementos na frequência do pulso e tempo de pico.

SAITO (2001) relatou na sua pesquisa que a corrente média exerce grande influência sobre as características geométricas da solda e taxa de deposição.

Embora a eficiência do eletrodo com arame sólido, aproximadamente 95%, seja maior que a do que o arame tubular, de 85 a 95%, apresenta uma velocidade de deposição muito maior, de 2 a 8 kg/h para tubular e 1 a 6 kg/h para o sólido.

A grande dificuldade está na determinação correta dos parâmetros de pulso aplicáveis para uma boa qualidade de solda, devido ao número de variáveis envolvidas.

3.4. Características geométricas

As características geométricas são muito importantes quando se elabora um procedimento de soldagem, pois influem diretamente nas propriedades mecânicas requeridas e no custo final, que é expresso pelo consumo de arame e tempo de soldagem despendido.

Conforme KOBAYASHI (1987), pode-se definir a geometria do cordão como característica operacional definida através dos seguintes parâmetros:

- Penetração da solda;
- Altura do reforço da solda;
- Largura do cordão de solda.

Ressalta, ainda que penetração da solda é influenciada pela concentração e intensidade de energia, ou seja, quanto maior for a intensidade e concentração de energia maior a ação da escavação e de cratera do arco.

É relevante salientar que a intensidade de energia aumenta de acordo com:

- aumento da corrente de soldagem;
- redução da velocidade de soldagem;
- aumento do calor da gota.

Já a concentração de energia é função do diâmetro do arco, sendo que diminui com:

- incremento da condutividade térmica dos gases presentes no arco;
- redução do comprimento do arco;
- redução do diâmetro do arame eletrodo.

GHOSH et al (1996) e RANDHAWA (1998) também concluíram em suas pesquisas, que o aporte de calor introduzido influencia diretamente a penetração e diluição da solda.

LANCASTER (1984) relata que a pressão exercida sobre a poça fundida é que comprime a superfície líquida para uma penetração profunda, onde está característica é provocada pela força do arco. Esta força pode ser acarretada devido a inércia de um fluxo de gotas metálicas ou a um jato de gás chocando-se com a superfície da poça de solda, ou ainda, a combinação dos dois mecanismos.

Acrescenta OLIVEIRA SANTOS et al (1989), que com uso de arames tubulares e corrente pulsada, a penetração aumenta linearmente com o crescimento da intensidade média de corrente.

Para KOBAYASHI (1987), a largura do cordão de solda, diminui com a redução do cone do arco elétrico e com o aumento da viscosidade e tensão superficial da escória.

Conforme BARROS (1976) apud WAINER et al (1992) que a potência do arco é responsável pelo aumento ou diminuição do comprimento do cordão de solda, ou seja, em soldagem com corrente constante o incremento da potência do arco acarreta aumento na largura do cordão, onde a potência determinada pelo produto da tensão de soldagem e a corrente elétrica.

Acrescenta SCOTTI (1991), que velocidade de soldagem não altera significativamente a largura do cordão de solda.

NAGADO (2001), concluiu em seu trabalho que as características geométricas do cordão de solda realizado com o processo pulsado apresentaram maior uniformidade do que o cordão de solda realizada com MIG convencional.

CORRÊA (2000), acrescenta que aumento da corrente média no processo MIG pulsado acarreta crescimento na largura e no reforço do cordão de solda.

A tensão superficial é uma variável primordial na formação da largura dos cordões de solda. Caracteriza-se por ser uma força que atua ao longo de uma unidade de comprimento de uma superfície líquida. Quanto maior a ação da tensão superficial sobre a gota de metal fundido, menor ser seu espalhamento sobre a superfície da peça e ocorra a formação de cordões de largura pequena.

A viscosidade é outra variável, que está diretamente interligada com a capacidade de espalhamento do metal fundido, caracterizando-se pela relação entre a tensão de cisalhamento, provocado pelo atrito gerando por um conjunto de lâminas paralelas com espessura infinitesimal deslocando-se na mesma direção e

com velocidades distintas, e este gradiente de velocidade. Em virtude disto, quanto menor a viscosidade, maior a capacidade de espalhamento do material fundido.

Também influi na largura do cordão de solda o tipo de gás de proteção. Gases que apresentam maior condutividade térmica precisam de uma maior potencial elétrico para manter o arco aberto, e promovem maior troca de calor com o ambiente, ocasionando uma região ionizada de seção menor, resultando em arcos elétricos de menor diâmetro.

LUZ (2001) concluiu em seu trabalho que o tipo de gás afeta sensivelmente as características geométricas do cordão de solda.

Na soldagem, a forma do reforço segundo LANCASTER (1984), é determinada por:

- volume de metal adicionado na poça de solda;
- pressão hidrostática sobre o cordão fundido;
- largura da poça de solda;
- velocidade com a qual o metal flui na direção da poça de solda, em altas temperaturas.

O acréscimo da altura do reforço, de acordo com KOBAYASHI (1987), ocorre devido ao incremento da tensão superficial e da viscosidade e com a redução do diâmetro do arco, aliado ao aumento da massa adicionada.

Segundo LUZ (2001) a altura do reforço do cordão de solda é afetada pela distância entre bocal da tocha e peça, o qual não exerce efeito significativo sobre a penetração.

Para GHOSH et al (1991) o incremento na duração do pulso acarreta uma suave alteração na largura do reforço, altura do reforço e na penetração da solda, causando uma tendência de acréscimo na largura e penetração, e redução da altura do reforço. Descreve ainda, que a utilização de corrente pulsada promove aumento na altura, penetração e largura do cordão de solda, em comparação com a utilização de corrente contínua, com níveis de corrente similares à corrente média pulsada usada durante o processo MIG pulsado.

A aparência e a quantidade de salpicos são características que definem o acabamento superficial do cordão de solda.

Para KOBAYASHI (1987) a aparência do cordão de solda pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles:

- tensão superficial do metal de solda, quanto mais baixa menor o risco de causar mordeduras;
- pontos ativos excessivamente móveis, podendo ocasionar um arco e uma transferência de metal erráticos;
- variação do comprimento do arco.

Conforme relatam JACKSON (1960) e CHEN et al (1996) existem quatro fontes de geradoras de salpicos na soldagem com eletrodos consumíveis e gás inerte.

- evolução de gases na gota, causando explosão da gota ou da poça de solda, ejetando a mesma;
- efeito de contato ou de fusível, devido ao curto circuito ou desintegração explosiva da conexão fina entre eletrodo-gota.
- instabilidade globular, devido ao tamanho excessivo, resultando a desintegração da gota;
- efeito pendular causado pelo movimento oscilatório dos pontos catódicos e anódicos, produzindo uma transferência errática ou de multi-partículas.

ZARUBA (1970) salienta que o superaquecimento do metal líquido pela alta corrente de curto-circuito e a explosão da fina conexão entre o eletrodo e a gota líquida são geradores de salpicos. Sugere que para redução destes, a soldagem sem transferência do tipo curto-circuito, através de uma correta seleção de parâmetros de soldagem.

Para seleção apropriada das condições de soldagem, o manual do fabricante MILLER (1994), descreve algumas influências dos parâmetros de pulso. Fixando os demais parâmetros de pulso e aumentando-se:

- tempo de pico – acarreta incremento no comprimento do arco, aporte de calor, na penetração, diâmetro do cone do arco e na corrente média;
- frequência de pulso – provoca incremento no comprimento do arco, corrente média e energia introduzida, lembrando que a frequência de pulso é uma variável mais adequada para o ajuste do arco e conseqüentemente o controle da taxa de fusão.
- corrente de base - ocorre um aumento no comprimento do arco, na corrente média, no aporte de energia introduzida, na penetração e diminuição da tensão superficial e da viscosidade.
- corrente de pico – acarreta um discreto aumento na corrente média e calor introduzido e um acréscimo na taxa de fusão, afetando o comprimento do arco.

PEREIRA (1995) verificou em seu trabalho com MIG pulsada, que o comprimento do arco é um dos principais parâmetros para reduzir a instabilidade do cordão.

CORRÊA (2000), relata que a frequência de pulso não afeta o reforço, contudo em níveis baixos de corrente influência na penetração e largura do cordão de solda no processo MIG pulsado.

Já SAITO (2001) em seu trabalho utilizando corrente pulsada e arame tubular, conclui que com o incremento da frequência de pulso existe um aumento na largura do cordão e altura do reforço.

RANDHAWA et al (1998), analisou em seu trabalho com corrente pulsada e arame sólido, um fator adimensional, denominado ϕ (Expressão 1), o qual expressa o efeito correlacionado dos parâmetros de pulso e sua relação com as características geométricas do cordão de solda. Percebeu que a mudança da geometria da solda é em geral relacionada com a redução na taxa de deposição e acréscimo na queda de temperatura da gota, provocada pelo aumento de ϕ .

$$\phi = \left(\frac{Ab}{Ap} \right) \cdot F \cdot Tb \quad (1)$$

onde, T_b = tempo de base (ms)), definido por:

$$Tb = \left(\frac{1}{F} \right) - TPU \quad (2)$$

Sendo:

TPU = tempo de pulso (ms), que é a soma de Ap e Ab .

Ap = corrente de pico (A);

Ab = corrente de base (A);

F = Frequência de pulso (Hz)

3.5. Características de desempenho

Visando obter um processo de soldagem com um comportamento mais produtivo e custo reduzido, é de grande valia estudar algumas características de desempenho. Nesta seção serão estudadas:

- taxa de consumo;
- taxa de deposição;
- rendimento de deposição.

A taxa de consumo ou simplesmente consumo é a quantidade, em massa ou peso, do material de adição consumido em um determinado intervalo de tempo. Está diretamente ligada a quantidade de calor no processo de soldagem.

De acordo com MODENESI (2001) as principais fontes geradoras de energia para soldagem por fusão, são: o arco elétrico, resistência elétrica e feixes de elétrons.

O calor gerado no arco elétrico é determinado pela potência (corrente e tensão), comprimento do arco e tipo de gás e fluxo do eletrodo. Já o calor gerado no arame eletrodo por efeito Joule, varia conforme a resistividade do arame e a distância entre o bocal da tocha e a peça.

Outra característica relevante é a taxa de deposição, conhecida como produção, representa a quantidade de material em unidade de massa ou peso, depositada em um intervalo de tempo. A taxa de deposição é influenciada pelo tipo e estabilidade da transferência metálica. A estabilidade é governada pela tensão do arco e tipo de gás de proteção. Valores muito baixos de tensão podem provocar a interrupções no arco, ocorrendo falhas na transferência do metal de adição. O tipo

de transferência metálica determina a quantidade de material levado a peça em um período de tempo, sendo a tipo pulverização ou *spray* a que confere os melhores resultados, e a corrente metálica, o principal parâmetro de soldagem que determina o tipo de transferência do metal fundido.

Segundo OLIVEIRA SANTOS (1989), os arames tubulares apresentam melhores resultados que os arames sólidos em termos de taxa de fusão, obtendo valores 30 a 35 % superiores, provocadas pela maior resistividade dos consumíveis tubulares, devido ao fluxo interno. Verificou ainda, que a taxa de fusão não influenciada pelo tipo de gás de proteção.

No processo de soldagem o rendimento ou eficiência de deposição é muito importante, pois influe no aporte de calor e no custo final da soldagem. O decréscimo na taxa de deposição é ocasionado pelas perdas decorrentes da formação de salpicos. Os agentes causadores de formação de salpicos já foram descritos anteriormente.

SAITO (2001), conclui que o aumento da freqüência do pulso causa aumentos significativos no rendimento de deposição.

MACHADO (1995) relata que a taxa de deposição, a eficiência e a massa de metal depositado podem ser alterados e melhor estabelecidos, a fim de aumentar a produtividade e reduzir custos nos vários processos de soldagem.

A eficiência de deposição é definida como a relação entre as massas de material depositado e consumido, ou pela razão entre as taxas deposição e consumo.

Finalmente, enquanto a massa de material depositado corresponde a massa adicionada ao metal de base após a soldagem, a massa consumida representa a quantidade de material depositado e consumido na execução da solda. A razão da quantidade de material depositado e consumido por um determinado intervalo de tempo resulta, respectivamente, em taxa de deposição e taxa de consumo.

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1. Materiais

A fim de desenvolver e atingir os objetivos deste trabalho utilizou-se como material de base o aço ABNT 1010, com espessura de 6,35mm.

O arame utilizado foi do tipo tubular autoprottegido (*innershield*), com a classificação AWS (*American Welding Society*) A5.20-95: E71T-11, equivalente a especificação ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) SFA – 5.20: E71T-11, possuindo 1,1mm de diâmetro nominal.

Nas Tabelas 1 e 2 pode-se visualizar a composição química e propriedades mecânicas do arame utilizado.

Tabela 1 – Composição química arame tubular autoprottegido E71T-11 (Fonte: Lincoln Electric (2004)).

Especificação	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al
E71T-11	0,21	0,75	0,01	0,008	0,25	1,80

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do arame tubular autoprottegido E71T-11 (Fonte: Lincoln Electric (2004)).

Especificação	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Redução de área (%)	Dureza (H_B)
E71T-11	58 - 69	72 - 95	22 - 25	85 - 95

4.2. Métodos

4.2.1. Processo de Soldagem

Inicialmente, para reduzir os defeitos e garantir a qualidade dos cordões de solda, bem como estabelecer as condições de soldagem e os parâmetros de pulso

adequados para realização do trabalho, antes da coleta de dados, foram executadas várias soldas.

Os parâmetros de soldagem utilizados nos testes iniciais foram baseados no trabalho de SAITO (2001), a fim de se obter um comparativo entre os resultados, porém não foi possível manter a tensão média dentro do mesmo valor devido a qualidade dos cordões.

Para realização da soldagem, utilizou-se de corpos de prova nas dimensões de 150 x 38 x 6,35mm. Em seguida, os corpos de provas foram devidamente identificados e posteriormente realizou-se a limpeza da superfície manualmente com escova de aço.

As soldas foram realizadas por simples deposição e na posição plana, com a tocha posicionada conforme Figura 6 e fixa em relação ao metal de base, sendo que este se movimentou com velocidade de 18 cm/min, com auxílio de equipamento de translação para corte oxi-gás adaptado, da White Martins, modelo MC 46, o qual pode ser observado na Figura 7.

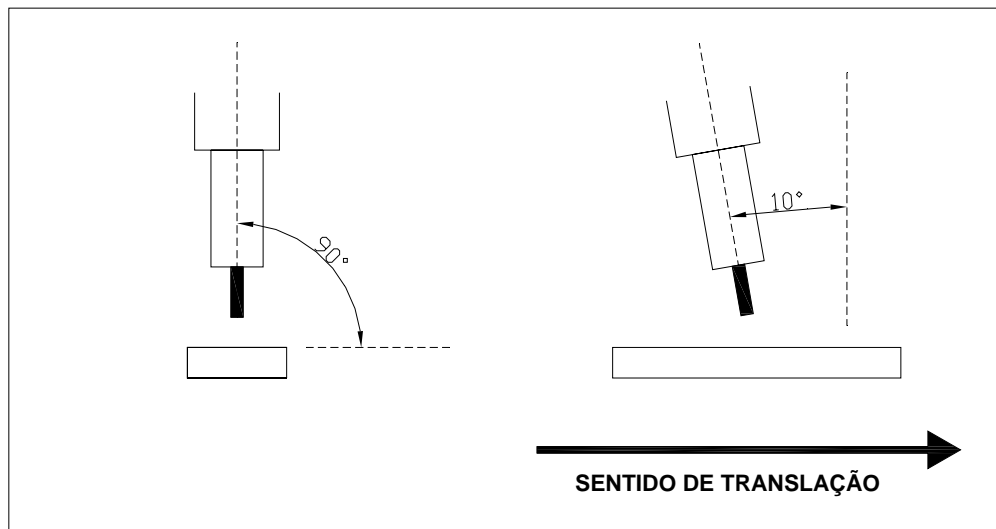


Figura 6 – Esquema ilustrativo do posicionamento da tocha.

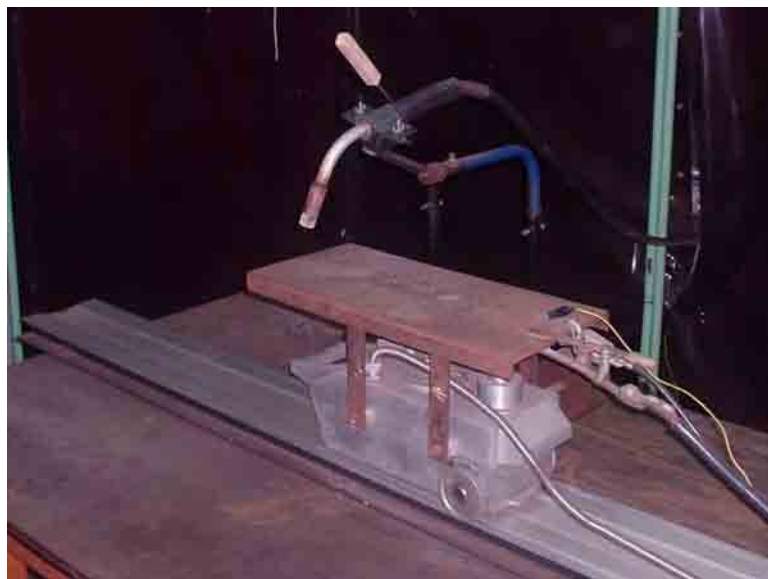


Figura 7 – Equipamento de translação utilizado na soldagem.

Após a realização dos ensaios iniciais, foram definidos quatorze grupos de combinações de parâmetros de pulso.

Objetivando-se verificar a influência da variação dos parâmetros, todas as soldas foram realizadas variando-se apenas um parâmetro de pulso ficando os demais constantes. Os grupos de combinações utilizados no processo de soldagem são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Grupos de combinações de parâmetros de pulso.

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)
1	350	30	100	2,0
2	350	40	100	2,0
3	350	50	100	2,0
4	420	50	100	2,0
5	420	40	100	2,0
6	420	30	100	2,0
7	400	30	100	2,0
8	400	40	100	2,0
9	400	50	100	2,0
10	350	30	100	2,2
11	350	30	125	2,2
12	420	50	125	2,2
13	350	30	100	2,5
14	350	30	150	2,2

Tabela 4 – Grupos utilizados para cada variação de parâmetro de pulso.

Parâmetro de pulso variável	Grupos utilizados		
T_p	1	10	13
F	10	11	14
A_p	1	6	7
	2	5	8
	3	4	9
A_b	1	2	3
	4	5	6
	7	8	9

Foram realizadas três soldas para cada grupo, fixando-se a distância entre o bocal da tocha e o material de base em 14 mm e a tensão média em aproximadamente 22V. O equipamento responsável pela variação dos parâmetros foi uma fonte energia multiprocessos, microprocessada, da marca Miller, modelo MAXTRON 450, visualizado Figura 8.



Figura 8 – Fonte de energia multiprocessos, microprocessada.

Para determinar as massas iniciais e finais, realizou-se a pesagem dos corpos de prova, antes e após cada solda, utilizando-se de uma balança Balança da marca Marte, modelo AL 500, com capacidade de 500g e resolução de 0,001g;

No decorrer dos ensaios, com objetivo de obter uma tensão média aproximadamente constante, variou-se no equipamento de soldagem um ajuste denominado pelo fabricante de *TRIM*. A cada acréscimo no valor de um parâmetro de pulso, a tensão média subia, sendo necessário o aumento do *TRIM* para sua redução. A velocidade de alimentação do arame (*Wp*) se manteve constante em todo ensaio.

Para realização da coleta e análise dos dados, utilizou-se uma placa de aquisição de dados desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina, interligada a um microcomputador e um software denominado MIG-MAG, também desenvolvido pela Universidade citada.

4.2.2. Análise metalográfica.

Antes de iniciar o processo metalográfico, os corpos de prova foram cortados com disco abrasivo em 4 partes, retirando-se três amostras. Todo procedimento metalográfico foi realizado conforme recomendado por VOORT (1984).

Nas amostras, cada superfície transversal ao cordão de solda foi lixada e posteriormente polida com Alumina (Al_2O_3) de $1\mu m$.

Para o ataque químico foi utilizado solução Nital 10%, com tempo de duração de aproximadamente 8 s.

4.2.3. Procedimento de medição da geometria.

Em seguida ao ataque químico, as superfícies foram fotografadas com resolução aproximadamente de 1,2 megapixel, utilizando uma câmera digital Nikon série D.

As fotografias digitais foram exportadas para um microcomputador e posteriormente inseridas num software denominado AutoCAD 2005. Utilizando-se do

software citado foram realizadas as medições da largura (L), penetração (P) e reforço (R) dos cordões de solda.

Na Figura 9 pode ser observado as características geométricas do cordão de solda.

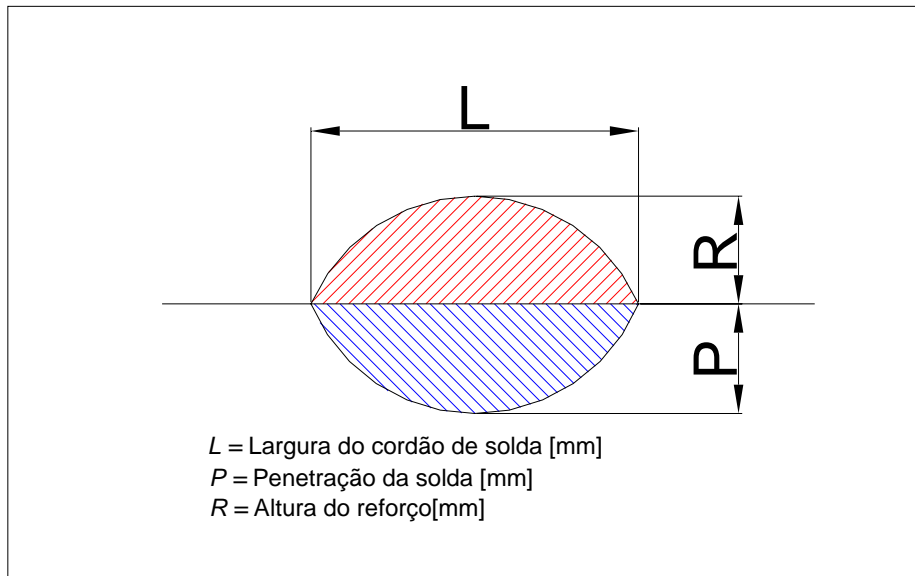


Figura 9 – Esquema ilustrativo da medição da geometria do cordão de solda.

4.2.4. Determinação da taxa de deposição.

A taxa de deposição (Td), em quilogramas por hora, é a quantidade de massa depositada (Md) do material de adição em um determinado intervalo de tempo (Δt), podendo ser obtido através da equação (3).

$$Td = Md / \Delta t \quad (3)$$

Para calcular o valor da massa depositada (Md), os corpos de prova foram pesados antes e após a execução de cada solda, obtendo-se os valores da massa do corpo de prova (M) e da massa final (Mf), massa do corpo de prova logo após a soldagem. A massa do material depositado pode ser calculada pela fórmula (4).

$$Md = Mf - Mi \quad (4)$$

onde: Md , Mi e Mf são fornecidas em quilogramas (kg)

O intervalo de tempo (Δt) de material depositado, foi obtido através do sistema de medição e monitoração da produtividade das operações soldagem denominado MVA-2, marca IMC (figura 10).



Figura 10 – Equipamento de medição e monitoração do processo de soldagem.

De posse dos resultados de Md equação (2) e Δt , calculou-se o valor de Td através da expressão (3).

4.2.5. Determinação da taxa de consumo

A taxa de consumo (Tc), em quilogramas por hora, pode ser descrita como sendo a quantidade de arame consumida em um determinado intervalo de tempo e pode ser obtida através da fórmula (5).

$$Tc = Mc / \Delta t \quad (5)$$

A massa de arame consumida (Mc) é determinada através da expressão (6)

$$Mc = Vc \cdot \rho \quad (6)$$

onde, Vc é o volume consumido de arame em m^3 e ρ é a densidade média do aço, em torno de 7850 kg/m^3 .

A equação (7) mostra como obter o valor do volume consumido de arame.

$$Vc = As \cdot C \quad (7)$$

Para se determinar A_s , foi necessário realizar a medição de onze seções do arame E71T-11, utilizando-se do Projetor de perfil Nikon 6C. Com os diâmetros coletados, pode-se calcular facilmente, com a média das onze seções, a área da seção transversal do arame (A_s) através da formula (8).

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot (de^2 - di^2) \quad (8)$$

O desenho esquemático das dimensões retiradas do arame pode ser visualizado na Figura 11 e o resultado das onze medições do diâmetro do arame no projetor de perfil são apresentados na Tabela 5. Para efeito ilustrativo encontra-se no anexo A todos os dados coletados no projetor de perfil.

Tabela 5 – Resultado de medições do diâmetro do arame E71T-11.

Amostra	De (mm)	Di (mm)
1	1,2	0,6
2	1,2	0,7
3	1,2	0,7
4	1,2	0,7
5	1,1	0,7
6	1,1	0,7
7	1,2	0,7
8	1,1	0,7
9	1,2	0,7
10	1,2	0,7
11	1,1	0,7
Média	1,2	0,7
Variância	0,0	0,0
Desvio Padrão	0,0	0,0

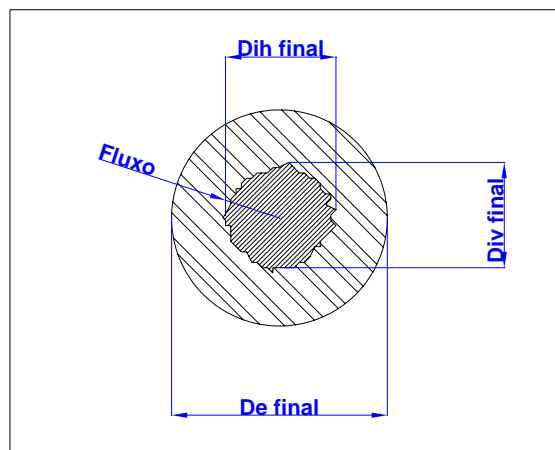


Figura 11 – Desenho esquemático das medidas de diâmetro do arame E71T-11

O consumo linear de arame (C), em metros, representa a quantidade de eletrodo consumido desde a abertura até a extinção do arco voltaico e foi obtido através do sistema de medição e monitoração da produtividade das operações soldagem (Figura 10).

