FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Joelmir Mariano de

Estudo e avaliação mecânica das juntas soldadas por ultrassom de policarbonato e poli(metacrilato de metila) / Joelmir Mariano de Souza. -- São Paulo, 2005.

180 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1. Soldagem ultra-sônica 2. Soldagem de policarbonato 3. Soldagem de poli(metacrilato de metila) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II. t.

JOELMIR MARIANO DE SOUZA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS
SOLDADAS POR ULTRA-SOM DE POLICARBONATO E POLI
(METACRILATO DE METILA).**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia.**

São Paulo

2005

JOELMIR MARIANO DE SOUZA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS
SOLDADAS POR ULTRA-SOM DE POLICARBONATO E POLI
(METACRILATO DE METILA).**

**Dissertação apresentada á Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia.**

**Área de concentração:
Engenharia Metalúrgica e de Materiais**

**Orientador:
Prof. Associado
Cláudio Geraldo Schon**

São Paulo

2005

AGRADECIMENTOS

Seria injusto se o meu primeiro agradecimento não fosse especialmente dedicado aos meus pais –**Joel Mariano de Souza e Edna Maria Alcântara Souza**– os quais sempre me apoiaram e mostraram-me a importância do estudo, tanto para o sucesso profissional como para o desenvolvimento pessoal.

Ao meu amigo orientador, **Prof Dr. Cláudio Geraldo Schon** que me orientou de forma clara e precisa na realização deste projeto.

Ao meu também amigo, **Prof. Dr. Sergio Duarte Brandi** que me co-orientou e disponibilizou o uso do material e do equipamento essencial ao desenvolvimento deste projeto.

A estes doutores citados acima eu dedico este trabalho pois estes, transformam jovens, em homens com personalidade na vida científica.

A Prof. **Dra. Izabel Fernanda Machado** pela ajuda direta na elaboração dos textos.

A empresa Resarbras Acrílicos (Resarbras da Bahia S.A.) pela doação do material poli(metacrilato de metila, PMMA).

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Nesta pesquisa estudou-se a soldagem de materiais poliméricos por ultra-som, sendo estes, policarbonato (PC) e poli(metacrilato de metila, PMMA). As soldagens foram obtidas através do equipamento específico para soldagem Soldadoras Integradas, série 900IW, empresa BRANSON Ultrasonics Corporation. Onde detalhamos alguns aspectos do equipamento: mecanismo de soldagem, conversores, transformador e sonotrodo. Para o sonotrodo especificamos a relação de área em função da geometria do mesmo. Ressaltamos também os tipos de métodos de soldagem: direto e indireto, de forma que concluímos que os materiais semicristalinos devem ser soldados apenas pelo método direto em consequência destes apresentarem grande perda de amplitude durante a soldagem. Em função destes possuírem uma acentuada queda do módulo de cisalhamento (G) e um aumento no fator de perda mecânica $\tan \delta$ acima da temperatura de transição vítrea (T_g), o que prejudica a soldagem. Foram analisados outros fatores que influem no processo de soldagem da junta como: tipos de juntas para uma melhor transmissão de energia, onde verificamos que juntas que possuem um D.R (diretor de energia) apresentam uma boa soldagem, diferente o que acontece com superfícies planas que apresentaram uma soldagem inadequada. Pesquisou-se também a propagação da onda no diretor de energia onde verificamos variações da amplitude através do mesmo.

Estudou-se o método para estimar a capacidade de soldagem por ultra-som dos materiais através de fórmulas, onde verificou-se resultados coerentes com os valores reais.

Experimentalmente variou-se os parâmetros de soldagem tais como: tempo de soldagem, pressão, e o tempo de recalque, com o intuito de obter-se variações na área soldada e na resistência ao cisalhamento das juntas. Os resultados apresentados pela variação dos parâmetros foram significativos, de modo, que o aumento do tempo de soldagem influenciou em um aumento da área das amostras em 90% das soldagens realizadas, tanto para soldagens similar (de mesmo material) e dissimilar (de materiais diferentes). Com aumento da pressão de soldagem obtivemos resultados menos significativos, ou seja, verificamos que 86,52% das amostras com junção similar, aumentaram a área em função do aumento da pressão. Os outros

13,48% diminuíram a área soldada em função do aumento da pressão, fenômeno causado pela diferença de rechupe encontrado nas amostras injetadas. O aumento do tempo de recalque não apresentou variações de área e de resistência ao cisalhamento significativas.

As amostras soldadas apresentam o fenômeno de esbranquecimento da região unida, onde concluímos que a umidade presente no material e as microrugosidades presentes na superfície do mesmo, causam este fenômeno. O qual pode ser minimizado através de secagem do material antes da injeção.

Mediu-se a área soldada, e a resistência ao cisalhamento de todos os tipos de juntas, de forma que obtivemos diferentes valores para cada tipo de material analisado (PMMA e PC) com junções similares (PMMA/PMMA e PC/PC), dissimilares (PMMA/PC) e com direções de injeção similares (HH, VV) e direção de injeção dissimilar (HV). Com estes resultados podemos aplicar o método estatístico de análise de variância em função da variação de área e da variação de resistência. Os resultados da análise de variância foram mais coerentes com os resultados experimentais em função do parâmetro tempo de soldagem. A análise de variância em função da pressão apresentou resultados menos significativos, comparado aos resultados experimentais.

As juntas soldadas foram adaptadas da norma ASTM D638M, e para realização do teste de cisalhamento projetou-se um dispositivo especial para esta aplicação.

ABSTRACT

In this research it was studied welding of polymeric materials by ultrasound, being these, polycarbonate (PC) and poli(metacrilate of metila, PMMA). The weldings had been gotten through the equipment specify for welding (Integrated Soldering, series 900IW, company BRANSON Ultrasonics Corporation). Detail some aspects of the equipment: mechanism of welding, converters, transforming and sonotrode. For sonotrode we specify the relation of area in function of the geometry. Empathized also two types of welding methods: direct and indirect, then we conclude that the semi crystalline materials must be welded only by the direct method, in consequence of these materials to present great loss of amplitude during the welding. In function of these to possess one accented fall of the module of shear (G) and an increase in the mechanics loss factor ($Tang \delta$), above of the glass transition temperature (T_g), these factors it harms the welding. Other factors had been analyzed that influence in the process of welding of the joining, as: geometric of joining for one better transmission of energy, where we verify that joining that possess a D.R (director of energy) these present a good welding, different of others joining with plain surfaces that had presented an inadequate welding. The propagation of the wave in the energy director was also searched where we verify variations of the amplitude through D.R.

The method was studied for estimate of the capacity of welding for ultrasound of the materials through formulas, where it was verified coherent resulted with the real results.

Experimentally varied the welding parameters such as: welding time, pressure, and the time pressure after welding, with intention to get variations in the welded area and the shear strength of the joining. The results presented for the variation of the parameters had significant, in way, that the increase of the welding time influenced in an increase of the area of the samples in 90% of the carried through weldings, as much for weldings similar (of same material) and dissimilar (of different materials). With increase of the welding pressure we got resulted less significant, or either, we verify that 86.52% of the samples with similar junction, had increased the area in function of the increase of the pressure. The others 13.48% had diminished the area welded in function of the increase of the pressure, phenomenon

caused for the difference of contraction found in the injected samples. The increase of the time of the time pressure after welding did not present variations of area and significant shear strength.

The welded samples present the phenomenon of change of color of the joined region, where we conclude that the present humidity in the material and the microrugosidades of the surface causes this phenomenon. The change color can be minimized through drying of the material before the injection.

It measured welded area, and the shear strength of all the types of joining, and this form we got different values of area and of shear strength for each type of material analyzed (PMMA and PC) with similar junctions (PMMA/PMMA and PC/PC) and dissimilar (PMMA/PC) with similar directions of injection (HH, VV) and direction of dissimilar injection (HV). With these results we can apply the statistical method of analysis of variance in function of the variation of area and in function of the variation of resistance. The results of the variance analysis had been more coherent with the experimental results in function of the parameter welding time. The analysis of variance in function of the pressure presented resulted less significant, comparative to the experimental results.

The welded joining had been adapted according to norm ASTM D638M, and for development of the shear test a special device for this application was projected.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Mecanismo de soldagem.....	5
2.1.1 Conversor.....	5
2.1.2 Transformador.....	6
2.1.3 Sonotrodo.....	6
2.1.4 Fator de área.....	7
2.2 Tipos de solda.....	8
2.3 Projeto da junta.....	8
2.4 Transmissão de energia	9
2.5 Perda de amplitude em termoplásticos amorfos e semicristalinos.....	11
2.6 Método para estimar a capacidade de soldagem dos termoplásticos.....	12
2.6.1 Variação de índice de energia ($\emptyset$) e fator de amortecimento (Λ).....	15
2.7 Qualidade de junção em função da pressão e do tamanho (volume) do diretor de energia.....	17
2.8 Influência do peso molecular na junção.....	18
2.9 Difusão em polímeros.....	18
2.10 Influência do peso molecular na resistência dos polímeros.....	19
2.11 Processo mecânico para formação de espuma através da resinas termoplasticas	19
2.12 Análise de variância (comparação entre várias médias).....	20
2.13 Teste estatístico da prova de sinais	23
2.13.1 Método de aplicação.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 Descrição dos materiais PMMA e PC.....	25
3.2 Procedimento para injeção do material (PMMA e PC tipo ASTM D638M).....	25
3.3 Procedimento para junção do material (PMMA e PC tipo ASTM D638M).....	26
3.4 Procedimento para medição da área soldada das amostras (tipo ASTM D638M).....	28
3.5 Teste de resistência ao cisalhamento das amostras tipo ASTM D638M soldadas.....	28
3.6 Análise da rugosidade superficial das amostras ASTM D638M antes da união	28
3.7 Procedimento para o teste de tração dos materiais de base (tipo ASTM D638M).....	29