4.2.6. Análise da eficiência da deposição

A eficiência ou rendimento da deposição (η) é obtida pela razão entre a taxa de consumo (Tc) e a taxa de deposição (Td), ou seja, determina em percentual a quantidade de material que efetivamente foi adicionada no material de base e é apresentada na expressão (9).

$$\eta = Td / Tc \quad (9)$$

4.2.7. Tratamento estatístico

Visando realizar a análise estatística dos resultados colhidos nos ensaios, segundo metodologia experimental descrita anteriormente, foram realizadas três soldas para cada combinação (grupo) entre os parâmetros de pulso. Em seguida os corpos de prova foram cortados em 4 partes e extraiu-se 3 amostras de cada cordão, perfazendo um total de nove amostras por grupo de soldagem ou combinação de variáveis de pulso.

Na presente pesquisa utilizou-se a técnica de experimentos fatoriais, uma vez que foi analisada a influência de quatro variáveis de parâmetros de pulso em três níveis de intensidade.

É sugerido por MONTGOMERY (2003), BARROS NETO et al (2002), SPIEGEL (1993) e FONSECA et al (1981) a utilização da técnica estatística denominada análise de variância (ou simplesmente ANOVA, um acrônimo de *Analysis of Variance*) para executar a comparação entre as médias amostrais.

A ANOVA permite comparar dispersão, uma relativa aos tratamentos (resultado entre os tratamentos) e outra relativa aos blocos (resultados dentro dos

tratamentos). Caso a variação entre as amostras seja significativamente superior à variação dentro das amostras, a técnica de ANOVA acusará alguma diferença entre os tratamentos.

Não obstante, este método não identifica entre quais tratamentos ocorre diferença significativa, sendo necessário para isto a utilização de um procedimento denominado Teste de Tukey, conforme apresentado na equação (10).

$$T = q \cdot \sqrt{\frac{MQ_i}{r}} \quad (10)$$

onde que q é o valor tabelado (valor crítico da amplitude Studentizada) para um nível de significância determinado, graus de liberdade e números de tratamentos, MQ_i a média dos quadrados das interações e r número de repetições para cada combinação.

São chamadas significativas as diferenças das médias que ultrapassem o valor de T .

No trabalho utilizou-se análise de variância com fator único e análise de variância fator duplo com repetição e utilizou as ferramentas de análise de dados do software *Microsoft Excel Office XP*, e um exemplo desta análise e mostrado na seção 5.5.1.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos durante os ensaios, utilizando-se o arame E71T-11 e os grupos de parâmetros de pulso descritos na Tabela 4, são divulgados neste capítulo.

Para melhor compreender estes resultados, no decorrer do capítulo, são apresentadas algumas fotografias onde se pode visualizar os aspectos do cordão de solda.

São apresentados também, em tabelas, os resultados mostrando a influência do parâmetro de soldagem na geometria do cordão e nas características de desempenho, além dos valores de corrente e tensão obtidos para cada grupo.

E por último, ainda, são apresentadas as fotomacrografias de algumas seções transversais dos cordões de solda e os diagramas comparando as médias obtidas com a análise de variância.

5.1. Aspecto visual do cordão de solda

Com a utilização de corrente de pico (A_p) mais reduzidas, o arco se manteve mais estável, gerando menos respingos durante o processo de soldagem. Nas figuras 12 a 25 mostram o aspecto visual dos cordões de solda para todos os grupos de parâmetros.



Figura 12 – Solda realizada utilizando o grupo 1 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100 \text{ Hz}$ e $T_p = 2,00 \text{ ms}$.



Figura 13 – Solda realizada utilizando o grupo 2 – $A_p = 350A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 14 – Solda realizada utilizando o grupo 3 – $A_p = 350A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 15 – Solda realizada utilizando o grupo 4 – $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

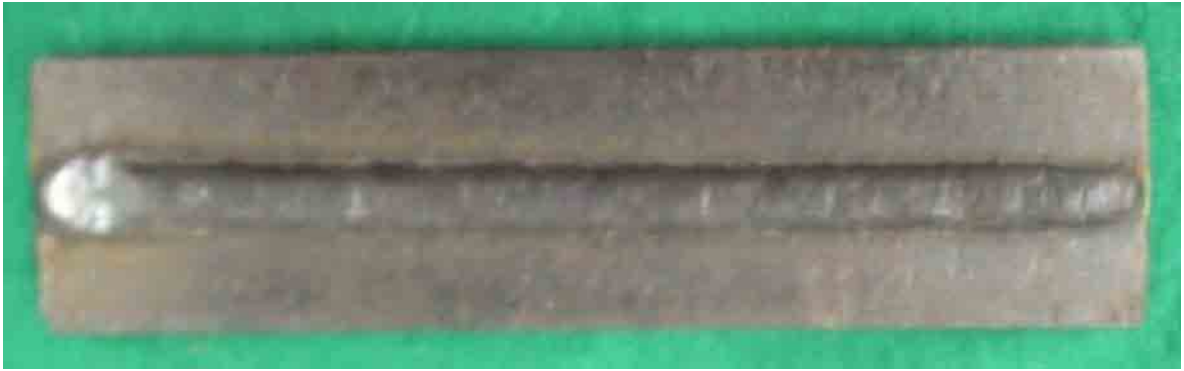


Figura 16 – Solda realizada utilizando o grupo 5 – $A_p = 420A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 17 – Solda realizada utilizando o grupo 6 – $A_p = 420A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 18 – Solda realizada utilizando o grupo 7 – $A_p = 400A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 19 – Solda realizada utilizando o grupo 8 – $A_p = 400A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

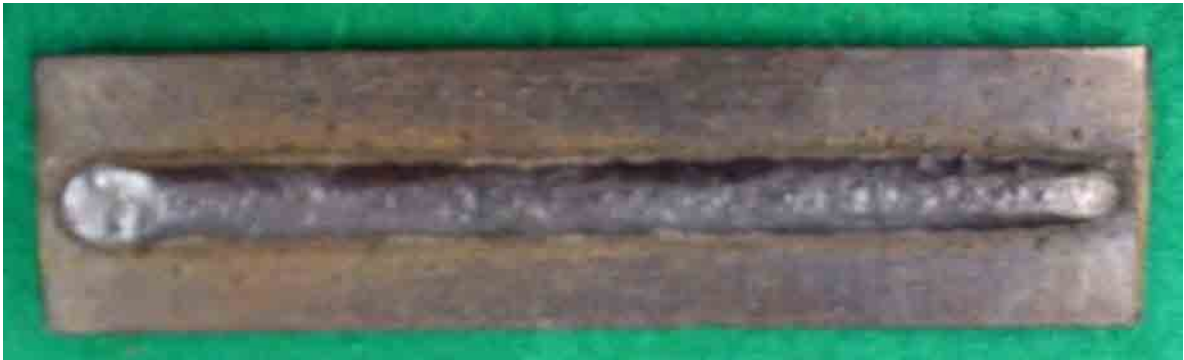


Figura 20 – Solda realizada utilizando o grupo 9 – $A_p = 400A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 21 – Solda realizada utilizando o grupo 10 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.



Figura 22 – Solda realizada utilizando o grupo 11 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 125 \text{ Hz}$ e $T_p = 2,20 \text{ ms}$.



Figura 23 – Solda realizada utilizando o grupo 12 – $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 125 \text{ Hz}$ e $T_p = 2,20 \text{ ms}$.



Figura 24 – Solda realizada utilizando o grupo 13 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100 \text{ Hz}$ e $T_p = 2,50 \text{ ms}$.

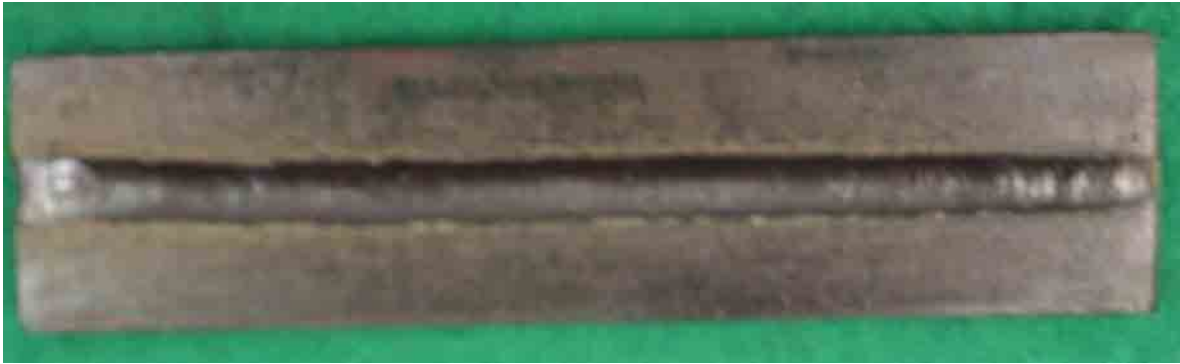


Figura 25 – Solda realizada utilizando o grupo 14 – $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 150$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.

5.2. Geometria do cordão de solda

Os resultados dos ensaios, com os grupos de parâmetro e as respectivas características geométricas do cordão de solda para cada corpo de prova serão apresentados a seguir.

5.2.1. Influência do tempo de pico e da frequência

Nas Tabelas 6 e 7, respectivamente, são apresentados os valores médios obtidos para cada corpo de prova, variando-se o tempo de pico (T_p) e a frequência (F).

Tabela 6 – Resultado da influência do tempo de pico (T_p) na geometria do cordão.

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)
1	350	30	100	2,00	8,7	1,3	2,7
					8,3	1,4	2,7
					8,9	0,9	2,5
10				2,20	9,2	1,1	2,4
					9,4	0,9	2,1
					9,0	1,0	2,6
13				2,50	8,1	1,5	2,7
					8,2	1,2	2,7
					8,0	1,4	2,7

Tabela 7 – Resultado da influência da frequência (F) na geometria do cordão.

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)
10	350	30	100	2,20	9,2	1,1	2,4
					9,4	0,9	2,1
					9,0	1,0	2,6
11			125		8,4	1,2	2,6
					9,2	1,4	2,6
					9,0	1,1	2,6
14			150		8,8	1,3	2,6
					8,9	1,5	2,7
					8,5	1,5	2,8

5.2.2. Influência das correntes de pico e de base.

Os valores médios obtidos para cada corpo de prova, ensaiados variando-se a corrente de pico (A_p) e a corrente de base (A_b), para três combinações de pulso diferentes, são apresentados nas Tabelas 8 a 13 .

Tabela 8 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 30A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)	
1	350	30	100	2,00	8,7	1,3	2,7	
					8,3	1,4	2,7	
					8,9	0,9	2,5	
6					420	8,2	1,1	2,7
						8,2	1,6	2,9
						7,8	1,1	2,7
7					400	8,9	1,1	2,8
						8,9	1,0	2,6
						9,1	1,6	2,6

Tabela 9 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 40A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)
2	350	40	100	2,00	10,1	1,1	2,2
					9,8	0,9	2,1
					9,9	1,3	2,2
5	420				9,4	1,0	2,4
					9,2	1,2	2,2
					9,3	1,3	2,4
8	400				9,8	1,1	2,1
					9,9	1,3	2,3
					10,1	1,2	2,4

Tabela 10 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_b = 50A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$).

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)
3	350	50	100	2,00	10,3	1,1	2,2
					10,8	1,1	2,0
					11,0	1,2	1,9
4	420				9,8	1,1	2,1
					10,0	1,2	2,1
					9,7	1,0	2,2
9	400				10,2	1,1	2,2
					10,3	1,0	2,1
					10,8	1,4	2,1

Tabela 11 - Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 350A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)		
1	350	30	100	2,00	8,7	1,3	2,7		
					8,3	1,4	2,7		
					8,9	0,9	2,5		
2		40			100	2,00	10,1	1,1	2,2
							9,8	0,9	2,1
							9,9	1,3	2,2
3		50			100	2,00	10,3	1,1	2,2
							10,8	1,1	2,0
							11,0	1,2	1,9

Tabela 12 - Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 400A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)		
7	400	30	100	2,00	8,9	1,1	2,8		
					8,9	1,0	2,6		
					9,1	1,6	2,6		
8		40			100	2,00	9,8	1,1	2,1
							9,9	1,3	2,3
							10,1	1,2	2,4
9		50			100	2,00	10,2	1,1	2,2
							10,3	1,0	2,1
							10,8	1,4	2,1

Tabela 13 - Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características geométricas do cordão (outros parâmetros constantes $A_p = 420A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Largura do cordão - L (mm)	Penetração da solda - P (mm)	Altura do Reforço - R (mm)		
4	420	30	100	2,00	9,8	1,1	2,1		
					10,0	1,2	2,1		
					9,7	1,0	2,2		
5		40			100	2,00	9,4	1,0	2,4
							9,2	1,2	2,2
							9,3	1,3	2,4
6		50			100	2,00	8,2	1,1	2,7
							8,2	1,6	2,9
							7,8	1,1	2,7

5.3. Características de desempenho

A taxa de consumo (T_c), taxa de deposição (T_d) e o rendimento da deposição (η), características de desempenho estudadas neste trabalho e obtidas nas soldas com a variação dos parâmetros de pulso, tem os resultados apresentados, em tabelas, na seqüência.

5.3.1. Influência do tempo de pico e da frequência

Nas tabelas 14 a 15 são apresentados os valores médios, de cada corpo de prova, obtidos com a variação do tempo de pico (T_p) e da frequência (F), para as características de desempenho.

Tabela 14 - Resultado da influência do tempo de pico (T_p) nas características de desempenho.

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
1	350	30	100	2,00	2,2	2,1	98,6
					2,2	2,2	99,3
					2,2	2,0	94,9
10				2,20	2,1	1,9	89,8
					2,1	1,7	82,3
					2,1	2,0	94,6
13				2,50	2,1	2,1	98,9
					2,2	2,1	96,0
					2,1	2,1	97,8

Tabela 15 - Resultado da influência da frequência (F) nas características de desempenho.

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
10	350	30	100	2,20	2,1	1,9	89,8
					2,1	1,7	82,3
					2,1	2,0	94,6
11			125		2,1	2,0	93,0
					2,1	2,0	95,7
					2,1	2,0	92,9
14			150		2,2	2,1	96,5
					2,2	2,1	98,6
					2,2	2,1	99,9

5.3.2 – Influência das correntes de pico e de base

Os valores médios das características de desempenho, obtidos para cada corpo de prova, variando-se a corrente de pico (A_p) e a corrente de base (A_b) para três combinações de pulso, podem ser visualizados nas tabelas 16 a 21.

Tabela 16 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_b = 30A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
1	350	30	100	2,00	2,2	2,1	98,6
					2,2	2,2	99,3
					2,2	2,0	94,9
6	420				2,1	1,9	90,4
					2,1	2,1	99,0
					2,1	2,1	96,7
7	400				2,1	2,1	97,9
					2,2	2,1	97,4
					2,1	2,0	96,4

Tabela 17 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_b = 40A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
2	350	40	100	2,00	2,1	2,0	92,0
					2,1	1,8	87,3
					2,1	1,9	89,9
5	420				2,1	1,9	89,8
					2,1	1,8	86,1
					2,1	1,9	88,1
8	400				2,1	1,9	92,0
					2,1	2,1	97,1
					2,1	2,0	93,7

Tabela 18 - Resultado da influência da corrente de pico (A_p) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_b = 50A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
3	350	50	100	2,00	2,1	2,0	93,4
					2,1	2,0	91,9
					2,1	1,8	86,4
4	420				2,2	1,9	87,5
					2,1	1,8	82,2
					2,1	1,9	89,8
9	400				2,1	1,9	90,7
					2,1	2,0	91,3
					2,1	2,0	93,5

Tabela 19 - Resultado da influência da corrente de base (A_b) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $A_p = 350A$, $F = 100Hz$, $T_p = 2,0ms$)

Grupo	A_p (A)	A_b (A)	F (Hz)	T_p (ms)	Taxa de consumo - T_c (kg/h)	Taxa de deposição - T_d (kg/h)	Rendimento de deposição - η %
1	350	30	100	2,00	2,2	2,1	98,6
					2,2	2,2	99,3
					2,2	2,0	94,9
2		2,1			2,0	92,0	
		2,1			1,8	87,3	
		2,1			1,9	89,9	
3		2,1			2,0	93,4	
		2,1			2,0	91,9	
		2,1			1,8	86,4	

Tabela 20 - Resultado da influência da corrente de base (Ab) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $Ap = 400A$, $F = 100Hz$, $Tp = 2,0ms$)

Grupo	Ap (A)	Ab (A)	F (Hz)	Tp (ms)	Taxa de consumo - Tc (kg/h)	Taxa de deposição - Td (kg/h)	Rendimento de deposição - η %		
7	400	30	100	2,00	2,1	2,1	97,9		
					2,2	2,1	97,4		
					2,1	2,0	96,4		
8		40			100	2,00	2,1	1,9	92,0
							2,1	2,1	97,1
							2,1	2,0	93,7
9		50			100	2,00	2,1	1,9	90,7
							2,1	2,0	91,3
							2,1	2,0	93,5

Tabela 21 - Resultado da influência da corrente de base (Ab) nas características de desempenho (outros parâmetros constantes $Ap = 420A$, $F = 100Hz$, $Tp = 2,0ms$)

Grupo	Ap (A)	Ab (A)	F (Hz)	Tp (ms)	Taxa de consumo - Tc (kg/h)	Taxa de deposição - Td (kg/h)	Rendimento de deposição - η %		
4	420	30	100	2,00	2,2	1,9	87,5		
					2,1	1,8	82,2		
					2,1	1,9	89,8		
5		40			100	2,00	2,1	1,9	89,8
							2,1	1,8	86,1
							2,1	1,9	88,1
6		50			100	2,00	2,1	1,9	90,4
							2,1	2,1	99,0
							2,1	2,1	96,7

5.4. Corrente e Tensão

Nesta seção, na tabela 22, são apresentados os valores médios e eficazes de corrente e tensão, obtidos nas soldas para cada grupo de parâmetros de pulso.

Tabela 22 – Valores médios e eficazes de corrente e tensão para cada grupo (combinações) de parâmetros.

Grupo	Veloc. de alim. do arame - Wp (m/min)		Corrente média - Am (A)		Corrente eficaz - Aef (A)		Tensão média - Vm (V)		Tensão eficaz - Vef (V)	
	Ensaio	Média	Ensaio	Média	Ensaio	Média	Ensaio	Média	Ensaio	Média
1	4		107		170		18		19	
	4	4	107	106	171	170	18	19	19	20
	4		104		168		21		22	
2	4		112		173		22		23	
	4	4	111	111	171	171	24	24	24	24
	4		110		170		25		25	
3	4		121		177		22		23	
	4	4	120	120	176	176	24	24	25	25
	4		119		175		25		26	
4	4		112		179		24		25	
	4	4	111	112	178	179	26	24	26	24
	4		114		180		22		22	
5	4		104		175		22		23	
	4	4	101	103	173	174	25	24	25	24
	4		103		174		24		25	
6	4		96		172		20		21	
	4	4	99	98	174	174	18	19	19	20
	4		99		175		18		19	
7	4		104		177		20		21	
	4	4	105	104	178	177	19	20	20	21
	4		102		175		21		22	
8	4		109		178		24		24	
	4	4	111	111	180	180	22	22	23	23
	4		112		181		22		22	
9	4		119		183		24		24	
	4	4	119	119	183	183	22	23	23	24
	4		118		182		23		24	
10	4		109		173		22		22	
	4	4	104	107	169	172	25	22	26	23
	4		109		173		21		21	
11	4		112		176		19		19	
	4	4	108	110	172	174	21	20	22	21
	4		109		173		21		21	
12	4		111		178		25		26	
	4	4	110	110	177	178	26	26	27	26
	4		110		178		27		27	
13	4		108		174		18		19	
	4	4	108	108	173	173	18	18	19	19
	4		108		173		18		19	
14	4		105		170		21		21	
	4	4	107	106	171	171	20	20	20	20
	4		107		172		19		20	

5.5. Resultados Estatísticos

Nesta seção é mostrado um exemplo de ANOVA e Teste de Tukey, bem como seus resultados, conforme descrito a seguir.

Primeiramente foram tabelados os valores de L dos ensaios realizados com os grupos 10, 11 e 14. Na seqüência aplicou-se análise de variância fator único com auxílio do software Microsoft Excel XP. De posse dos resultados realizou-se o teste de tukey conforme equação 10 (seção 4.7) e calculou-se a diferença entre as médias conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Exemplo da Análise de Variância fator único - Influência de F em L para $I_P = 350 A$; $I_b = 30A$ e $T_p = 2,2ms$.

F1	F2	F3
9,0	8,5	9,4
9,1	8,5	8,4
9,5	8,3	8,6
9,4	9,3	9,0
9,5	9,1	8,7
9,4	9,2	8,9
9,1	8,8	8,8
9,3	9,4	8,0
8,5	8,8	8,7

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
F1	9	82,8	9,2	0,1
F2	9	79,9	8,9	0,2
F3	9	78,6	8,7	0,1

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,035	2	0,518	3,892	0,034	3,403
Dentro dos grupos	3,192	24	0,133			
Total	4,227	26				

Teste de Tukey	T =	0,429
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

F1 - F2	F1-F3	F2-F3
0,319	0,470	0,151

Pode-se afirmar que houve significância somente na variação da média de F1 para F3 pois o valor é maior que 7. Logo existe variação significativa na largura do cordão de solda alterando-se a frequência de pulso de 100 para 150. No anexo B são apresentadas as Tabelas de 24 a 29 com os resultados de todas as análises realizadas neste trabalho.

5.5.1. Influência do tempo de pico

Com base na análise dos diagramas apresentados na figuras 26 a 30, percebeu-se que para todas as características houve interação, exceto no rendimento de deposição (η), pois para um nível de significância de 5 % a variação não foi significativa.

Verificou-se que para o tempo de pico (Tp) de 2,2 ms ocorreu o maior valor na largura do cordão (L). A maior penetração (P) e altura do reforço (R) ocorreram operando-se com o maior tempo de pico (Tp). Já para a taxa de deposição (Td) e rendimento de deposição (η) o maior valor obtido foi trabalhando com o menor tempo de pico (Tp).

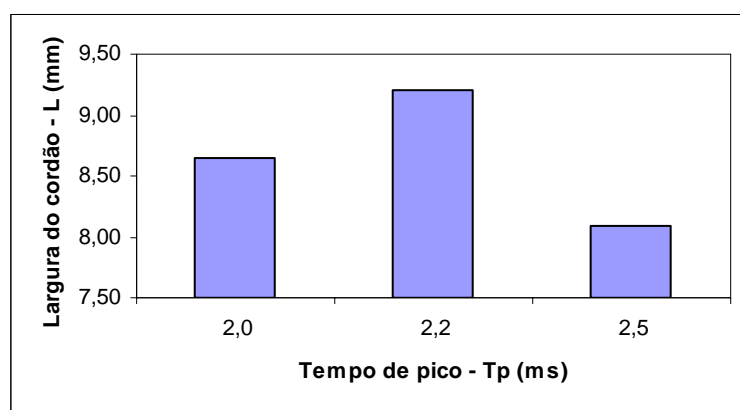


Figura 26 – Comparação entre os valores médios de Largura do cordão (L) obtidos com a variação do tempo de pico (Tp).

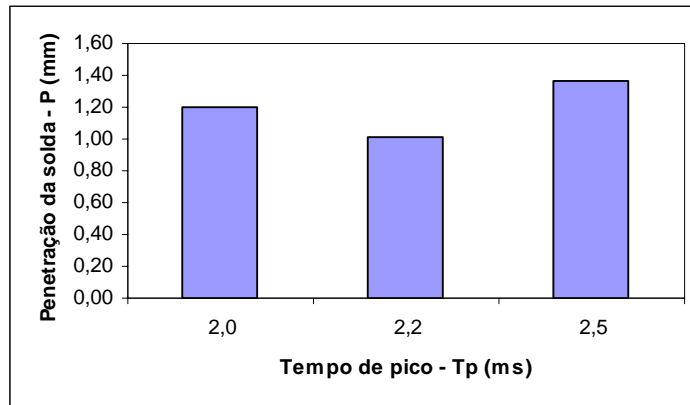


Figura 27 – Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).

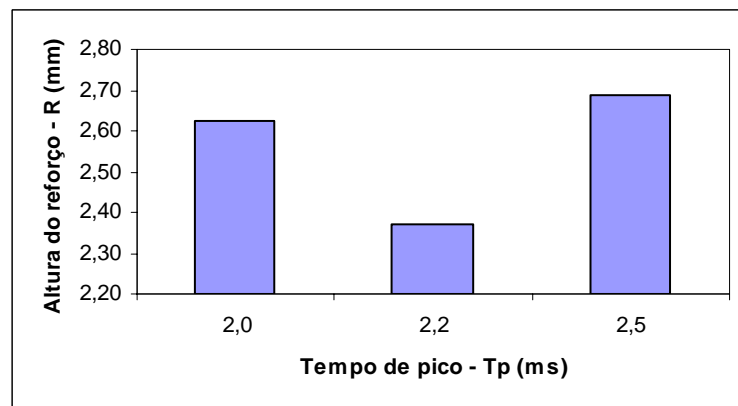


Figura 28 - Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).

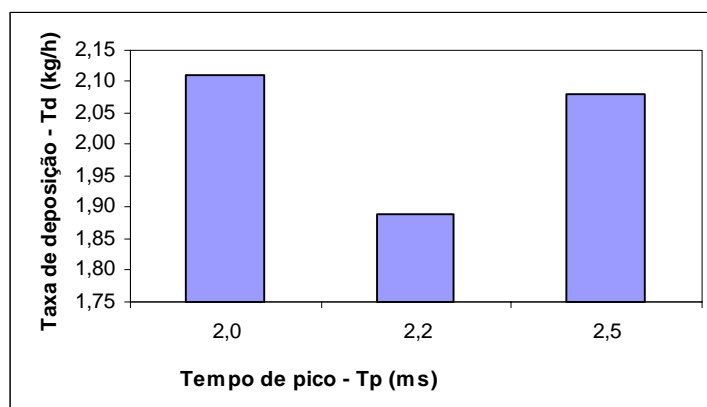


Figura 29 - Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (T_d), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).

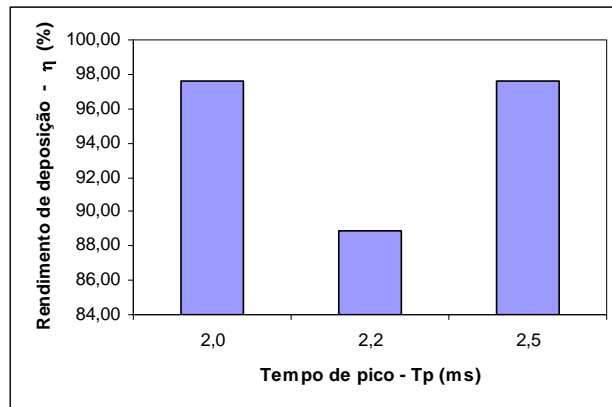


Figura 30 - Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação do tempo de pico (T_p).

5.5.2. Influência da frequência

Analisando-se os diagramas apresentados nas figuras 31 a 35, verifica-se que na maioria dos casos houve interação, sendo exceção o rendimento de deposição (η) para um nível de significância de 5%.

Foi verificado que para o valor de menor frequência de pulso (F), ocorreu o maior valor na largura do cordão (L). A maior penetração (P), taxa de deposição (T_d) e rendimento de deposição (η) ocorreu operando-se com o maior frequência de pulso (F). Para a altura do reforço (R) o valor intermediário de 125 Hz foi o que apresentou resultado elevado.

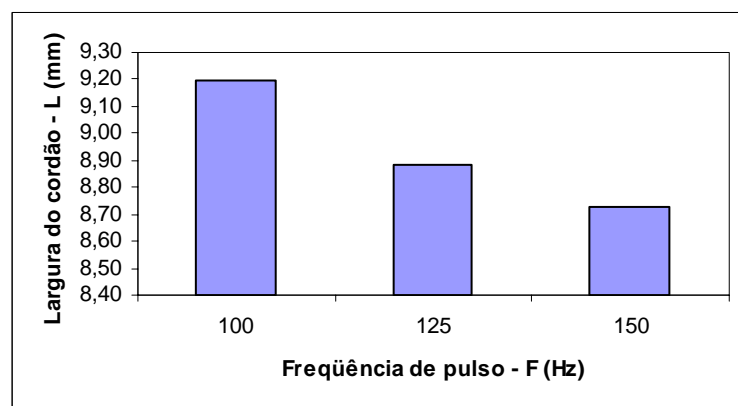


Figura 31 - Comparação entre os valores médios de largura do cordão (L), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).

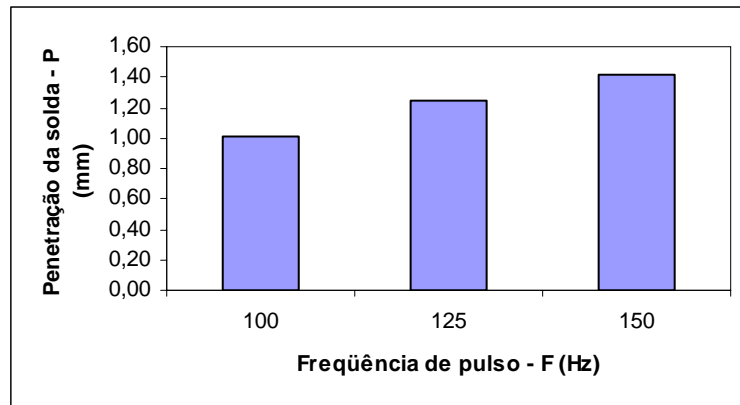


Figura 32 - Comparação entre os valores médios de penetração de solda (P), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).

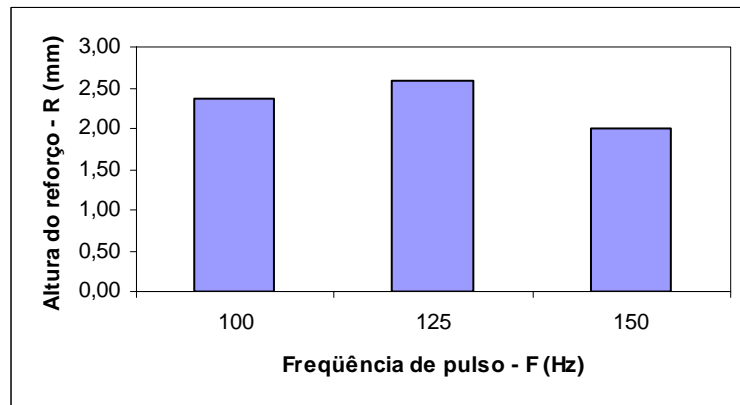


Figura 33 - Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).

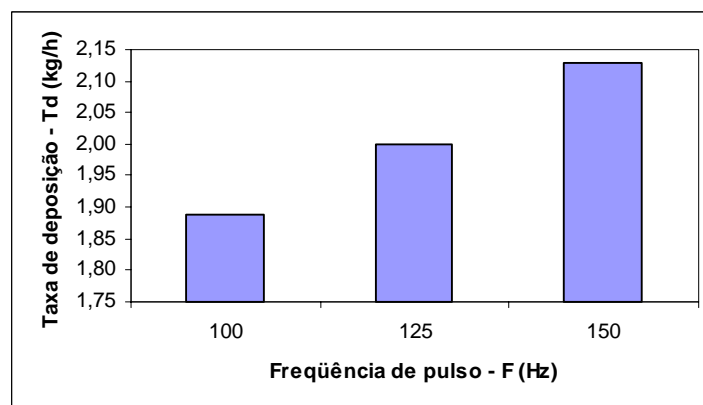


Figura 34 - Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (Td), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).

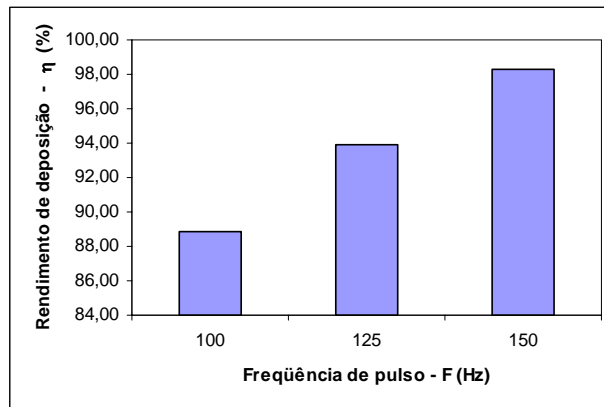


Figura 35 - Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da frequência de pulso (F).

5.5.3. Influência da corrente de pico

Analisando-se os diagramas apresentados nas figuras 36 a 40, verifica-se que na maioria dos casos não houve interação, sendo exceção a largura do cordão de solda (L) e o rendimento de deposição (η).

Percebe-se nestas figuras, que as medidas da largura do cordão de solda (L), penetração (P), taxa de deposição (Td) e rendimento de deposição (η) obtiveram maiores valores, operando-se com a corrente de pico (Ap) no valor de 400A. Para a altura do reforço (R) o maior valor da corrente de pico (Ap) foi o que apresentou resultado elevado.

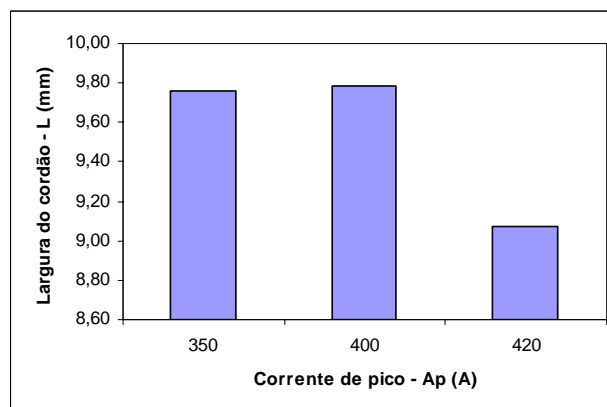


Figura 36 - Comparação entre os valores médios de Largura do cordão (L), obtidos com a variação da corrente de pico (Ap).

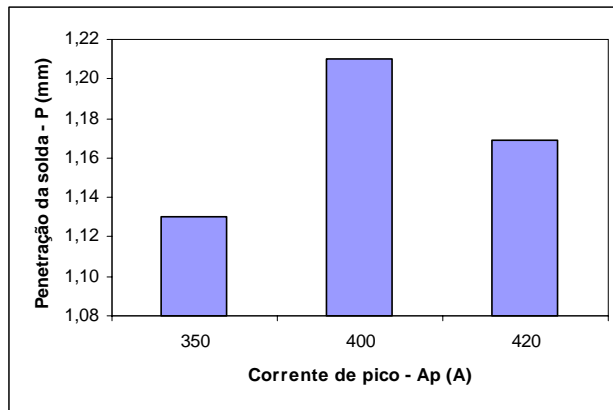


Figura 37 - Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação da corrente de pico (A_p).

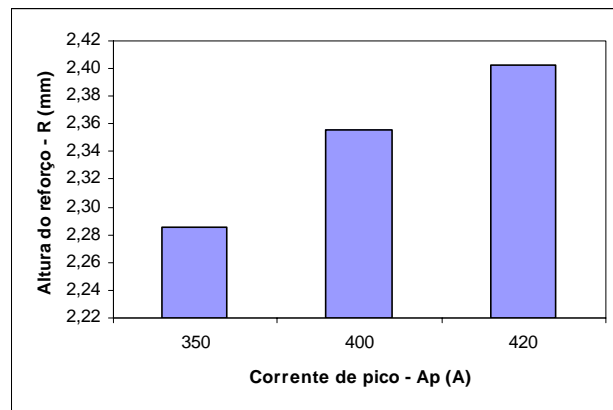


Figura 38 - Comparação entre os valores médios de Altura do reforço (R), obtidos com a variação da corrente de pico (A_p).

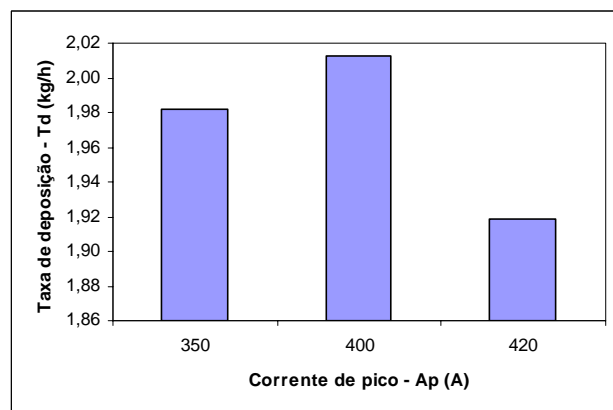


Figura 39 - Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (T_d), obtidos com a variação da corrente de pico (A_p).

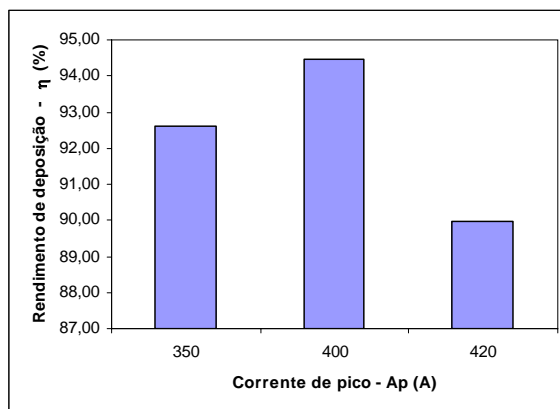


Figura 40 - Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da corrente de pico (A_p).

5.5.4. Influência da corrente de base

De acordo com os diagramas visualizados nas figuras 41 a 45, percebeu-se que na maioria dos casos houve interação, sendo exceção penetração da solda (P).

Nota-se nestas figuras, que o maior valor de largura do cordão de solda (L) foi para a maior corrente de base (A_b). Finalmente, para as medidas da, penetração (P), altura do reforço (R), taxa de deposição (T_d) e rendimento de deposição (η) obtiveram maiores valores, operando-se com a corrente de base (A_b) no valor inferior.

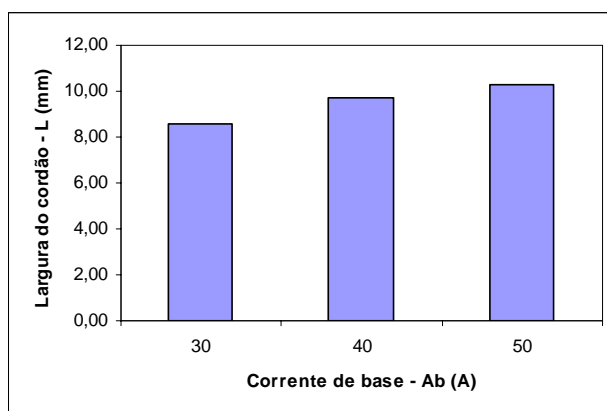


Figura 41 - Comparação entre os valores médios de largura do cordão (L), obtidos com a variação da corrente de base (A_b).

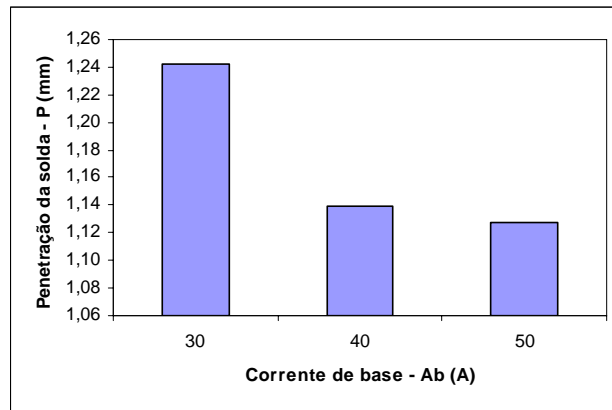


Figura 42 - Comparação entre os valores médios de penetração da solda (P), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).

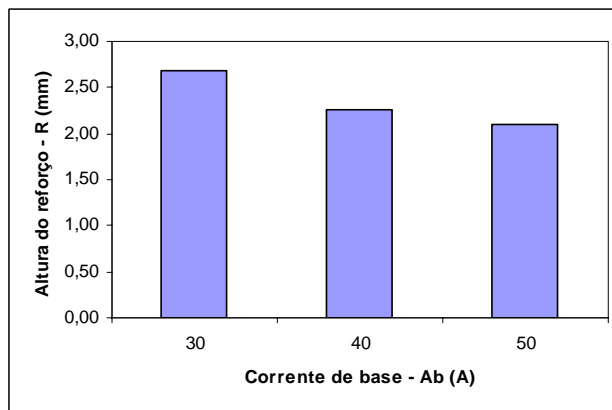


Figura 43 - Comparação entre os valores médios de altura do reforço (R), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).

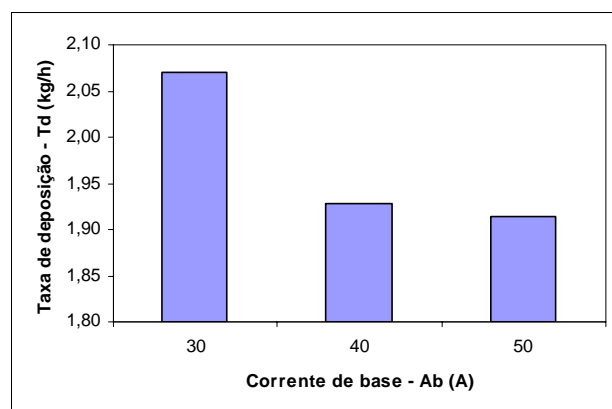


Figura 44 - Comparação entre os valores médios de taxa de deposição (Td), obtidos com a variação da corrente de base (Ab).

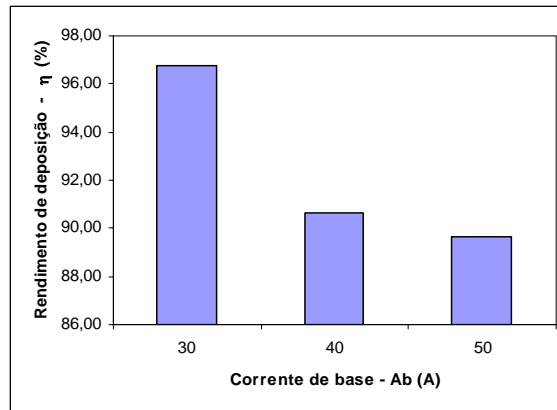


Figura 45 - Comparação entre os valores médios de rendimento de deposição (η), obtidos com a variação da corrente de base (A_b).

5.6. Fotomicrografias

A seguir serão apresentadas algumas fotomicrografias das seções transversais de cordões de solda.

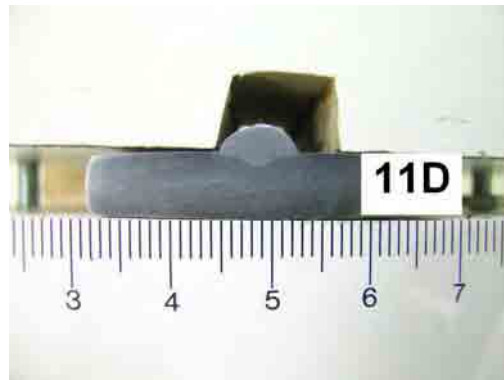


Figura 46 – Fotomicrografia do grupo 1 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

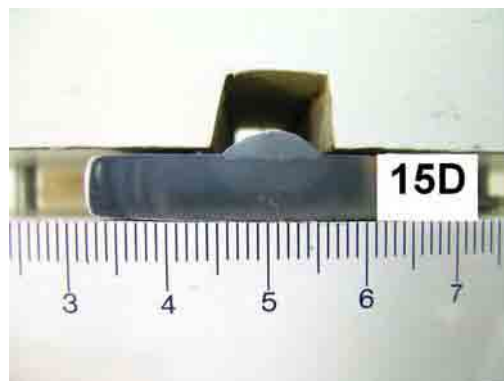


Figura 47 – Fotomicrografia do grupo 2 - $A_p = 350A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.



Figura 48 – Fotomicrografia do grupo 3 - $A_p = 350A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

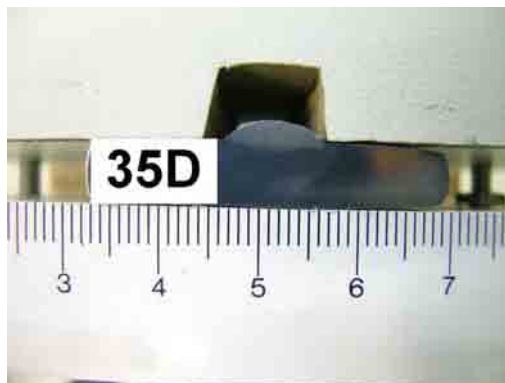


Figura 49 – Fotomicrografia do grupo 4 - $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

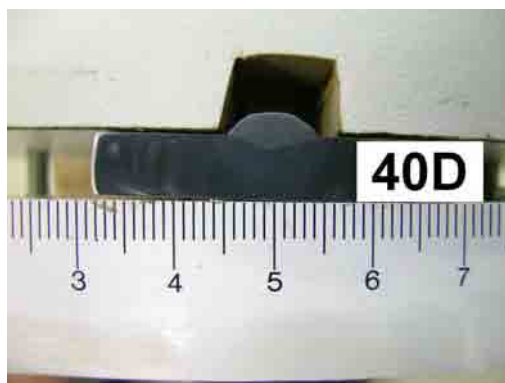


Figura 50 – Fotomicrografia do grupo 5 - $A_p = 420A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

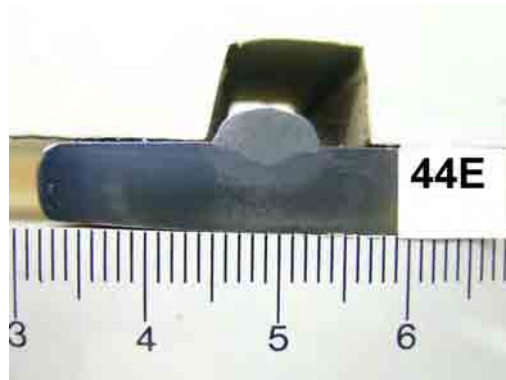


Figura 51 – Fotomicrografia do grupo 6 - $A_p = 420A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

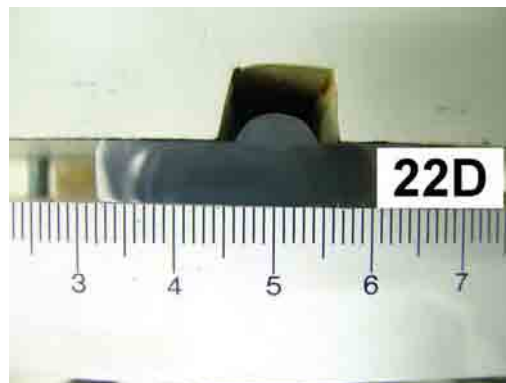


Figura 52 – Fotomicrografia do grupo 7 - $A_p = 400A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

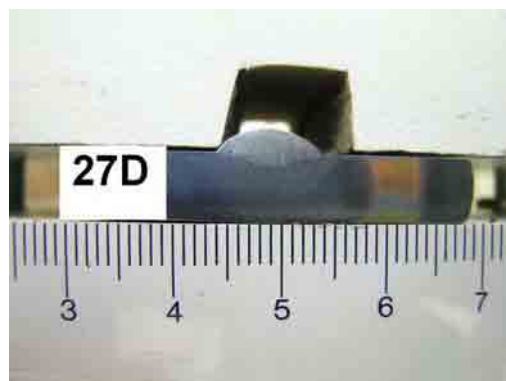


Figura 53 – Fotomicrografia do grupo 8 - $A_p = 400A$; $A_b = 40A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

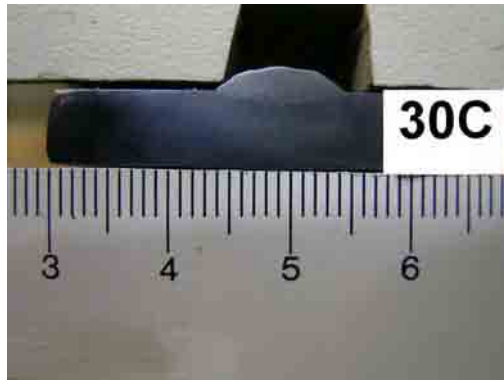


Figura 54 – Fotomicrografia do grupo 9 - $A_p = 400A$; $A_b = 50A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,00$ ms.

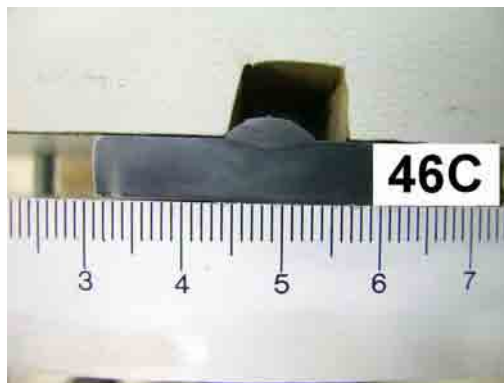


Figura 55 – Fotomicrografia do grupo 10 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.

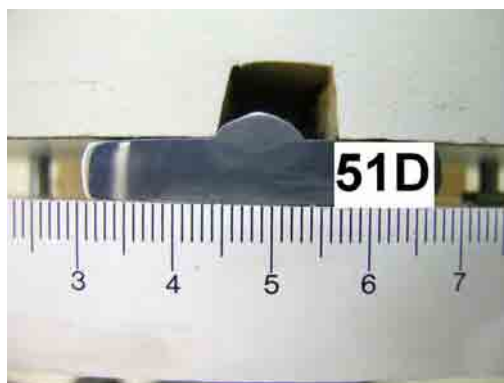


Figura 56 – Fotomicrografia do grupo 11 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.

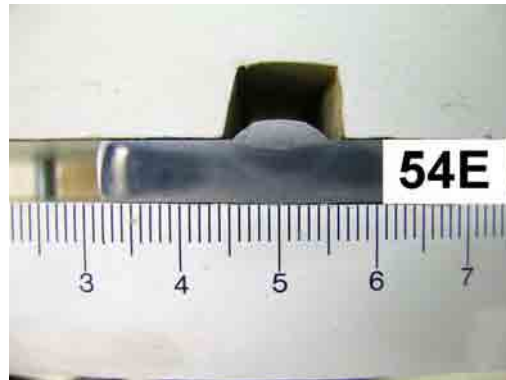


Figura 57 – Fotomicrografia do grupo 12 - $A_p = 420A$; $A_b = 50A$; $F = 125$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.

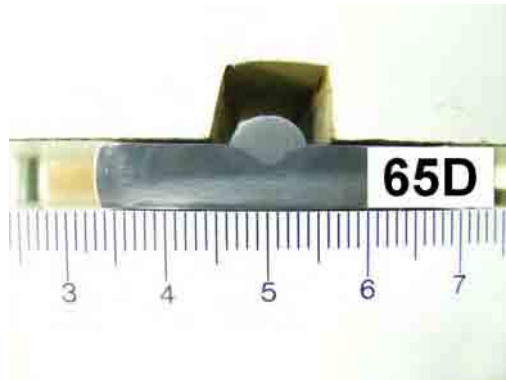


Figura 58 – Fotomicrografia do grupo 13 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 100$ Hz e $T_p = 2,50$ ms.



Figura 59 – Fotomicrografia do grupo 14 - $A_p = 350A$; $A_b = 30A$; $F = 150$ Hz e $T_p = 2,20$ ms.

6. DISCUSSÃO

Neste capítulo analisou-se a influência de cada parâmetro de pulso (Ab , Ap , F e Tp), sobre as características geométricas do cordão de solda e desempenho.

Para tal, utilizou-se dos dados obtidos nos tratamentos estatísticos das tabelas 23 a 36, os quais serviram de base para construção dos gráficos apresentados nas Figuras 60 a 74.

Nos diagramas pode-se visualizar alguns pontos, onde cada um representa o valor médio para cada corpo de prova e os números, correspondem ao grupo de parâmetros utilizados na soldagem para cada variação.

6.1. Influência do tempo de pico

Nas Figuras 60 a 64, são apresentados, respectivamente, os resultados comparativos da penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento da deposição para três grupos de parâmetros de pulso estudados neste trabalho.

Observando-se essas figuras, nota-se que para cada grupo de parâmetros, o comportamento foi praticamente similar.

A penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento da deposição, apresentaram uma redução inicial, entre 2,0 e 2,2 ms, seguido de aumento entre 2,2 a 2,5 ms, de acordo com o tratamento estatístico.

A causa desta redução inicial entre 2,0 e 2,2 ms pode ser atribuída ao crescimento da tensão média do arco que alterou de 19,17 V para 22,40 V, já que a corrente média se manteve aproximadamente constante, como pode ser visualizado na Tabela 22.

Com relação a penetração, esta redução não era esperada pois houve um aumento na potência do arco o qual acarreta segundo BARROS (1976) apud WAINER et al (1992) um aumento no comprimento do arco. Este incremento do comprimento do arco, de acordo com KOBAYASHI (1987), pode reduzir a força do jato plasma, contribuindo para uma menor escavação. Provavelmente a redução de penetração ocorreu devido a contribuição da redução do jato plasma e por uma menor produção de material depositado. A redução na produção de material depositado foi causada

pelo aumento da quantidade de salpicos, diminuindo assim a contribuição do calor do material fundido, o qual deveria ir para a poça de solda.

Na seqüência, intervalo de 2,2 a 2,5 ms, a tensão volta a baixar, saindo de 22,40 para 17,93 V (Tabela 22) e promovendo, novamente, o aumento da penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento da deposição.

As características observadas nas Figura 60, obtiveram comportamento semelhante ao encontrado por SAITO (2001), utilizando eletrodo tubular com proteção gasosa de CO₂ puro, onde houve uma redução da penetração.

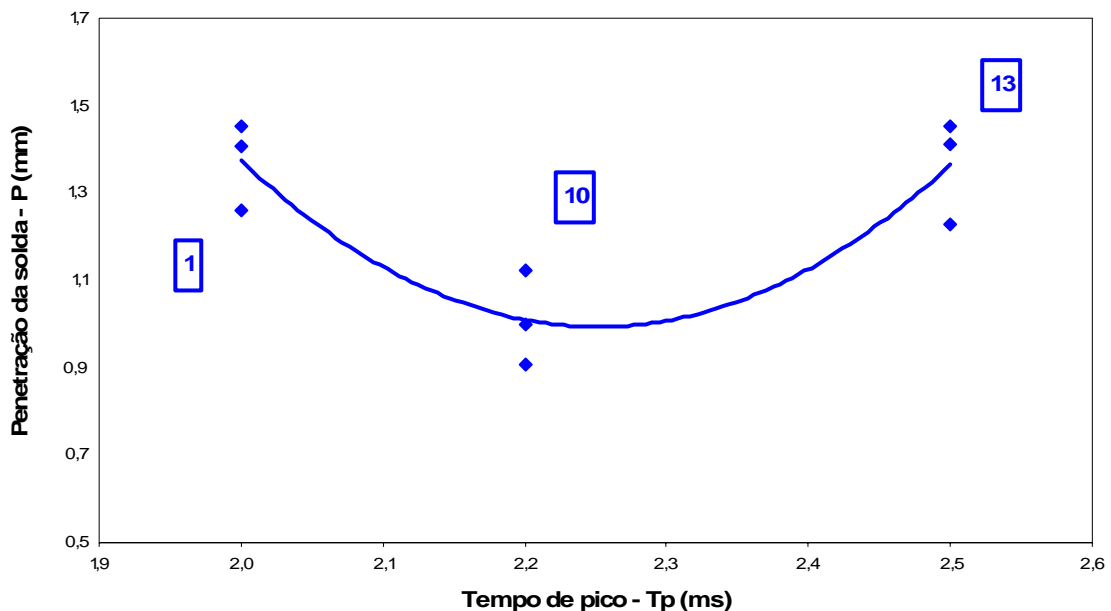


Figura 60 – Influência do tempo de pico (T_p) na penetração da solda (P).

Na Figura 61 visualiza-se o comportamento da altura do reforço, que houve num primeiro momento, de 2,0 a 2,2 ms, redução do reforço. Conforme KOBAYASHI (1987), o reforço do cordão aumenta a medida que o arco diminui, a área adicionada de solda aumenta, e as propriedades como tensão superficial e viscosidade aumentam. Nota-se que isto ocorreu, pois como houve incremento da tensão de soldagem (Tabela 22), aumentando o diâmetro do arco.

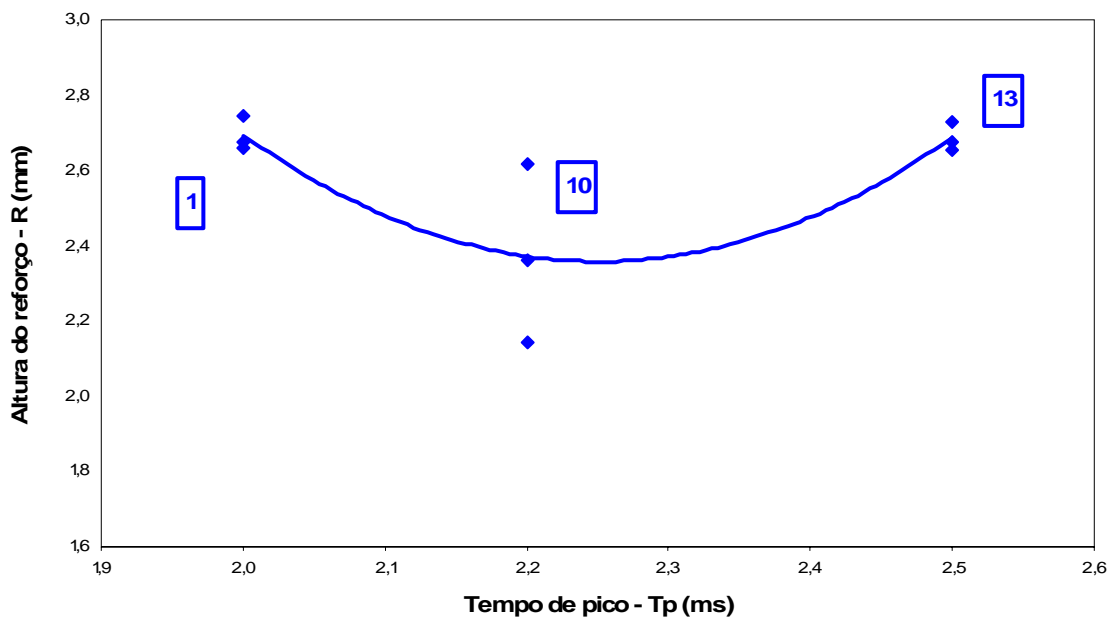


Figura 61 – Influência do tempo de pico (T_p) na altura do reforço (R)

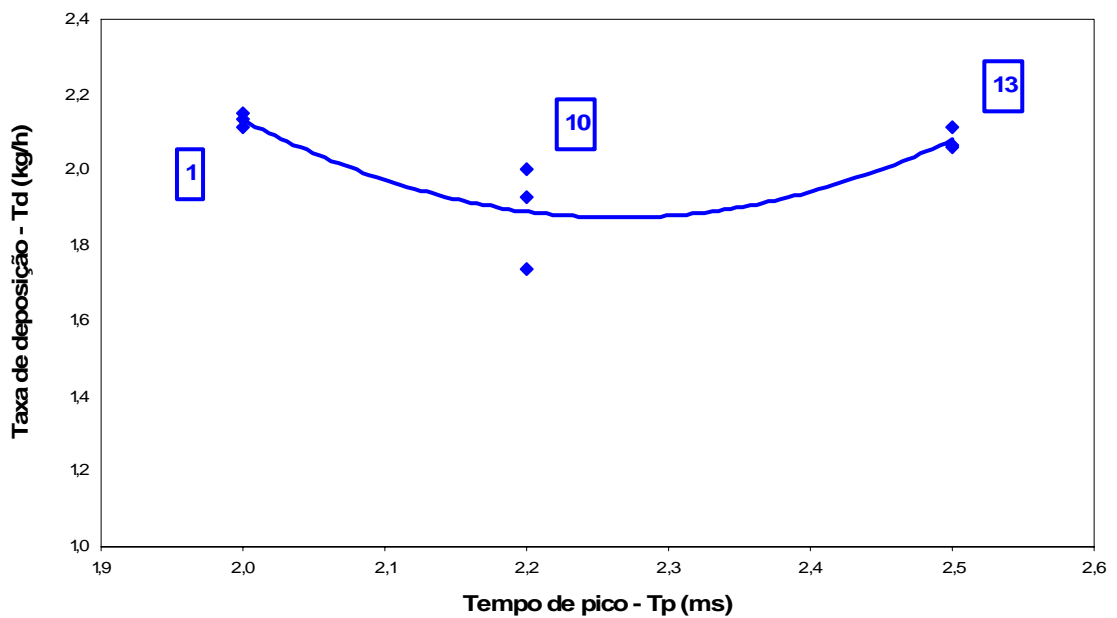


Figura 62 – Influência do tempo de pico (T_p) na taxa de deposição (T_d)

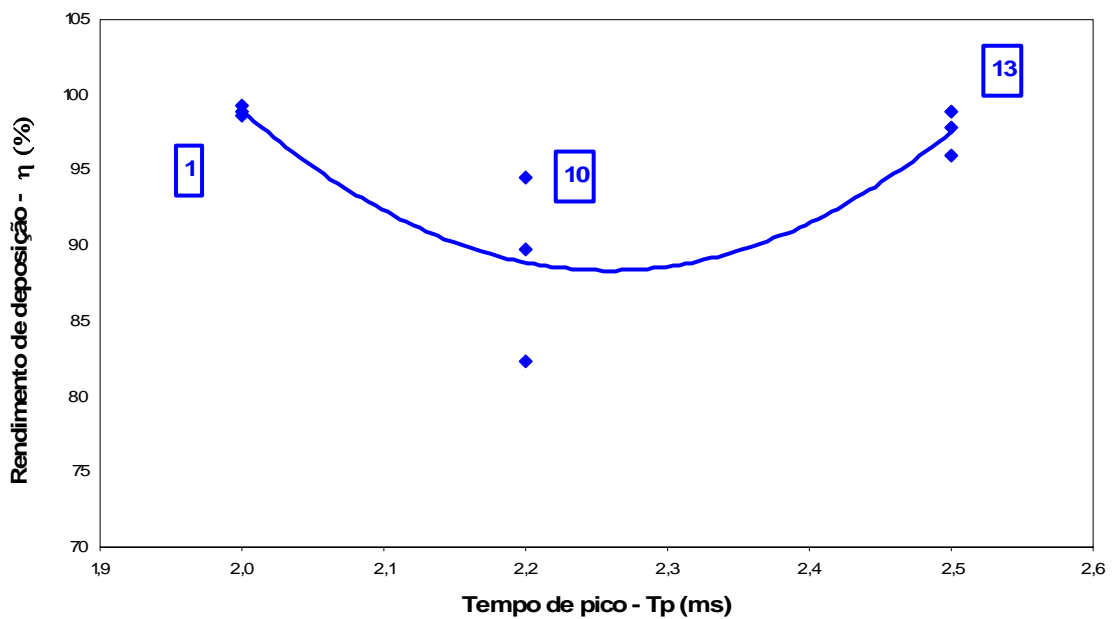


Figura 63 – Influência do tempo de pico (T_p) no rendimento da deposição (η).

Analisando a Figura 64, nota-se que a largura do cordão de solda sofre uma variação para cima de no intervalo de 2,0 a 2,2 ms, isso provavelmente se deve ao aumento da potência do arco, devido a tensão ter se elevado. Conforme relatado por BARROS (1976) apud WAINER et al (1992) a potência do arco, definida pelo produto da corrente e tensão de soldagem, é responsável pela largura do cordão de solda. KOBAYASHI (1987) salienta que o diâmetro do cone do arco aumenta em conjunto com a potência do arco, resultando cordões mais largos.

Em seguida, de 2,2 a 2,5 ms, a largura do cordão se reduz a valores mais baixos que em 2,0 ms. Isso confirma que a queda de tensão, conforme tabela 22, provoca a diminuição da largura do cordão.

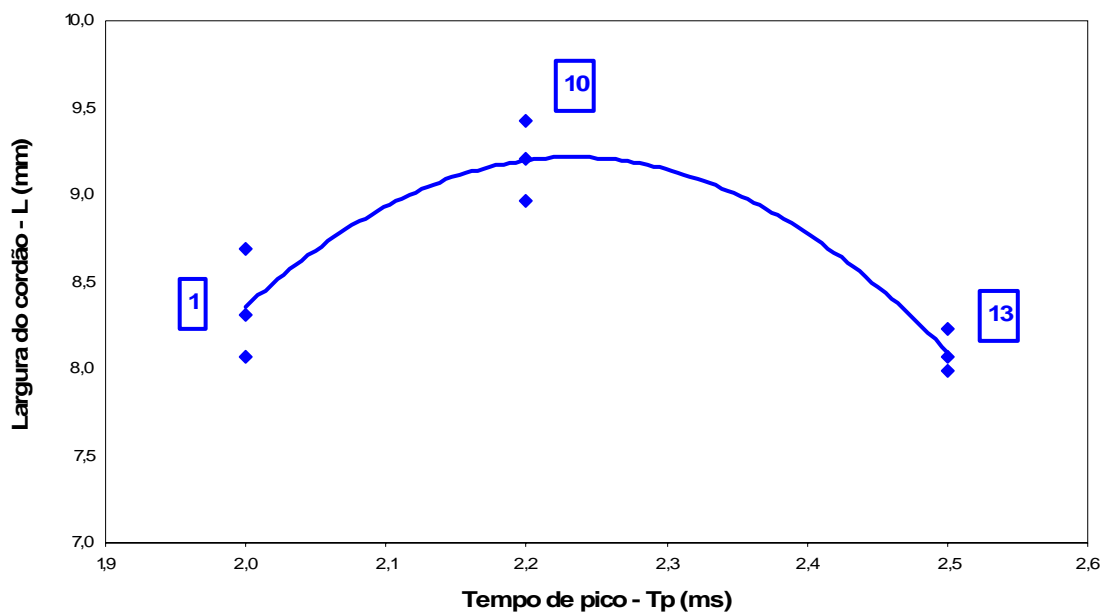


Figura 64 – Influência do tempo (T_p) de pico na largura do cordão (L)

6.2. Influência da Freqüência

Analisando-se a Figura 65, é observado que a largura do cordão de solda diminui com o crescente aumento da freqüência de pulso. A causa provável desta redução é a redução da tensão média de soldagem, de acordo com tabela 22.

Conforme relatado, anteriormente, a redução de tensão provocou a diminuição do diâmetro do cone do arco, e para KOBAYASHI (1987) a largura do cordão de solda é tanto maior quanto maior for o diâmetro do arco.

As Figuras 66 a 69 tiveram comportamento similar. A medida que ocorre o incremento na freqüência de pulso, ocorre aumento na penetração, reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição.

De acordo com a Figura 67, visualiza-se que o aumento da altura do reforço ocorre a medida que a freqüência de pulso sobe, e isso se deve a alta viscosidade e tensão superficial da gota de metal fundido, conforme KOBAYASHI (1987), o que também ocasionou redução da largura do cordão de solda.

Nota-se nas Figuras 68 e 69, que esse acréscimo da na taxa de deposição e rendimento da deposição é obtido devido ao aumento da taxa de fusão, que é descrito pelo manual do fabricante MILLER (1994). O aumento da penetração observado na Figura 66, provavelmente ocorreu devido o aumento do consumo e

temperatura da gota, já que tivemos um aumento da taxa de fusão. Isto se justifica devido ao aumento da frequência do pulso que gera um incremento no calor introduzido na soldagem.

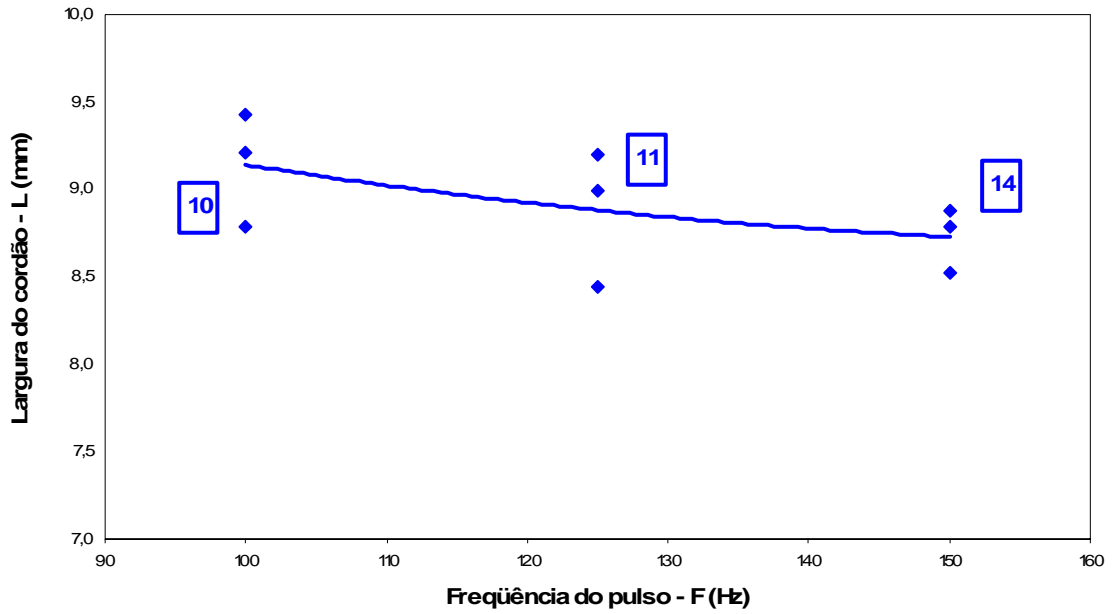


Figura 65 – Influência da frequência (F) na largura do cordão (L).

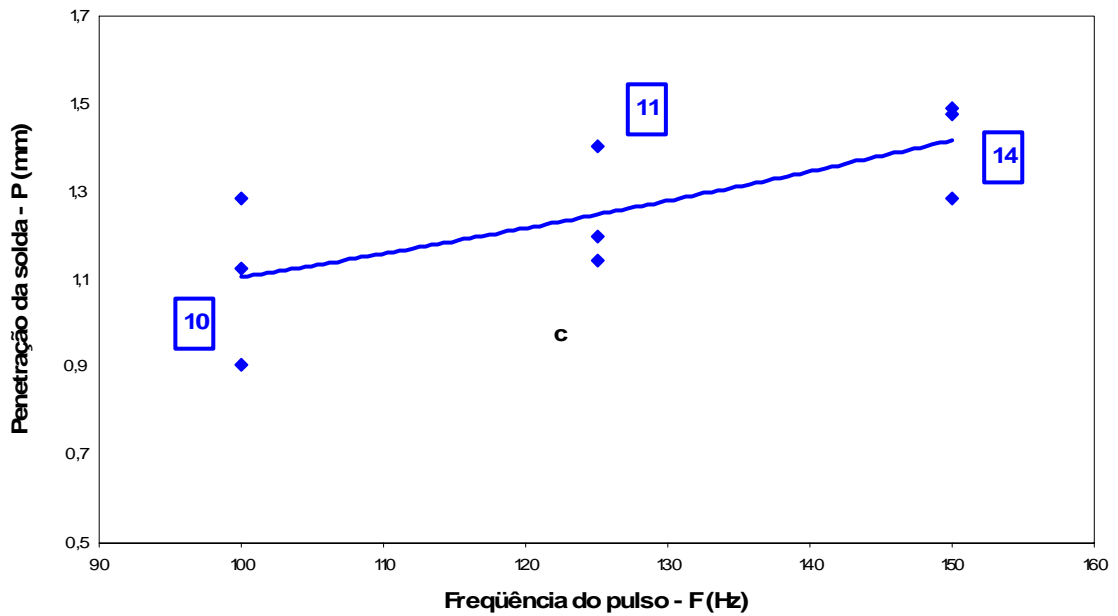


Figura 66 – Influência da frequência (F) na penetração da solda (P).

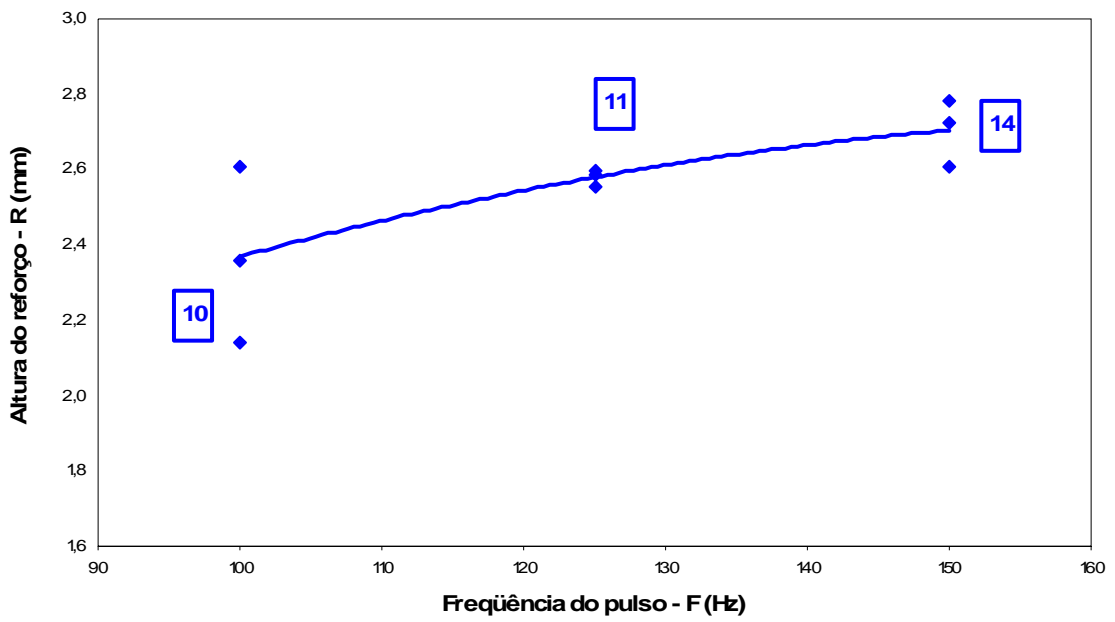


Figura 67 – Influência da freqüência (F) na altura do reforço (R).

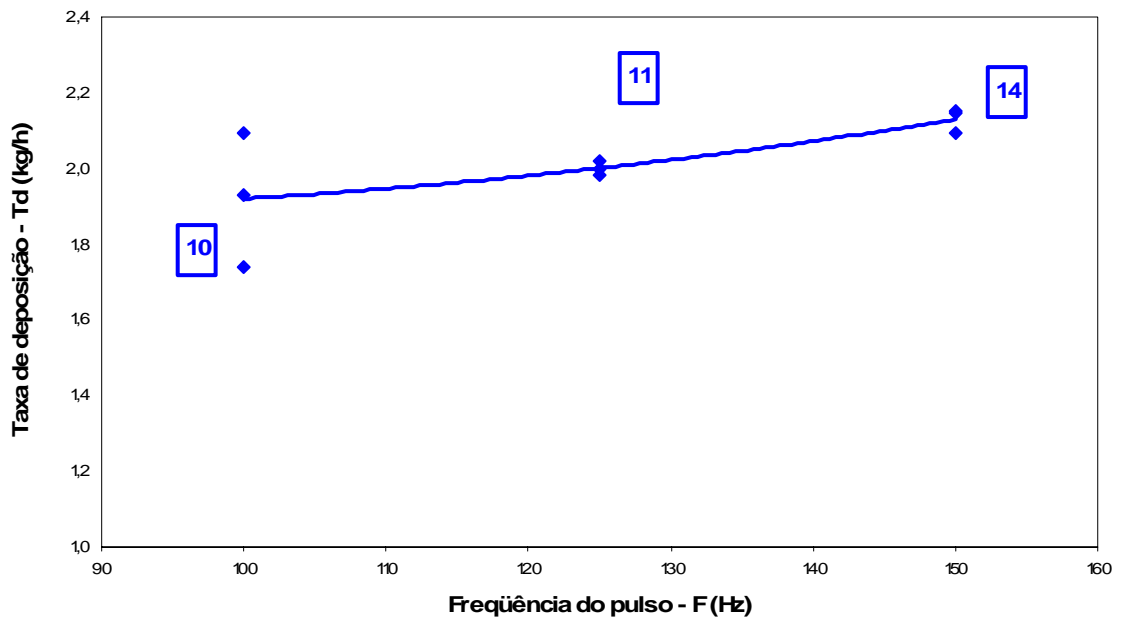


Figura 68 – Influência da freqüência (F) na taxa de deposição (Td).

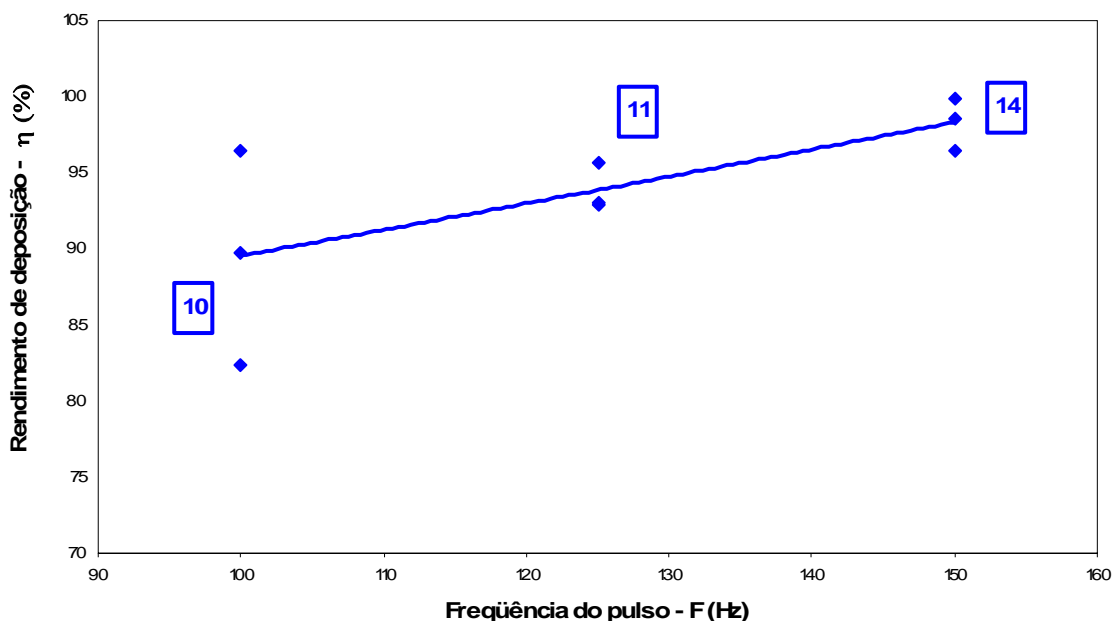


Figura 69 – Influência da frequência (F) no rendimento da deposição (η).

6.3. Influência da corrente de pico e de base

As Figuras 70 a 74 representam o comportamento dos ensaios realizados com variação da corrente de pico, para três correntes de base distintas, 30, 40 e 50 A.

A título de efeito ilustrativo, podem ser observados na Figura 75 a 104, anexo C, D, E, F e G, as curvas com o comportamento da largura do cordão, penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição, respectivamente, para cada valor corrente de pico e corrente de base.

A largura do cordão de solda sofreu incremento com o acréscimo da corrente de base no intervalo de 30 a 40 A, não ocorrendo variação significativa para corrente de base de 50 A. Em relação a corrente de pico, a largura do cordão se manteve praticamente constante, conforme pode ser visualizado na Tabela 32 e Figura 70.

Esse comportamento justifica-se à variação da corrente média, que obteve valores maiores para correntes de base maiores e manteve-se constante com a variação da corrente de pico.

Esta variação da corrente média provocou grandes modificações na tensão superficial e viscosidade do material, que de acordo com KOBAYASHI (1987), influenciam diretamente na largura do cordão de solda. Outro fator que possivelmente influenciou esta variação é a força de arrasto aerodinâmico, a qual

pode influenciar no espalhamento do metal fundido, conforme relatado por MILLS e KEENE (1990).

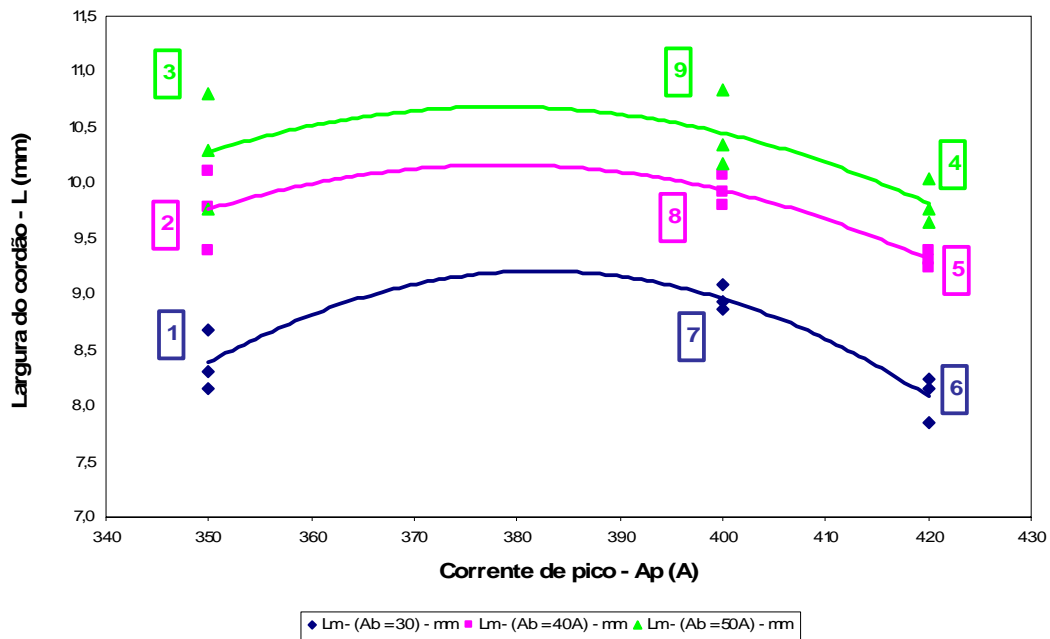


Figura 70 – Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (Ab) na largura do cordão (L).

Outra característica geométrica analisada foi a penetração, a qual se manteve invariável, com a variação das correntes de pico e de base. Embora graficamente sugira variações, Figura 71, esta constância foi comprovada pela análise estatística na Tabela 33, onde foi verificada influência simultânea da corrente de pico e de base. SAITO (2001) obteve os mesmos resultados, com arame tubular e proteção com mistura gasosa e descreve que esta estabilidade da penetração se deve a pequena variação da corrente média, também relatado por POEPCKE (1997).

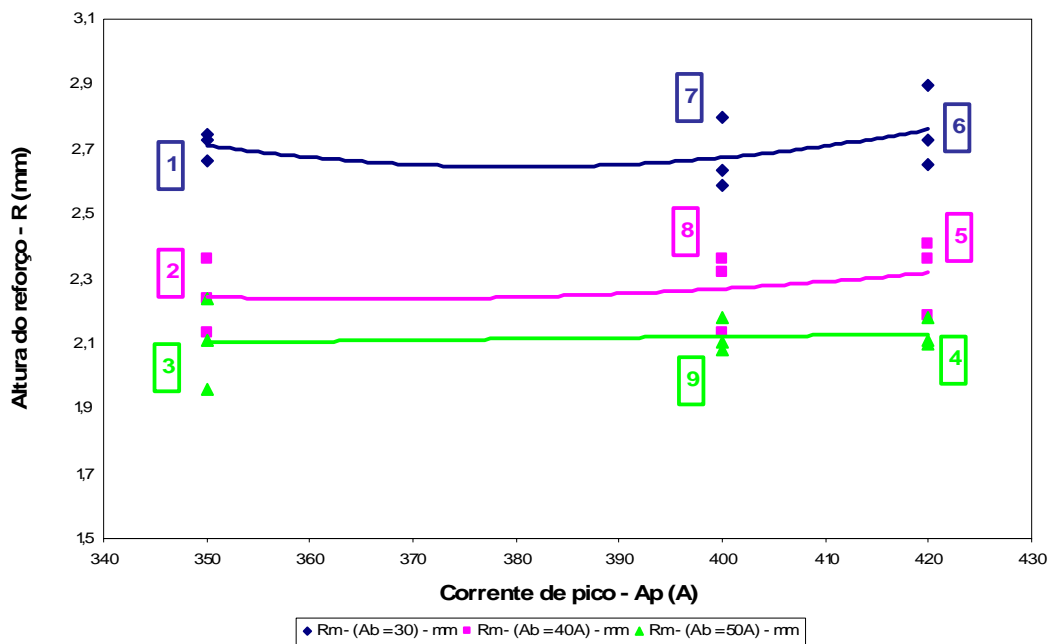


Figura 72 – Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R).

A taxa de deposição manteve-se invariável com a variação da corrente de pico. Porém com a redução da corrente de base houve um acréscimo na taxa de deposição para as correntes de base de 30 e 50 A e para as correntes de pico de 350 e 450 A, não sofrendo variação significativa para a corrente de base de 40 A, de acordo com a Figura 73 e comprovada pela análise estatística na Tabela 35.

Este comportamento apresentado pela taxa de deposição é consequência da corrente média que não sofreu alteração com a variação da corrente de base de 40A, não provocando alterações na taxa de fusão do arame e na taxa de deposição, apresentado na Tabela 22.

Outra consequência deste comportamento observado na taxa de deposição e taxa de fusão (consumo do arame), foi a rendimento de deposição, apresentado na Figura 74.

Apresentou-se invariável com a corrente de pico e apenas sofreu alterações para corrente de base de 30 e 50 A, resultados apresentados na Tabela 36.

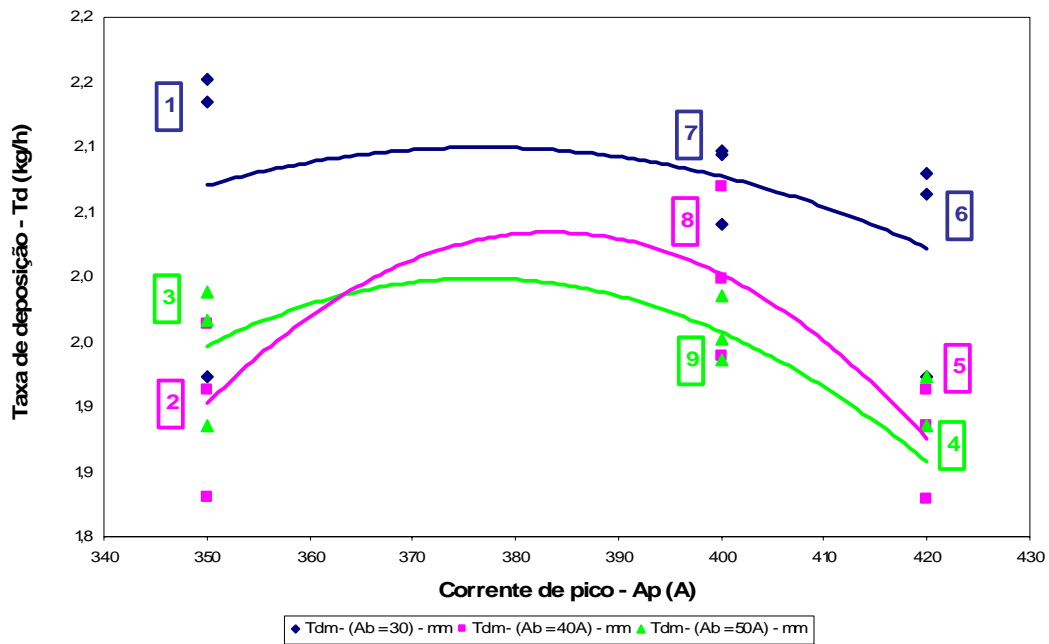


Figura 73 – Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d).

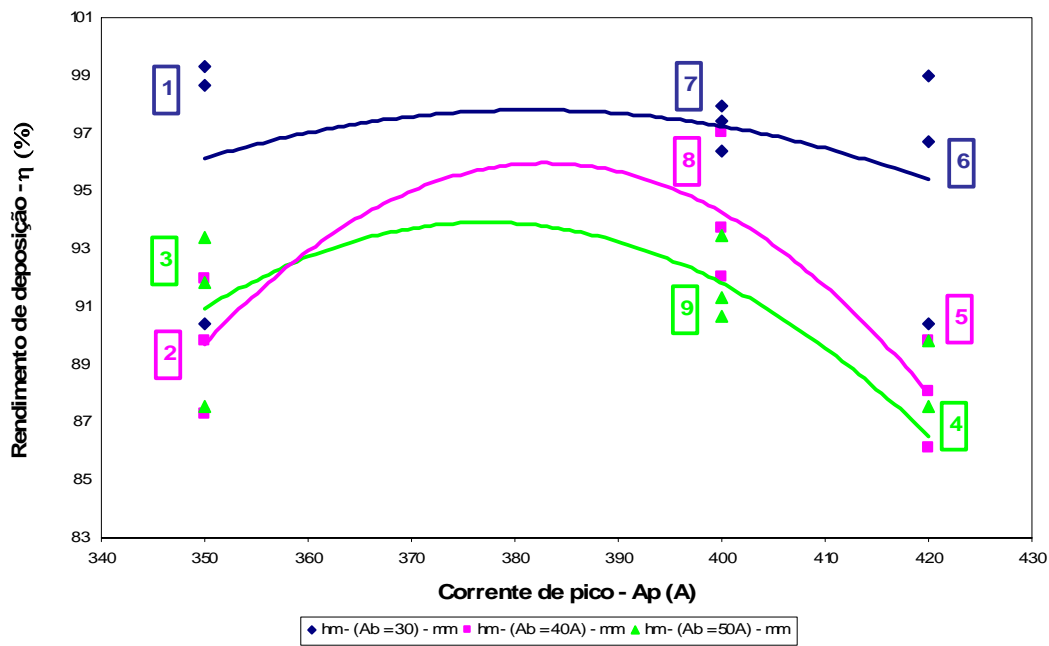


Figura 74 – Influência da corrente de pico (A_p), com variação da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η).

7. CONCLUSÕES

Utilizando as condições de soldagem e parâmetros de pulso propostos para este trabalho pode-se concluir:

- A) A tensão de média exerce grande influência sobre as características geométricas e de desempenho do cordão de solda.
- B) O incremento da frequência de pulso acarretou a redução da largura do cordão de solda e aumento da penetração, altura do reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição, em todas as faixas de variação estudadas, 100 a 150 Hz.
- C) Com o incremento do tempo de pico houve a formação de cordões mais largos, como também a redução na altura do reforço, penetração, taxa de deposição e rendimento de deposição, na faixa de variação de 2,0 a 2,2 ms. Para a faixa de 2,2 a 2,5 ocorreu a situação inversa.
- D) O aumento da corrente de base, de 30 a 40 A, promoveu um incremento na largura do cordão de solda e redução da altura do reforço.
- E) As variações da corrente de pico e de base não influíram na penetração da solda.
- F) O incremento de da corrente de base de 30 a 40 A acarretou uma redução na altura do reforço e aumento na largura do cordão.
- G) A variação da corrente de pico não teve influência sobre largura do cordão, a altura do reforço, taxa de deposição e rendimento de deposição.

8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Ampliar o estudo relacionando o aporte de calor com a variação dos parâmetros de pulso.
- Alterar o tipo de corrente utilizada para corrente contínua e realizar pesquisa com as mesmas condições de soldagem, parâmetros de pulso e arame tubular autoprotégido, comparando com os resultados deste trabalho.
- Aprofundar a análise estatística utilizando análise de multivariáveis.
- Variar a velocidade de soldagem e a distância tocha/peça utilizando os mesmos parâmetros de pulso e arame tubular autoprotégido, comparando com os resultados deste trabalho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A. **Manual de Soldagem**. São Paulo, p11-1 a 11-14, 1992.

ALLUM, C. J. **Welding technology data: pulsed MIG welding sheet 65**. Welding and Metal Fabrication, v.53, n.1, p24-30, 1985.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook**, v.2, 8a ed., Miami, 1991. Cap.5 – Flux cored arc welding, p. 158-190.

AMIM, M. **Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding**. Metal Construction, v.15, n.5, p272-8, 1983.

BARROS NETO, B. de, SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002, P.201-248.

BARROS, S. M. **Processos de soldagem**. PETROBRAS, 1976.

BONISZEWSKI, T. **Self-shielded arc welding**. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd in Association with The Welding Institute, 1992. 222 p.

BOSWORTH, M. R. **Effective heat input in pulsed current gas metal arc welding with solid wire electrodes**. Welding Journal, v.70, n.5, p111s-7s, 1991.

BRAGA, E. de M., FARIAS, J. P., MOTA, C. A. M. da. Um estudo comparativo da soldagem a arame tubular autoprottegido em corrente pulsada. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXIV., 1998, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza, 1998.

BRAGA, E. de M., FARIAS, J. P., MOTA, C. A. M. da. Uma contribuição ao estudo da soldagem a arame tubular autoprottegido em corrente pulsada e tensão constante.

In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXV., 1999, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte, 1999.

CASTNER, H. R. **Gas metal arc welding fume generation using pulsed current.** Welding Journal, february, 1995.

CASTNER, H. R., SINGH, R. **Pulsed vs. steady current gamaw: which louder.** Welding Journal, november, 1997.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos.** São Paulo, Associação Brasileira de Metais, 1977.

CHEN, J.H., SUN, Z.C., FAN, D.,. **Study on the mechanism of spatter produced by basic welding electrodes .** Welding Journal, october, 1996.

CORRÊA, C. A. **Aço inoxidável martensítico aplicado em revestimento pelo processo MIG pulsado e convencional.** 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

COSTA, M. C. M. de, BRACARENSE, A. de O. Estudo da influência da corrente de soldagem com arame tubular na quantidade de hidrogênio difusível no metal de solda. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXV, 1999, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte, 1999.

COSTA, U. P. da. **O estado da arte nos processos MIG-MAG e arame tubular.** Soldagem & Materiais, v.6, p.6-8, 1994.

FARIAS, J. P. Efeito dos parâmetros de soldagem sobre as características operacionais e econômicas de arame tubulares autoprotetidos. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXII., 1996, Blumenau. **Anais...**Blumenau, 1997. p. 827-32.

FONSECA, J. S. da, MARTINS, G de A. **Comparação de várias médias: análise de variância.** In:____.Concurso de Estatística. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1981, p221-53.

FRENCH, I. E., BOSWHORT, M. R. **A comparison of pulsed and conventional welding with basic flux cored and metal cored wires.** Welding Journal, june, 1995.

GAREIS, B. Universidade Federal da Paraíba. Associação Brasileira de Soldagem. **A soldagem simples como ela é.** Recife: Serviço Alemão de Cooperação Técnica e Social, 1994. 9v. p.183-214.

GHOSH, P. K. et al. **Influence of pulse parameters on bead geometry and HAZ during bead on plate Deposition by MIG welding process.** Welding Journal, 1991.

GHOSH, P. K., GUPTA, P. C., GOYAL, V. K. **Stainless cladding of structural and steel plate using pulsed current GMAW process.** Welding Journal, july, 1996.

GONZÁLES, A. M. R., DUTRA, J. C. Análise e desenvolvimento do processo MIG-MAG duplo arame com potencial único. **Soldagem & Inspeção**, ano 6, n.10, 2000, p.9-16.

GUNARAJ, V.,MURUGAN N. **Prediction and optimization of weld bead volume for the submerged arc process – part1.** Welding Journal, october, 2000, p.286s-294s.

GUNARAJ, V.,MURUGAN N. **Prediction and optimization of weld bead volume for the submerged arc process – part2.** Welding Journal, november, 2000, p.331s-338s.

JACKSON, C. E. **The science of arc welding.** Welding Journal, 1960.

KOBAYASHI, Y. **Influência da composição do revestimento de eletrodos básicos sobre as características econômicas e operacionais.** 1987. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1987.

LANCASTER, J. F. **Metallurgy of welding.** 6ed. England: Ed. Abungton Publishing, 1999.

LANCASTER, J. F. **The physics of welding.** Internacional Institute of Welding, England, Pergamon Press, 1984. 297p.

LINCOLN ELETRIC. **Innershield electrode selection guide.** Miame – USA,2004.

LUZ, T. S. Efeito do tipo de gás de proteção sobre o desempenho do arame tubular AWS E71T-1. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, XVI, 2001. Fortaleza. **Anais...**Fortaleza, 2001. p. 129-137.

MACHADO, I. G. A economia da soldagem. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXI, 1995, Caxias do sul. **Anais...**Caxias do Sul,1995. p. 999-1013.

MILLER ELETRIC Mfg. Co. GMAW-P (pulsed MIG): Process Guide. USA, may, 1994.

MILLS, K. C., KEENE, B. J. **Factors affecting variable weld penetration.** International Material Reviews, v.35, n.4, p.185-216, 1990.

MINNICK, W. H. **Flux cored arc welding handbook.** The Goodheart-Willcox Company, 1999.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, C. G. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003, p.268-346.

MOSELLI, P. C., **Efeito dos parâmetros de pulso nas propriedades.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

NAGADO, C. M. **Estudo da soldagem de chapas finas de alumínio, pelos processos MIG pulsado, MIG convencional e TIG, analisando acabamento superficial, características geométricas do cordão de solda e distorções.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

NEEDHAM, J. C., CARTER, A. W. **Material transfer characteristics with pulsed current.** Welding Journal, may, 1965.

NEEDHAM, J. C. **Boletim técnico CONARCO n.87**, p.9, 1987

NORRISH, J. **Advanced welding processes.** New York, NY: IOP Publishing Ltd, 1992. Cap.4: Filler Materials for Arc Welding, p. 57-74.

NORRISH, J., NIXON, J. **A history of pulsed mig welding joining and material.** v.6, p.264-5, 1989.

OLIVEIRA SANTOS, J. F., QUINTINI, L., MEDEIROS, R. C. **Arames tubulares à soldagem MIG com transferência controlada.** Soldagem e Materiais, v.1, n.4, p44-49, 1989.

ORDÓÑEZ, R. E. C. **Soldagem e caracterização das propriedades mecânicas de dutos de aço API 5L-X80 com diferentes arames tubulares.** 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PEKKARI, B. **The future of welding and joining.** The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol 59, 2004.

PEREIRA, W. A. **Comparação de características operacionais entre os processos MIG pulsado e MAG curto-circuito.** 1995. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1995.

POEPCKE, J.S. **Processo com arame tubular.** In: ZIEDAS, S., TATINI, I., Coleção Tecnológica SENAI: Soldagem, São Paulo: SENAI, 1997, P.205-211.

RANDHAWA, H. S. et al. **Geometrical characteristics of pulsed current positional GMA weld.** ISIJ International, v.38, 1998.

SAITO, M. S. **Análise da influência dos parâmetros de pulso sobre a geometria do cordão de solda e rendimento de deposição, obtidos pelo processo de soldagem com arame tubular utilizando corrente pulsada.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

SANTOS NETO, N. F. D. **Caracterização de soldas em aços API 5L com diferentes arames tubulares e temperaturas de pré aquecimento.** 2003. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SCHILIK, R. **Influência dos consumíveis no custo final da soldagem de estruturas metálicas situação presente.** Soldagem e Materiais, v.3, n.4, p.20-4, 1991.

SCOTTI, A. et al. **Bead instability of mechanized P_MIG welding in vertical-up position.** The International Journal for Joining of Materials, v. 3, 1991.

SOUZA, P. C. R. D. **Análise da transferência metálica na soldagem com arame tubular.** São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOUZA, P. C. R. D. de, BRANDI, S. D., Análise da transferência metálica na soldagem a arco elétrico com arame tubular. **Soldagem & Inspeção**, ano 6, n.10, 2000, p.1-8.

SPIEGEL, M. R. **Estatística.** 3 ed. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora, 1993, p.515-530

SURIAN, E., MOTA, C. A. M. da., FARIAS, J. P. Efeito do tipo de fonte nas características operacionais e econômicas de arame tubulares autoprotetidos. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, XXIII, 1997 São Paulo. **Anais...**São Paulo, 1997. p. 227-35.

TACKEUCHI, Y., SHINODA T. **Spatter and blowhole formation phenomena in pulsed gas shielded metal arc welding.** Materials Science and Technology, v.7, n.9, p.869-876, 1991.

VOORT, G. F. V. **Metallography, principles and practice.** New York: McGraw-Hill, 1984. p.1-60, 509-62.

WAINER, E., BRANDI, S. D., DE MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1992.

ZARUBA, I. I. **Mechanism of metal spatter during are welding.** Automatic Welding, 1970.

ANEXO A – MEDIDAS COLETADAS NO PROJETO DE PERFIL.

d _e (mm)			d _i (mm)						
d _{e0}	d _{e1}	d _{e final}	d _{iv0}	d _{iv1}	d _{iv final}	d _{ih0}	d _{ih1}	d _{ih final}	d _{i final}
0,808	1,982	1,174	0,335	1,006	0,671	1,659	2,278	0,619	0,645
3,375	4,526	1,151	2,918	3,579	0,661	3,831	4,511	0,680	0,671
6,644	7,796	1,152	6,216	6,856	0,640	3,024	3,729	0,705	0,673
5,895	7,047	1,152	5,302	6,043	0,741	5,322	5,978	0,656	0,699
1,403	2,544	1,141	0,846	1,498	0,652	7,160	7,845	0,685	0,669
3,576	4,725	1,149	3,018	3,654	0,636	6,561	7,274	0,713	0,675
7,475	8,631	1,156	6,887	7,624	0,737	6,949	7,576	0,627	0,682
6,525	7,673	1,148	5,868	6,614	0,746	9,147	9,782	0,635	0,691
0,673	1,826	1,153	0,904	1,523	0,619	11,255	11,974	0,719	0,669
4,989	6,141	1,152	5,207	5,873	0,666	9,969	10,655	0,686	0,676
8,317	9,465	1,148	9,501	10,137	0,636	10,411	11,091	0,680	0,658
Média		1,152	Média		0,673	Média		0,673	0,673
Variância		0,000	Variância		0,002	Variância		0,001	0,000
Desvio Padrão		0,008	Desvio Padrão		0,046	Desvio Padrão		0,035	0,014

Valores em cinza foram coletados no projetor de perfil

Tabela 24 - Medidas do diâmetro interno na vertical (d_{iv0} e d_{iv1}), horizontal (d_{ih0} e d_{ih1}), e diâmetro externo (d_{e0} e d_{e1}) coletadas no projetor de perfil.

ANEXO B – RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIANCIÁ.

Tabela 25 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em P para $AP = 350$ A; $Ab = 30A$ e $Tp = 2,2$ ms

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,755013	2	0,377506	13,9886	9,39E-05	3,402832
Dentro dos grupos	0,647681	24	0,026987			
Total	1,402694	26				

Teste de Tukey	T =	0,193
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

F1 - F2	F1-F3	F2-F3
0,238	0,408	0,169

Tabela 26 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em R para $AP = 350$ A; $Ab = 30A$ e $Tp = 2,2$ ms

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,501449	2	0,750725	21,20895	4,96E-06	3,402832
Dentro dos grupos	0,849518	24	0,035397			
Total	2,350967	26				

Teste de Tukey	T =	0,221
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

F1 - F2	F1-F3	F2-F3
0,208	0,362	0,571

Tabela 27 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em Td para $AP = 350$ A; $Ab = 30A$ e $Tp = 2,2$ ms

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,087034	2	0,043517	6,527931	0,031215	5,143249
Dentro dos grupos	0,039998	6	0,006666			
Total	0,127031	8				

Teste de Tukey	T =	0,205
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

F1 - F2	F1-F3	F2-F3
0,111	0,241	0,129

Tabela 28 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de F em η para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $Tp = 2,2$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	133,3396	2	66,66979	4,608139	0,06131	5,143249
Dentro dos grupos	86,807	6	14,46783			
Total	220,1466	8				

Teste de Tukey	T =	9,531
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

F1 - F2	F1-F3	F2-F3
4,963	9,424	4,461

Tabela 29 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em L para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5,508898	2	2,754449	25,96775	9,94E-07	3,402832
Dentro dos grupos	2,545726	24	0,106072			
Total	8,054625	26				

Teste de Tukey	T =	0,383
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

Tp1 - Tp2	Tp1 - Tp3	Tp2 - Tp3
0,553	0,553	1,106

Tabela 30 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em P para $AP = 350$ A; $Ab = 30$ A e $F = 100$ Hz

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,566618	2	0,283309	5,078427	0,014481	3,402832
Dentro dos grupos	1,338883	24	0,055787			
Total	1,905501	26				

Teste de Tukey	T =	0,278
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

Tp1 - Tp2	Tp1 - Tp3	Tp2 - Tp3
0,193	0,161	0,354

Tabela 31 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em R para $AP = 350 A$; $Ab = 30A$ e $F = 100Hz$

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,502357	2	0,251178	6,051816	0,007446	3,402832
Dentro dos grupos	0,996111	24	0,041505			
Total	1,498468	26				

Teste de Tukey	T =	0,240
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

Tp1 - Tp2	Tp1 - Tp3	Tp2 - Tp3
0,254	0,061	0,315

Tabela 32 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em Td para $AP = 350 A$; $Ab = 30A$ e $F = 100Hz$

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,08676	2	0,04338	5,744424	0,04038	5,143249
Dentro dos grupos	0,04531	6	0,007552			
Total	0,13207	8				

Teste de Tukey	T =	0,218
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

Tp1 - Tp2	Tp1 - Tp3	Tp2 - Tp3
0,223	0,033	0,190

Tabela 33 - Resultado análise de Variância fator único - Influência de Tp em η para $AP = 350 A$; $Ab = 30A$ e $F = 100Hz$

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	151,0402	2	75,52009	4,920346	0,054341	5,143249
Dentro dos grupos	92,0912	6	15,34853			
Total	243,1314	8				

Teste de Tukey	T =	9,817
----------------	-----	-------

Diferença entre as médias

Tp1 - Tp2	Tp1 - Tp3	Tp2 - Tp3
8,714	0,047	8,667

Tabela 34 - Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de A_p e A_b em L para $F = 100$ Hz e $T_p = 2,0$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	43,220724	2	21,61036	128,0862	1,92E-24	3,123901
Colunas	8,8195821	2	4,409791	26,13715	2,93E-09	3,123901
Interações	0,7489021	4	0,187226	1,109699	0,358676	2,498922
Dentro	12,147649	72	0,168717			
Total	64,936857	80				

T=	0,804
----	-------

Diferença entre as médias

	Ap1-Ap2	Ap1-Ap3	Ap2-Ap3		Ab1-Ab2	Ab1-Ab3	Ab2-Ab3
Ab1	0,315	0,565	0,880	Ap1	1,295	2,045	0,750
Ab2	0,003	0,626	0,622	Ap2	0,976	1,491	0,515
Ab3	0,238	0,872	0,634	Ap3	1,234	1,737	0,504

Tabela 35 - Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de A_p e A_b em P para $F = 100$ Hz e $T_p = 2,0$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,2115599	2	0,10578	2,033517	0,138324	3,123901
Colunas	0,0873681	2	0,043684	0,839783	0,435989	3,123901
Interações	0,0347466	4	0,008687	0,166992	0,95449	2,498922
Dentro	3,7453118	72	0,052018			
Total	4,0789863	80				

T=	0,447
----	-------

Diferença entre as médias

	Ap1-Ap2	Ap1-Ap3	Ap2-Ap3		Ab1-Ab2	Ab1-Ab3	Ab2-Ab3
Ab1	0,049	0,067	0,018	Ap1	0,122	0,098	0,024
Ab2	0,115	0,061	0,054	Ap2	0,056	0,069	0,013
Ab3	0,078	0,010	0,087	Ap3	0,128	0,175	0,047

Tabela 36 - Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de A_p e A_b em R para $F = 100$ Hz e $T_p = 2,0$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	4,9776119	2	2,488806	55,50124	2,6E-15	3,123901
Colunas	0,187369	2	0,093685	2,089197	0,131227	3,123901
Interações	0,0171907	4	0,004298	0,09584	0,983478	2,498922
Dentro	3,228649	72	0,044842			
Total	8,4108206	80				

T=	0,415
----	-------

Diferença entre as médias

	Ap1-Ap2	Ap1-Ap3	Ap2-Ap3		Ab1-Ab2	Ab1-Ab3	Ab2-Ab3
Ab1	0,048	0,135	0,087	Ap1	0,441	0,579	0,138
Ab2	0,086	0,134	0,048	Ap2	0,403	0,551	0,148
Ab3	0,076	0,083	0,007	Ap3	0,442	0,631	0,189

Tabela 37 - Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de A_p e A_b em T_d para $F = 100$ Hz e $T_p = 2,0$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,135214	2	0,067607	16,20797	9,43E-05	3,554561
Colunas	0,0410196	2	0,02051	4,916978	0,019782	3,554561
Interações	0,012944	4	0,003236	0,775791	0,555205	2,927749
Dentro	0,075082	18	0,004171			
Total	0,2642595	26				

T=	0,135
----	-------

Diferença entre as médias

	Ap1-Ap2	Ap1-Ap3	Ap2-Ap3		Ab1-Ab2	Ab1-Ab3	Ab2-Ab3
Ab1	0,035	0,090	0,055	Ap1	0,206	0,185	0,021
Ab2	0,096	0,030	0,126	Ap2	0,076	0,120	0,044
Ab3	0,031	0,069	0,100	Ap3	0,147	0,165	0,018

Tabela 38 - Resultado análise de Variância fator duplo com repetição - Influência de A_p e A_b em η para $F = 100$ Hz e $T_p = 2,0$ ms

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	266,6487	2	133,3243	16,54955	8,35E-05	3,554561
Colunas	91,511268	2	45,75563	5,679647	0,012239	3,554561
Interações	26,214311	4	6,553578	0,813496	0,532946	2,927749
Dentro	145,00925	18	8,056069			
Total	529,38352	26				

T=	5,916
----	-------

Diferença entre as médias

	Ap1-Ap2	Ap1-Ap3	Ap2-Ap3		Ab1-Ab2	Ab1-Ab3	Ab2-Ab3
Ab1	0,360	2,229	1,869	Ap1	7,897	7,064	0,833
Ab2	4,556	1,726	6,282	Ap2	2,981	5,436	2,455
Ab3	1,268	4,031	5,299	Ap3	7,394	8,866	1,471

ANEXO C – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA LARGURA DO CORDÃO DE SOLDA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.

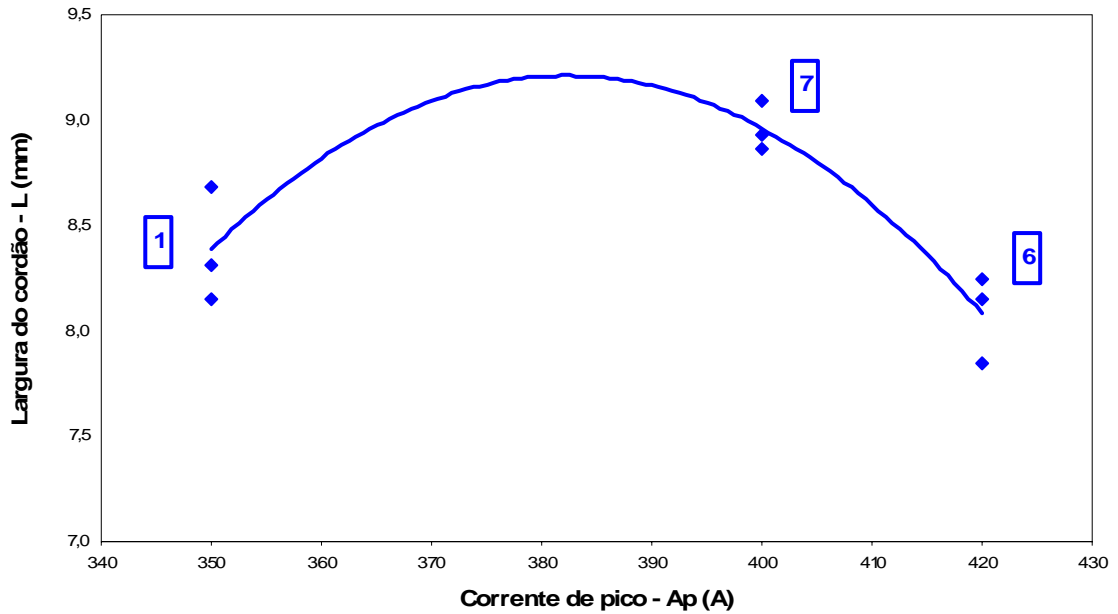


Figura 75 – Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $Ab=30A$.

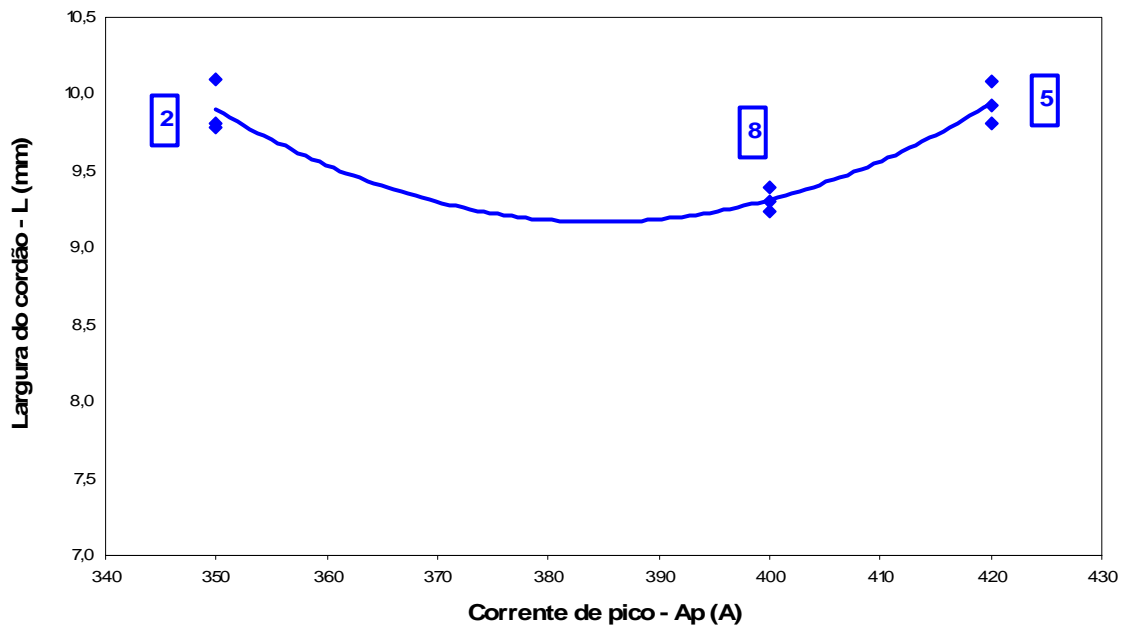


Figura 76 – Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $Ab=40A$.

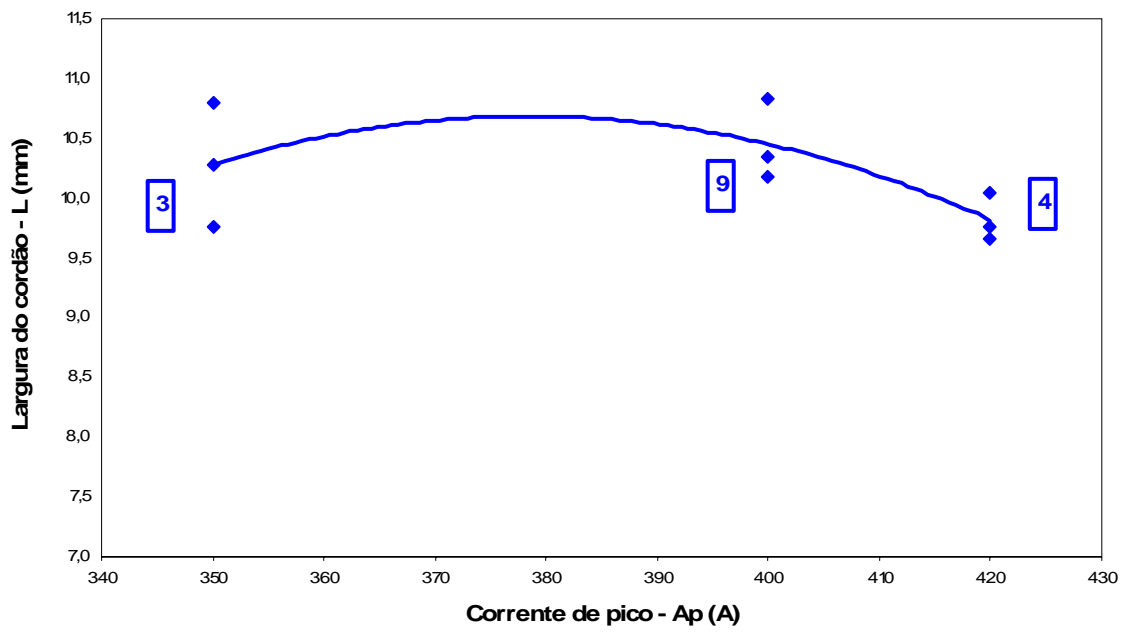


Figura 77 – Influência da corrente de pico (A_p) na largura do cordão (L) para $A_b=50A$.

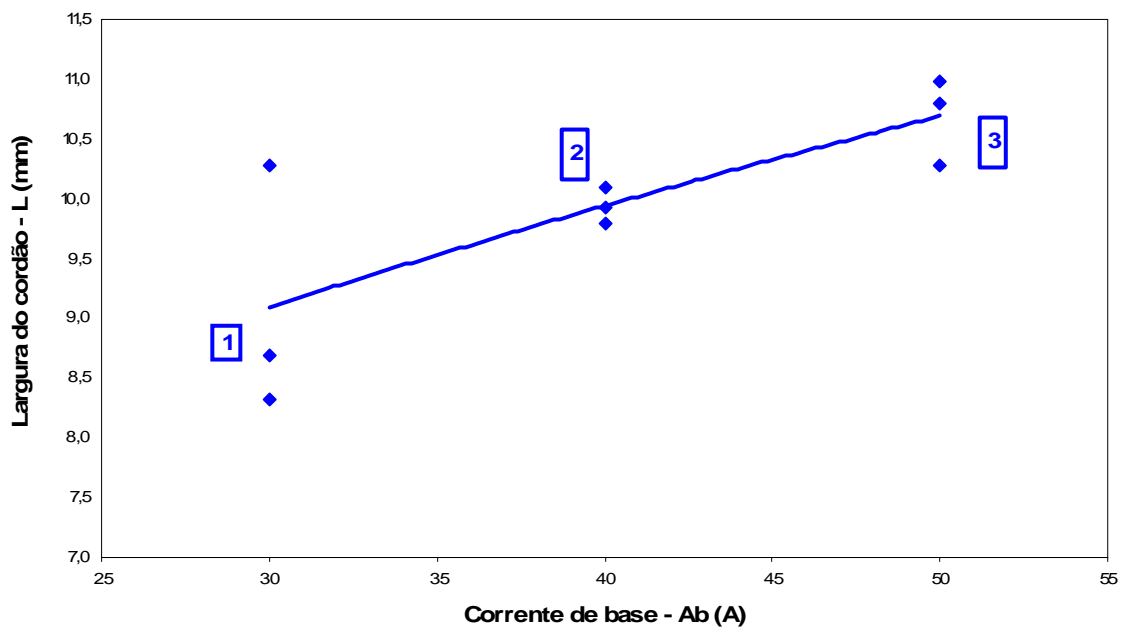


Figura 78 – Influência da corrente de base (A_b) na largura do cordão (L) para $A_p=350A$.

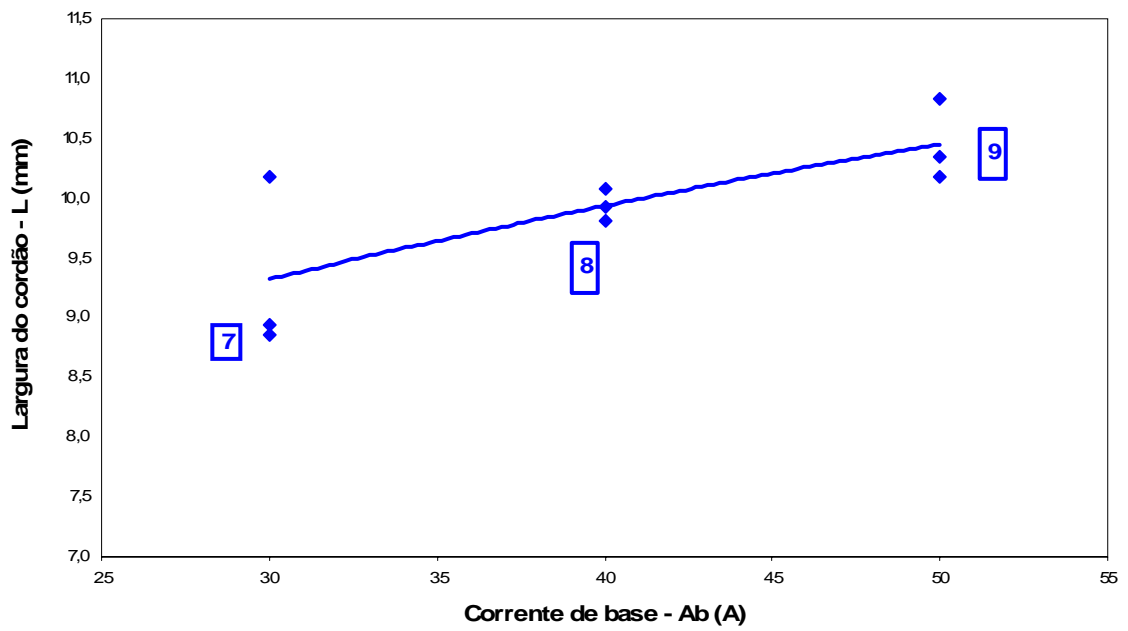


Figura 79 – Influência da corrente de base (Ab) na largura do cordão (L) para $Ap=400A$.

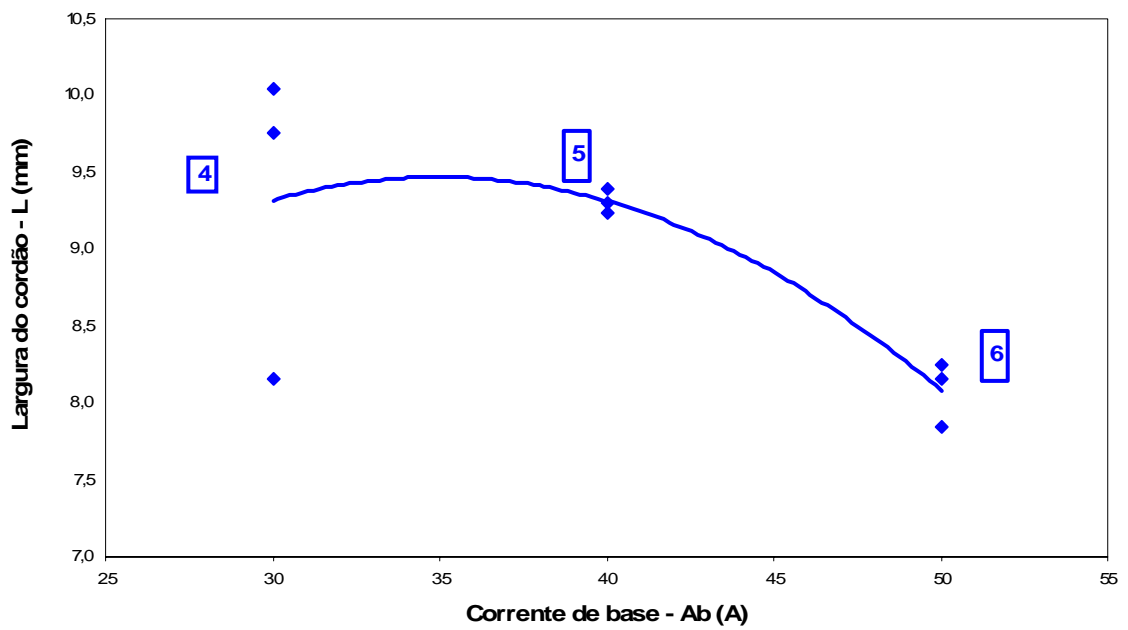


Figura 80 – Influência da corrente de base (Ab) na largura do cordão (L) para $Ap=420A$.

ANEXO D – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA PENETRAÇÃO DE SOLDA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.

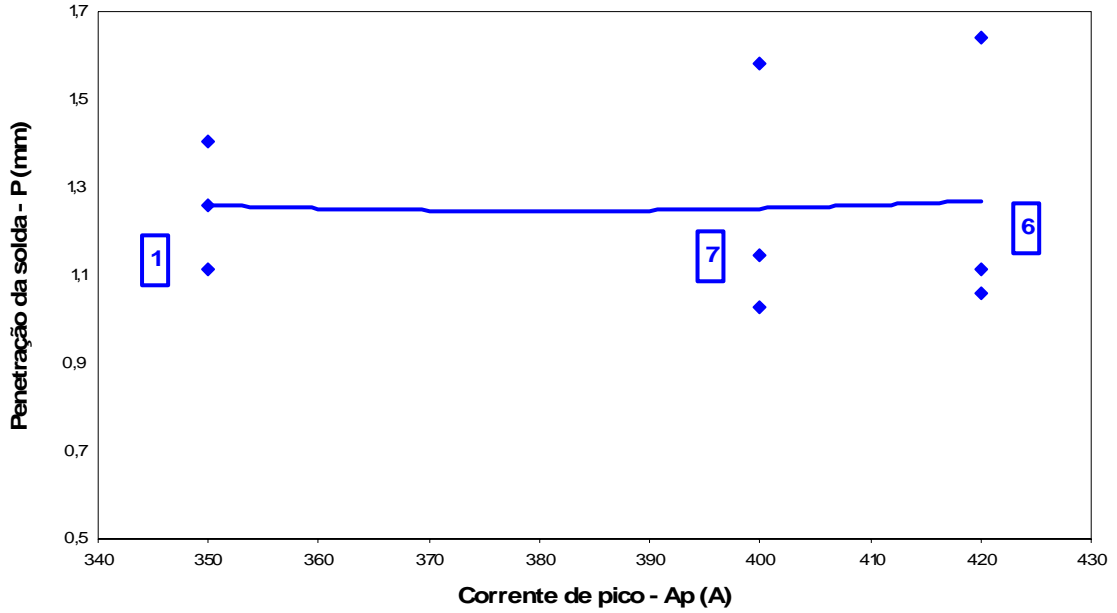


Figura 81 – Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $Ab=30A$.

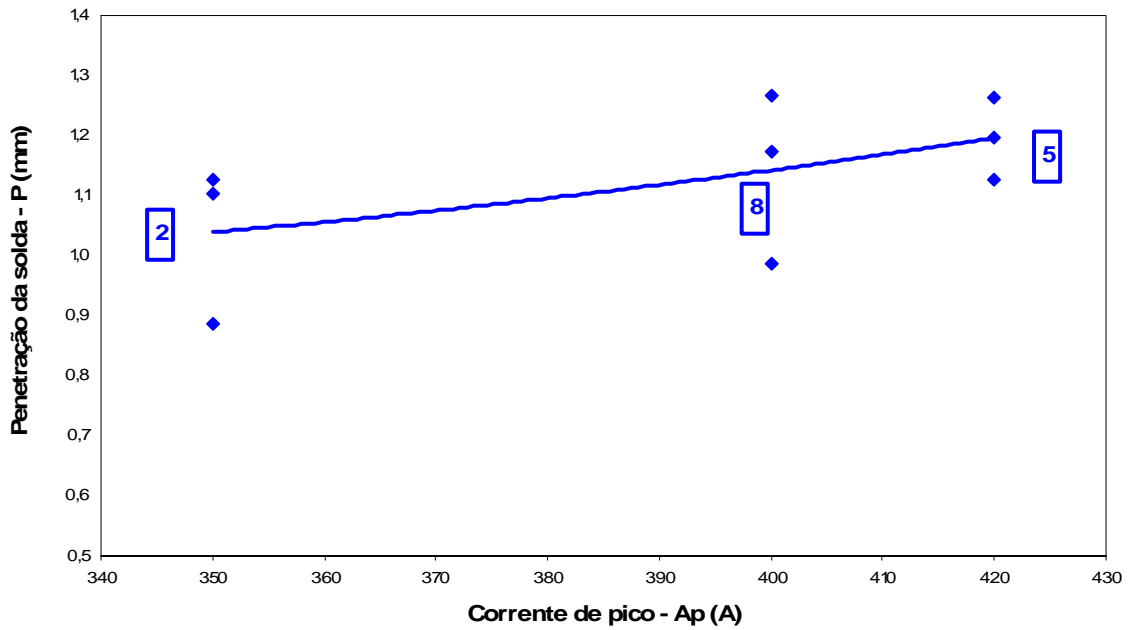


Figura 82 – Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $Ab=40A$.

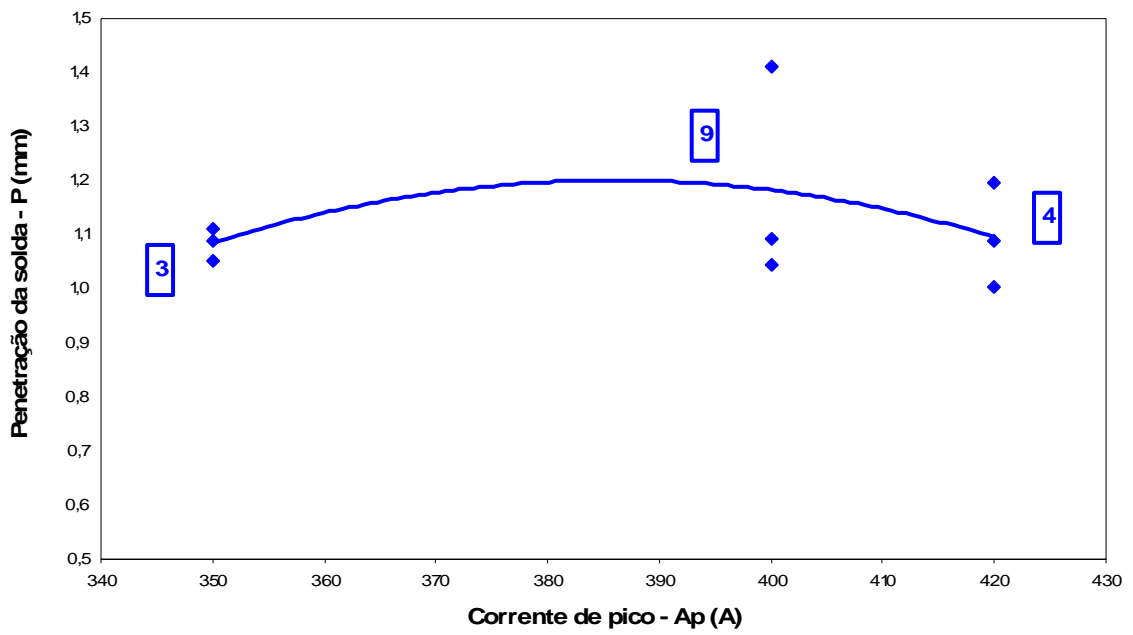


Figura 83 – Influência da corrente de pico (A_p) na penetração da solda (P) para $A_b=50A$.

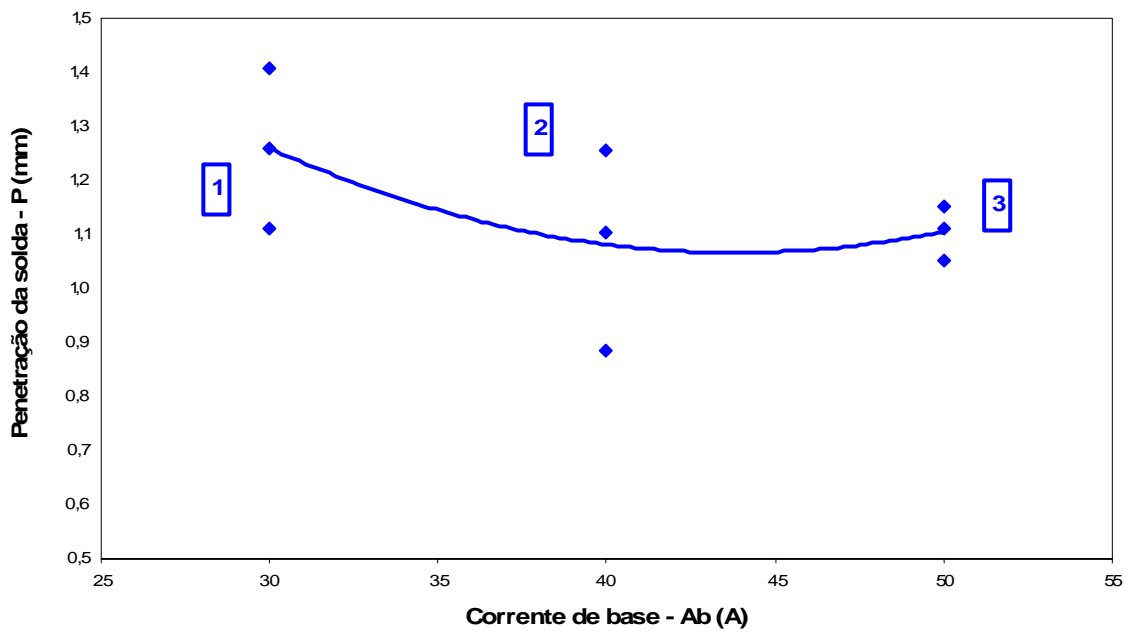


Figura 84 – Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=350A$.

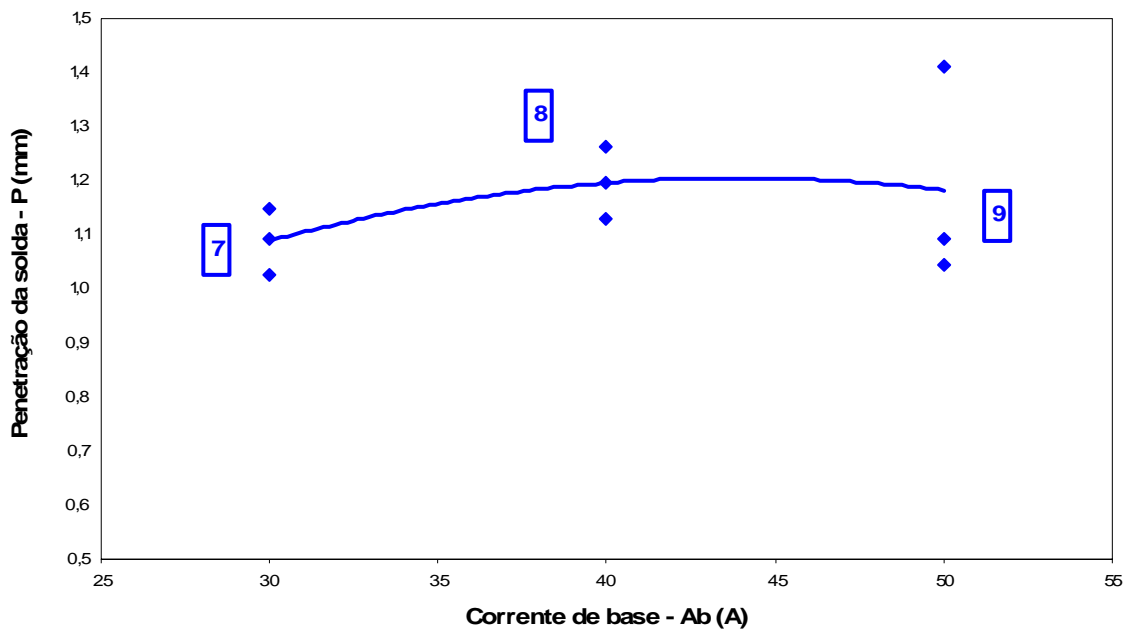


Figura 85 – Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=400A$.

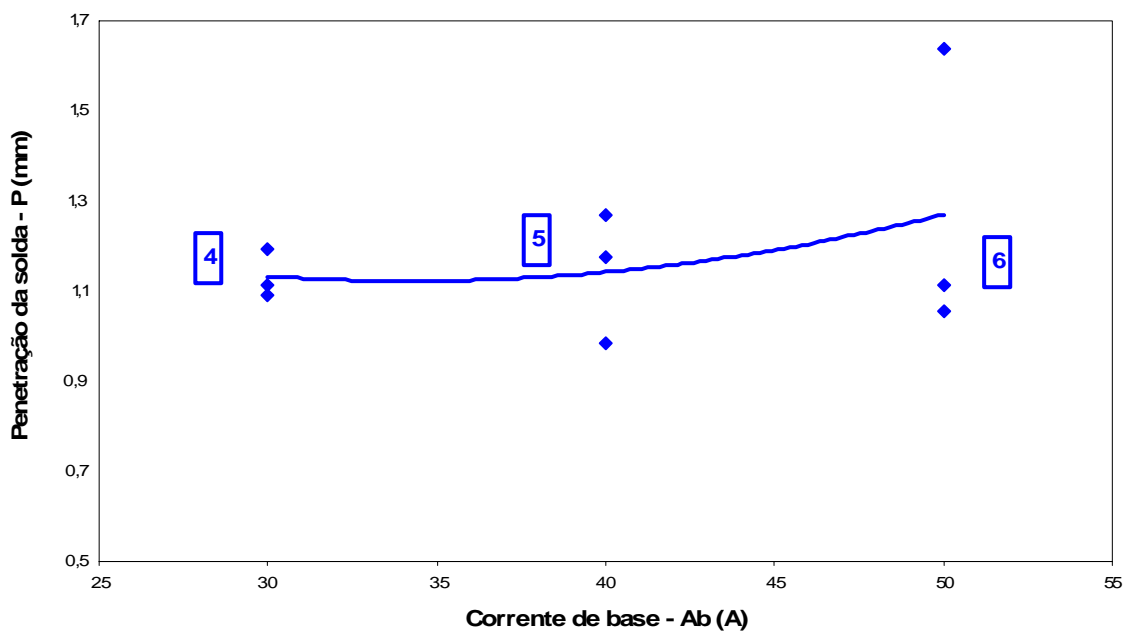


Figura 86 – Influência da corrente de base (A_b) na penetração da solda (P) para $A_p=420A$.

ANEXO E – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DA ALTURA DO REFORÇO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.

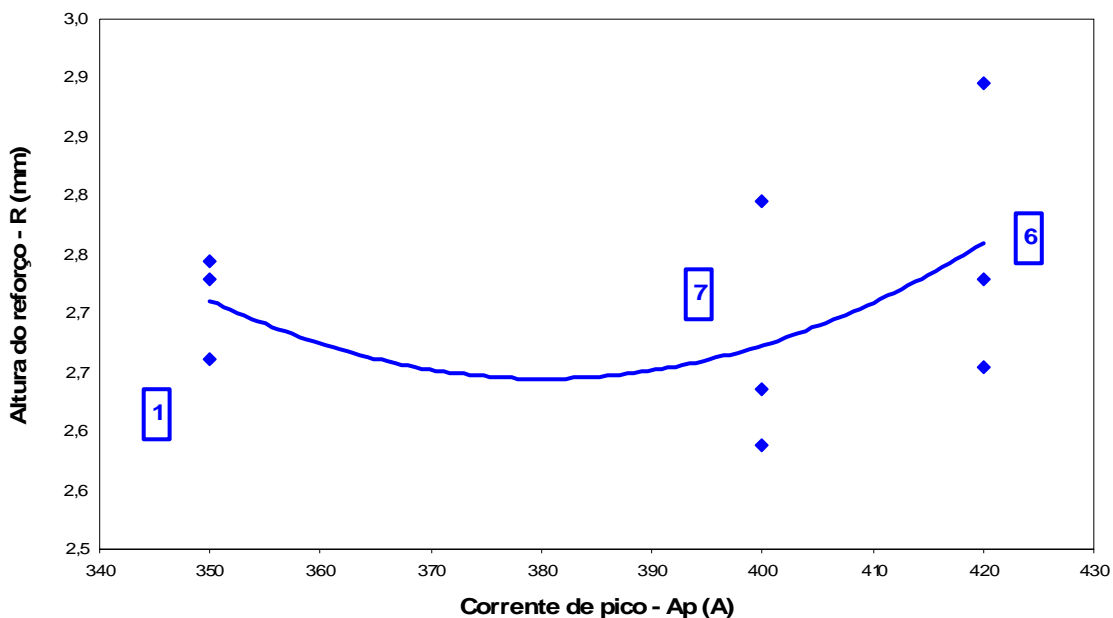


Figura 87 – Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $Ab=30A$.

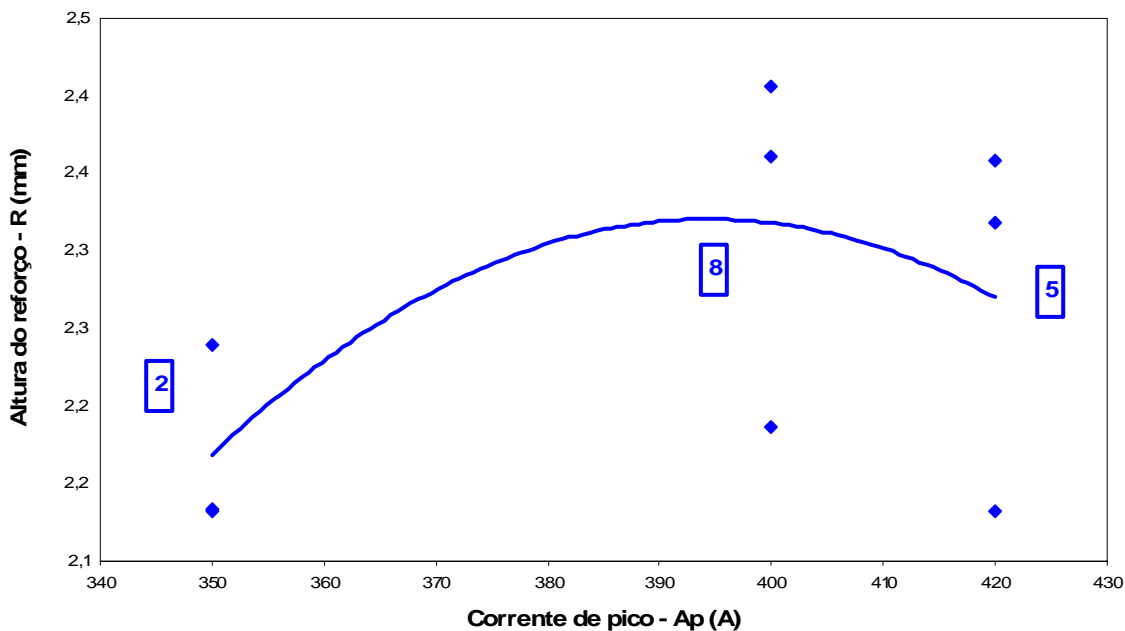


Figura 88 – Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $Ab=40A$.

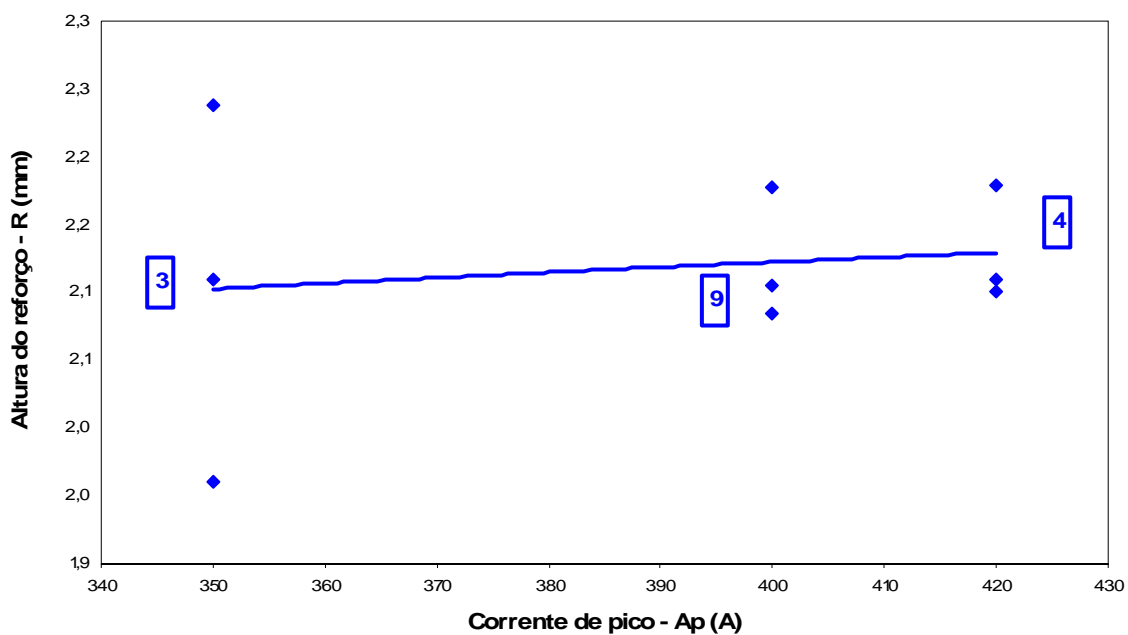


Figura 89 – Influência da corrente de pico (A_p) na altura do reforço (R) para $Ab=50A$.

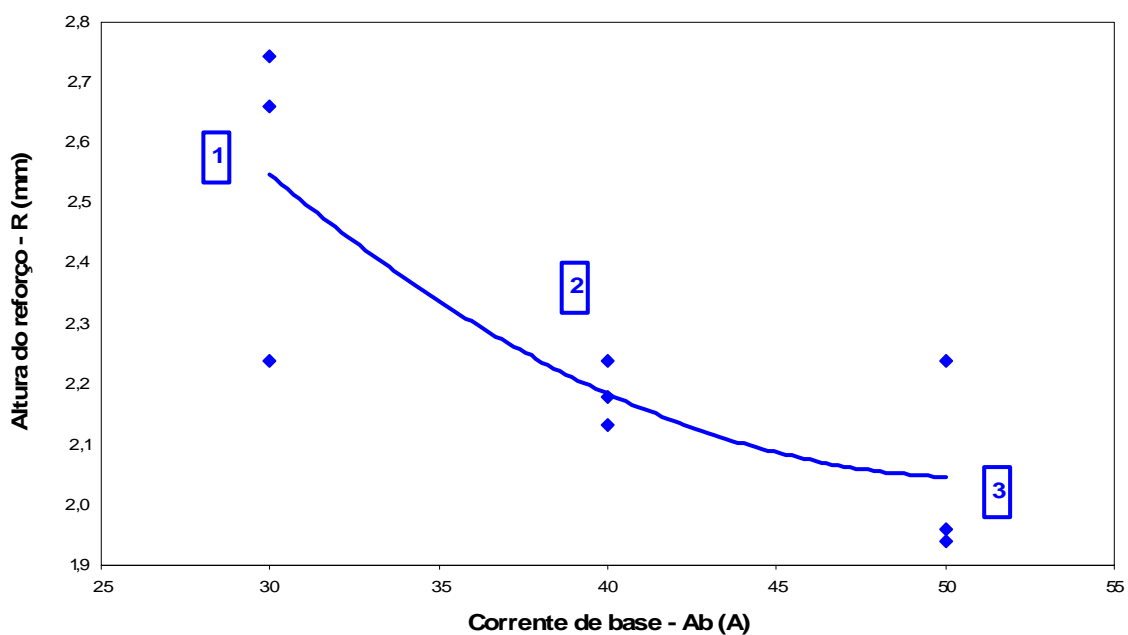


Figura 90 – Influência da corrente de base (A_b) na altura do reforço (R) para $A_p=350A$.

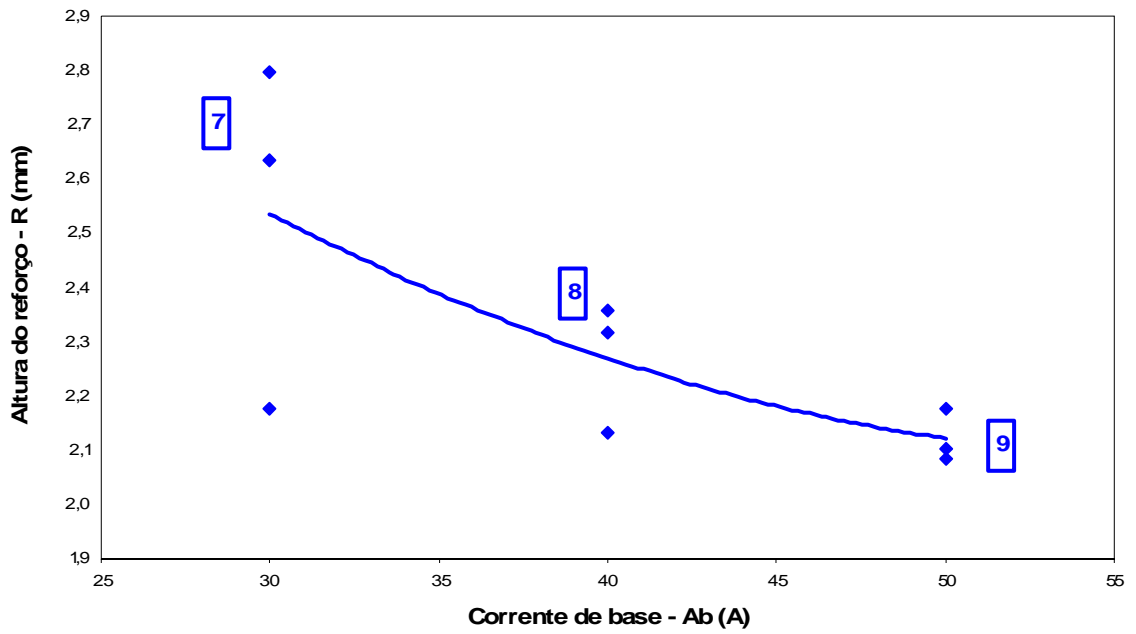


Figura 91 – Influência da corrente de base (Ab) na altura do reforço (R) para $Ap=400A$.

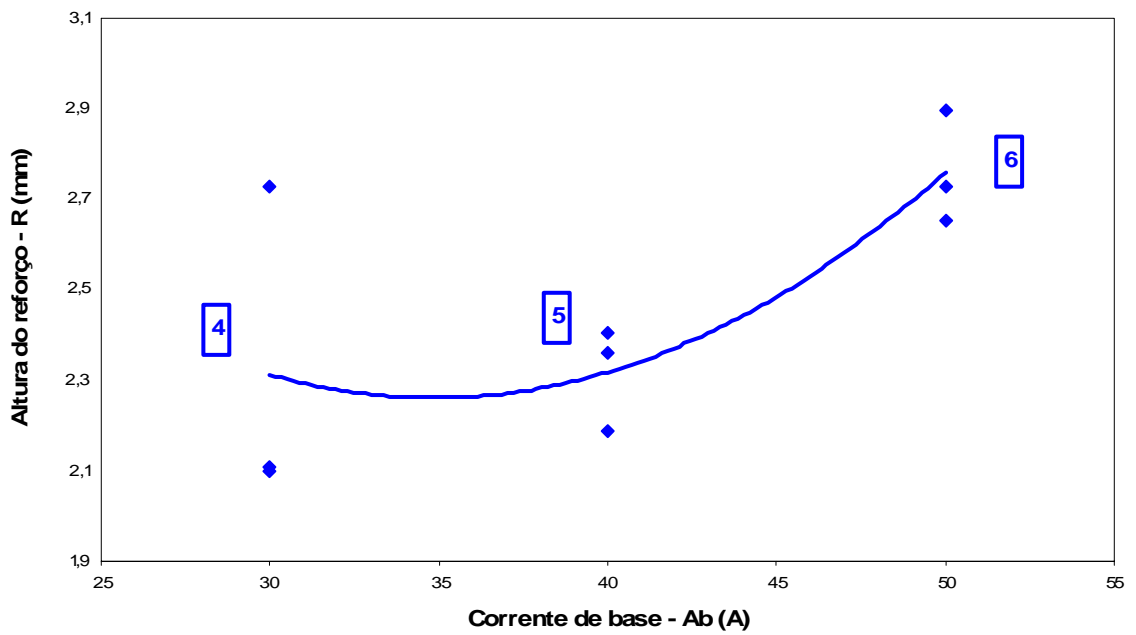


Figura 92 – Influência da corrente de base (Ab) na altura do reforço (R) para $Ap=420A$.

ANEXO F – DIAGRAMAS DAS CURVAS DA TAXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.

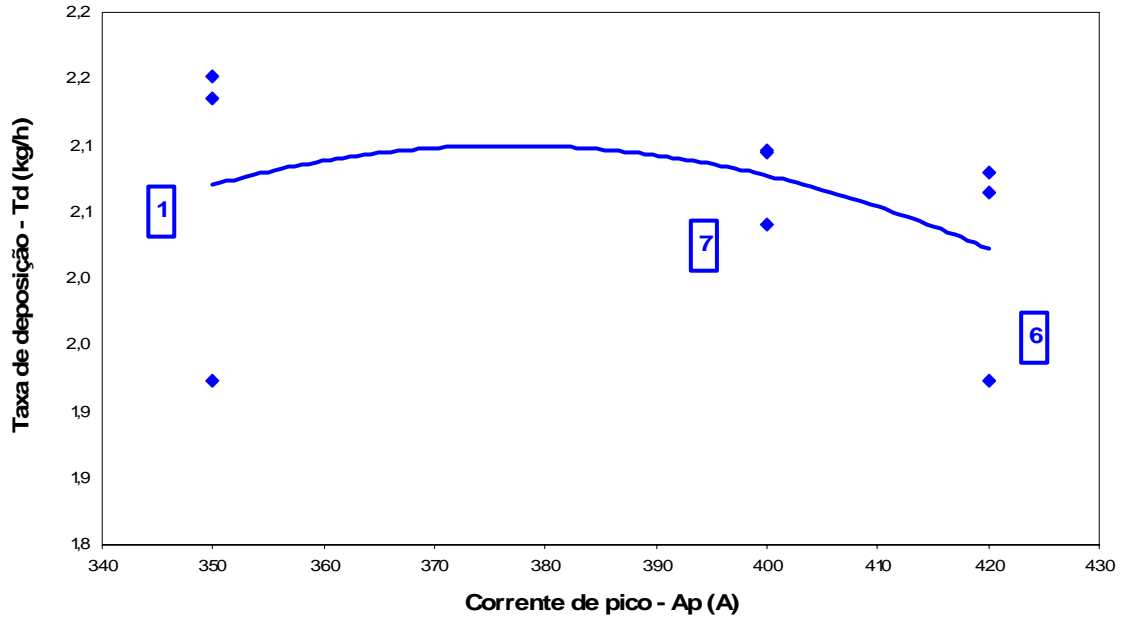


Figura 93 – Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $Ab=30A$.

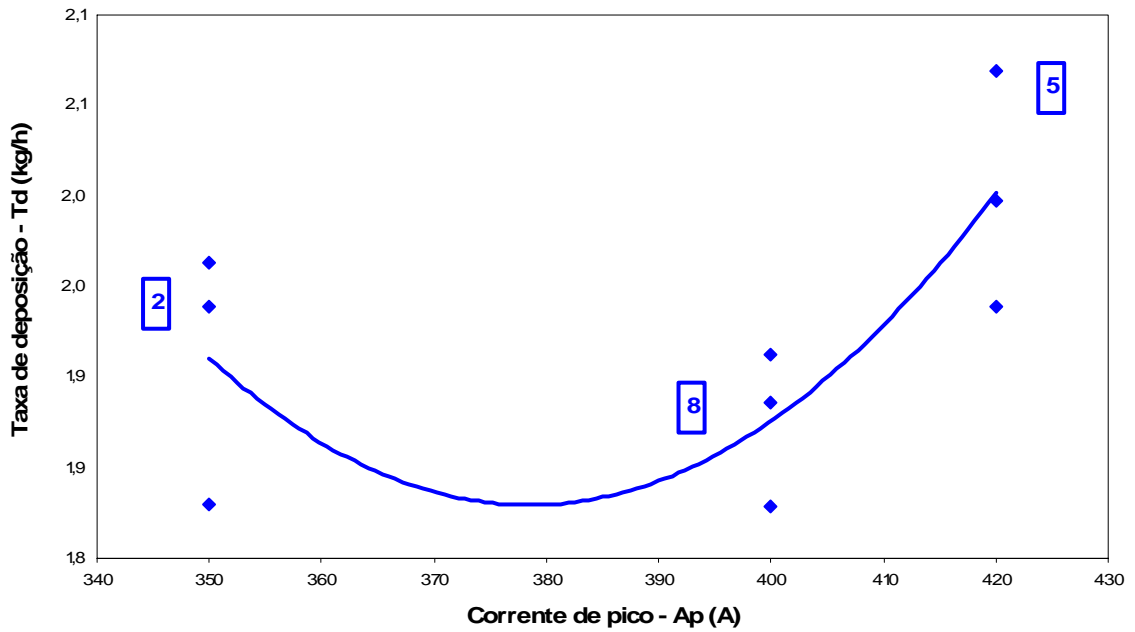


Figura 94 – Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $Ab=40A$.

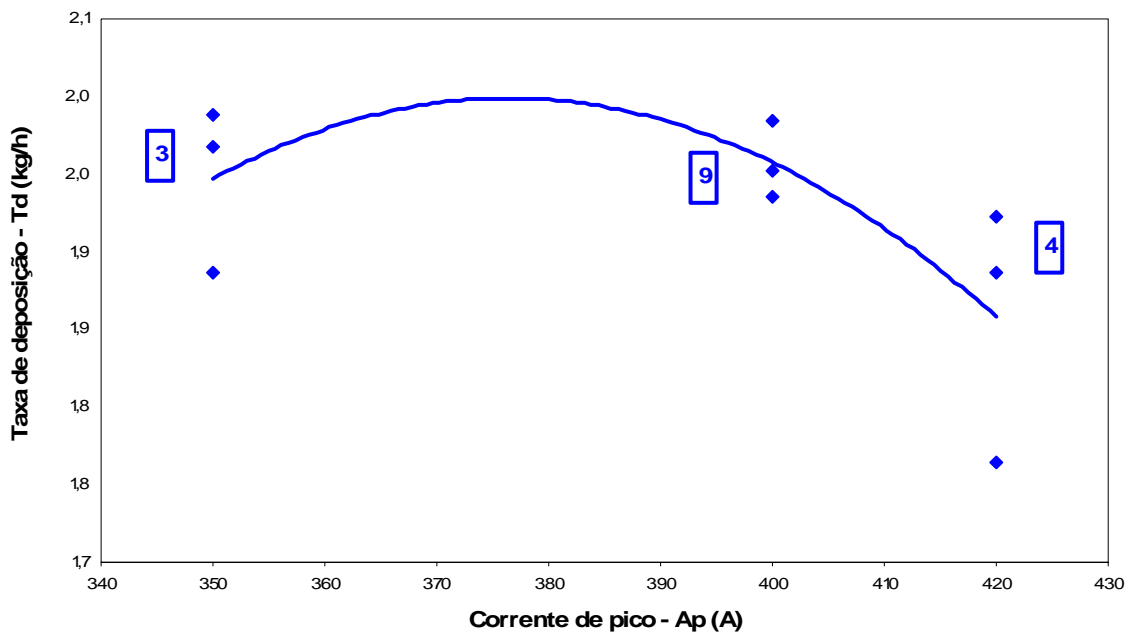


Figura 95 – Influência da corrente de pico (A_p) na taxa de deposição (T_d) para $A_b=50A$.

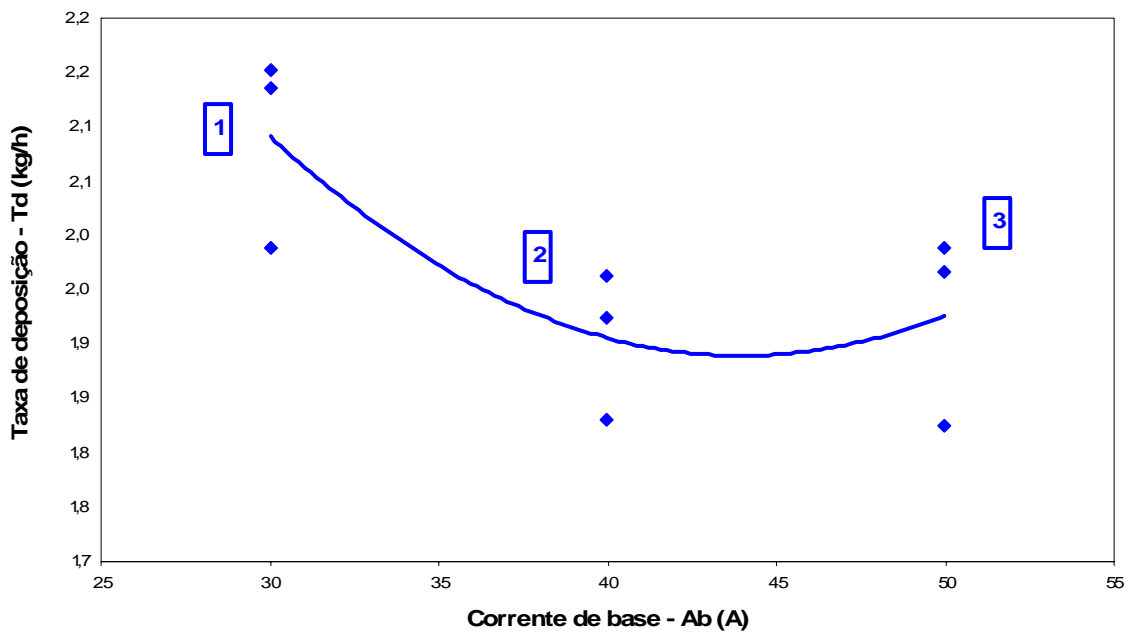


Figura 96 – Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=350A$.

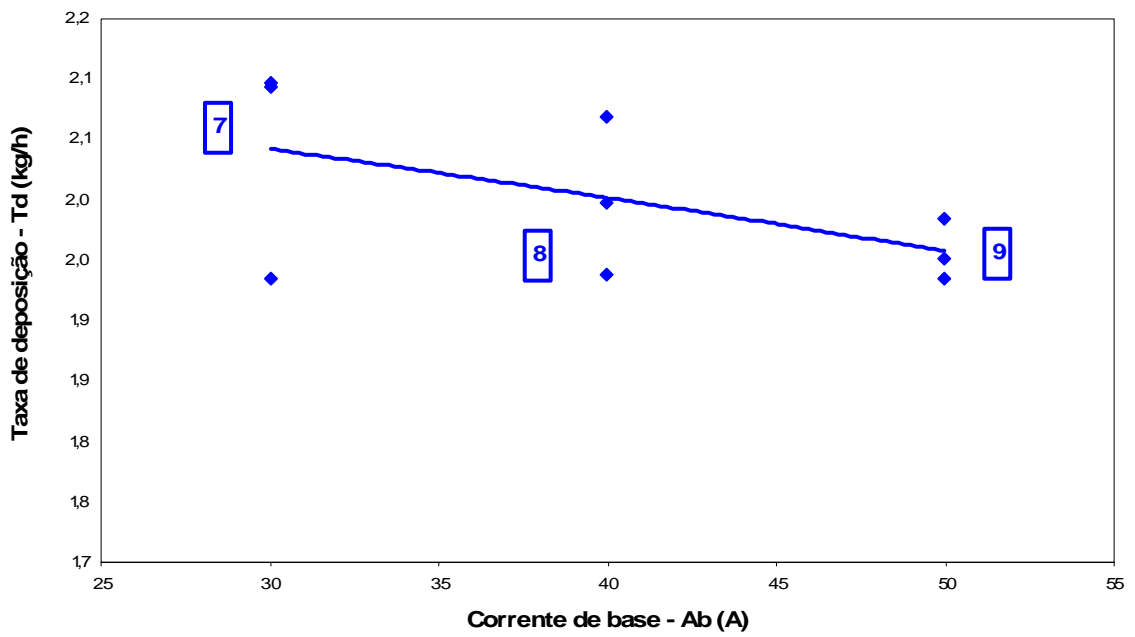


Figura 97 – Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=400A$.

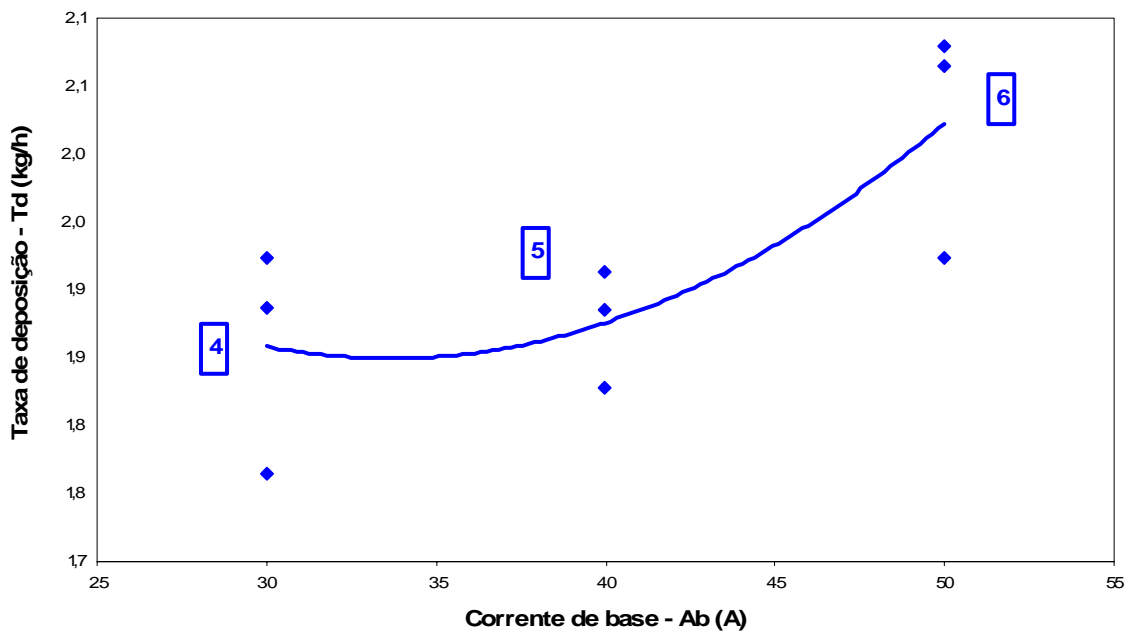


Figura 98 – Influência da corrente de base (A_b) na taxa de deposição (T_d) para $A_p=420A$.

ANEXO G – DIAGRAMAS DAS CURVAS DE COMPORTAMENTO DO RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CORRENTES DE PICO E DE BASE.

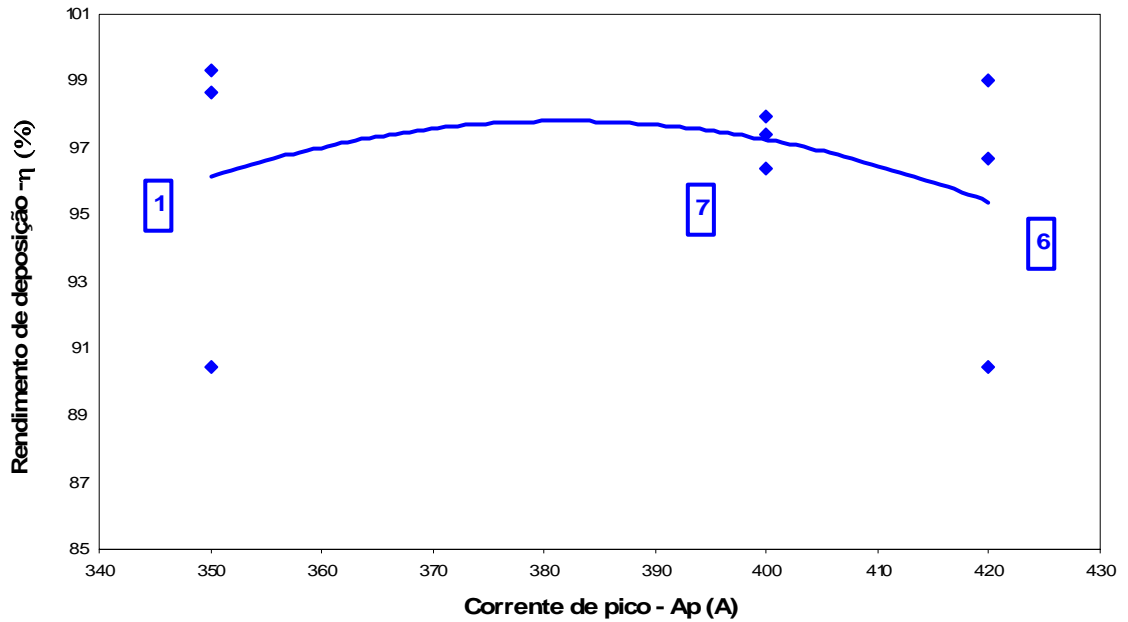


Figura 99 – Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $Ab=30A$.

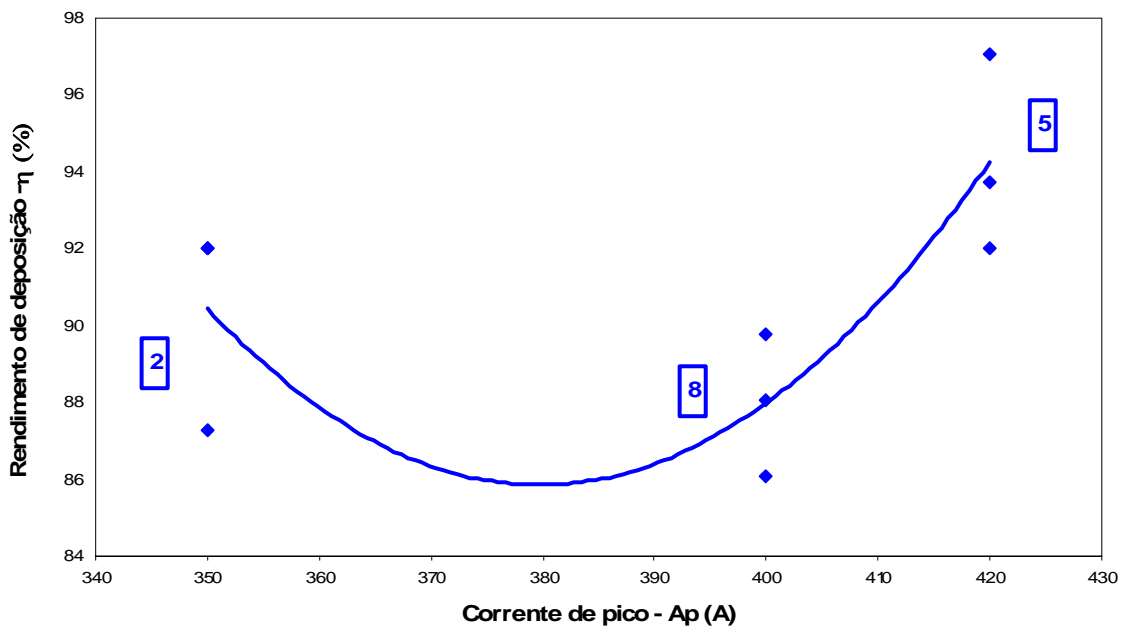


Figura 100 – Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $Ab=40A$.

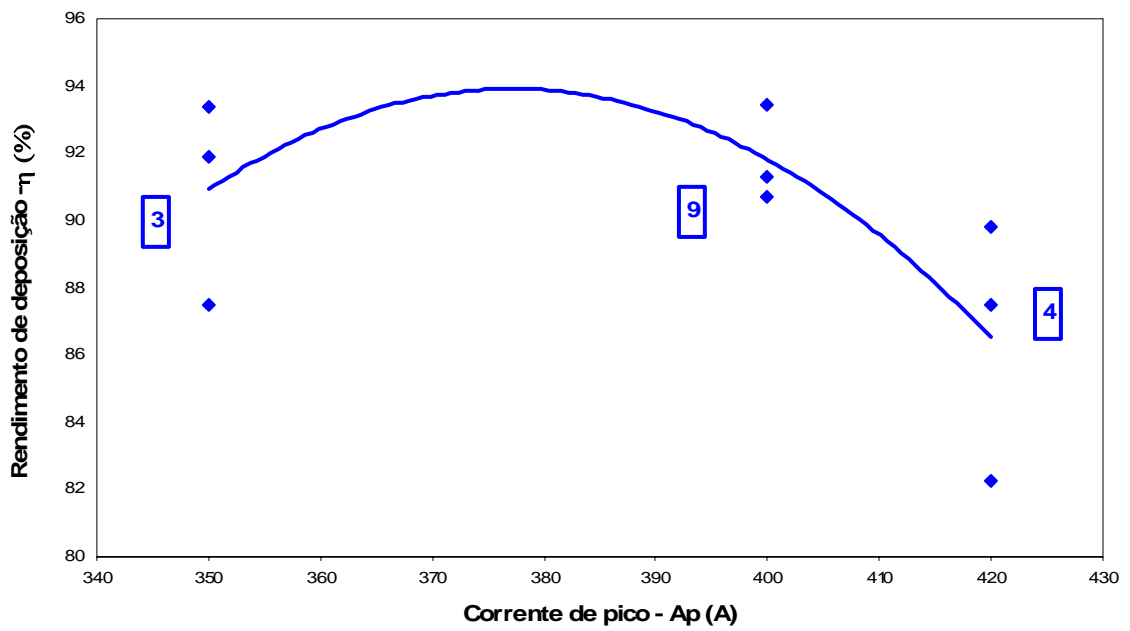


Figura 101 – Influência da corrente de pico (A_p) no rendimento da deposição (η) para $A_b=50A$.

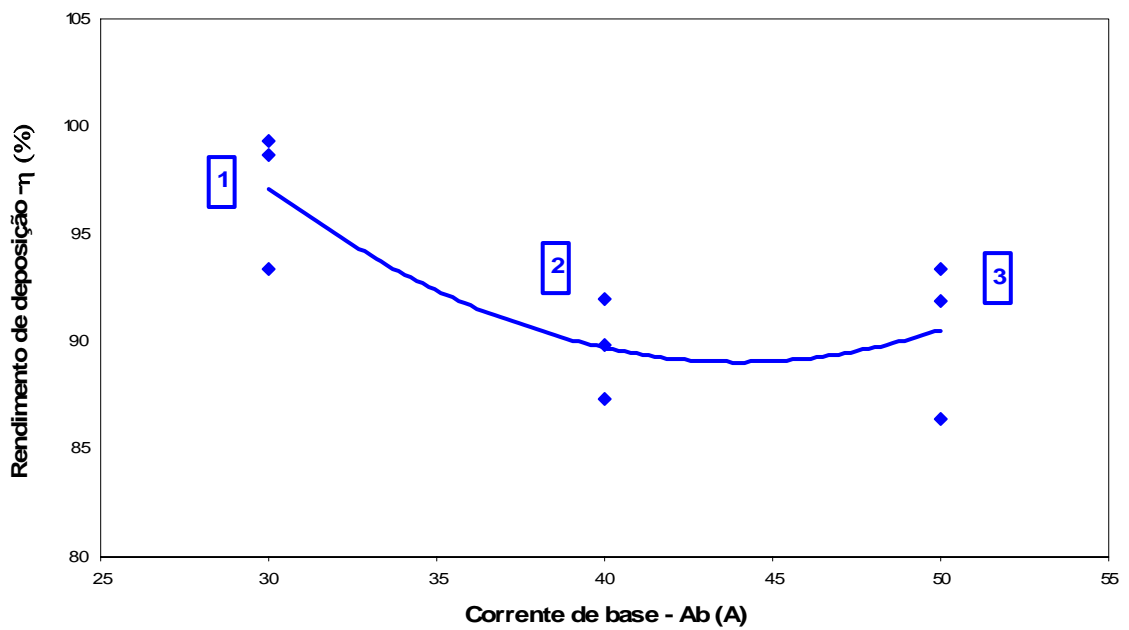


Figura 102 – Influência da corrente de base (A_b) no rendimento da deposição (η) para $A_p=350A$.

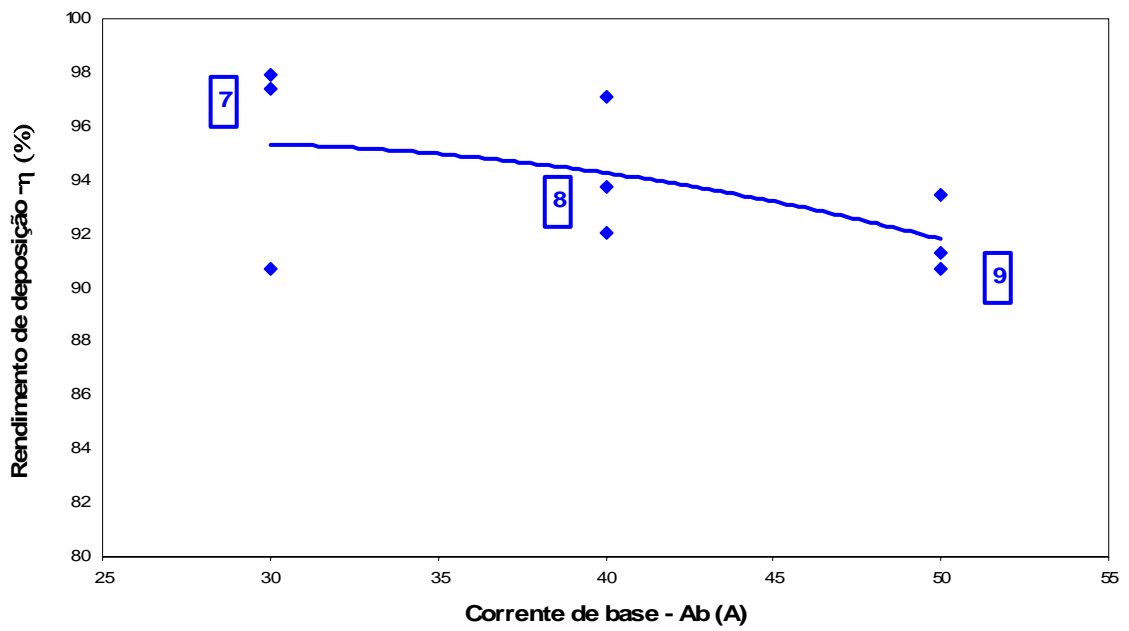


Figura 103 – Influência da corrente de base (Ab) no rendimento da deposição (η) para $Ap=400A$.

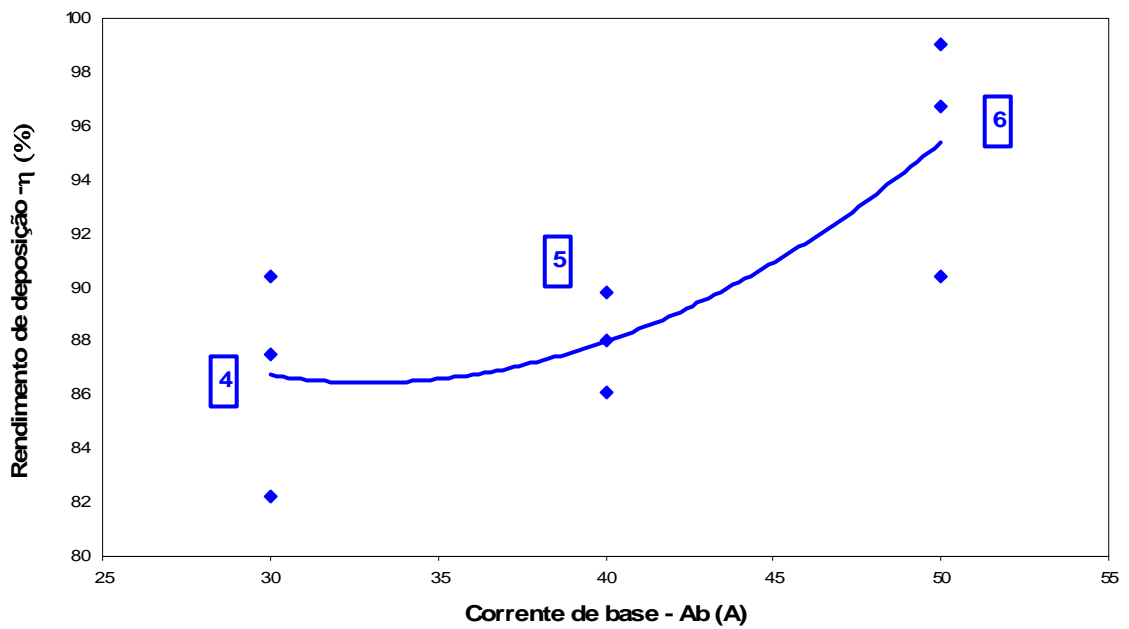


Figura 104 – Influência da corrente de base (Ab) no rendimento da deposição (η) para $Ap=420A$.