3.8 Procedimento para obtenção das micrografias do material de base (PMMA e PC tipo ASTM D638M) fraturado no teste de tração.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Resistência a tração e módulo de rigidez do material de base.....	31
4.1.1 Micrografias das amostras (material de base) fraturadas no teste de tração.....	31
4.1.2 Alongamento na ruptura.....	45
4.2 Resultados para análise da rugosidade superficial das amostras ASTM D638M antes da união.....	45
4.3 Teste de resistência ao cisalhamento das amostras do tipo ASTM D638M soldadas	46
4.4 Variação de área em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 33 a 41	47
4.4.1 Tempo de soldagem.....	47
4.4.2 Pressão de soldagem.....	49
4.4.3 Tempo de recalque.....	51
4.5 Variação da tensão em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 42 a 50.....	54
4.5.1 Tempo de soldagem.....	54
4.5.2 Pressão de soldagem.....	56
4.5.3 Tempo de recalque.....	58
4.6 Variação da tensão aparente em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 51 a 59.....	60
4.6.1 Tempo de soldagem.....	60
4.6.2 Pressão de soldagem.....	62
4.6.3 Tempo de recalque.....	64
4.7 Efeito da variação dos parâmetros de soldagem sobre a área soldada.....	66
4.7.1 Junções similares.....	66
4.7.1.1 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção horizontal.....	66
4.7.1.2 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção horizontal.....	66
4.7.1.3 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção horizontal.....	69
4.7.1.4 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção horizontal.....	69

4.7.1.5 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção horizontal.....	70
4.7.1.6 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção horizontal.....	72
4.7.1.7 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção vertical.....	72
4.7.1.8 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção vertical.....	73
4.7.1.9 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção vertical.....	75
4.7.1.10 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção vertical.....	75
4.7.1.11 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção vertical.....	76
4.7.1.12 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção vertical.....	79
4.7.1.13 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	79
4.7.1.14 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	80
4.7.1.15 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	82
4.7.1.16 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	82
4.7.1.17 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V), que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	83
4.7.1.18 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	85
4.7.2 Junções dissimilares.....	85
4.7.2.1 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e de PC(H), que possuem direções de injeções horizontais	85

4.7.2.2 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e de PC(H) que possuem direções de injeções horizontais.....	86
4.7.2.3 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(H) que possuem direções de injeções horizontais.....	88
4.7.2.4 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(V) que possuem direções de injeções verticais.....	88
4.7.2.5 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e de PC(V) que possuem direções de injeções verticais.....	89
4.7.2.6 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(V) que possuem direções de injeções verticais.....	91
4.7.2.7 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	91
4.7.2.8 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e de PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	92
4.7.2.9 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.....	94
4.7.2.10 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(H) que possuem direções de injeções verticais e horizontais.....	94
4.7.2.11 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e de PC(H) que possuem direções de injeções verticais e horizontais.....	95
4.7.2.12 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(H) que possuem direções de injeções verticais e horizontais.....	97
4.8 Discussão sobre os resultados obtidos no teste de resistência ao cisalhamento.....	97

4.9	Influência da pressão e do tempo de soldagem na região unida (área de soldagem).....	101
4.10	Esbranquecimento da região soldada.....	105
4.11	Efeito da umidade na região soldada.....	107
4.12	Fator da não ocorrência da junção na região central do corpo de prova.....	109
4.13	Amostra unida no centro em função do rompimento do material.....	110
4.14	Compatibilidades das junções.....	110
4.15	Resultados para o cálculo de análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão (P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da junta soldada.....	111
4.15.1	Discussão dos resultados para o cálculo de análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão (P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da junta soldada.....	112
4.15.1.1	Sobre a área soldada.....	112
4.15.1.2	Sobre a resistência da junta soldada.....	113
4.16	Resultados do teste estatístico da prova de sinais em função da comparação dos resultados do teste de cisalhamento.....	114
4.16.1	Comparação entre as junções de PMMA e os outros tipos de junções de PMMA e entre as junções de PC e os outros tipos de junções de PC.....	114
4.16.2	Comparação entre as junções com materiais dissimilares de PMMA/PC.....	115
4.16.3	Comparação entre as junções de PMMA/PMMA e entre as junções de PC/PC.....	116
4.16.4	Comparação entre o material com soldagem similar de maior resistência PMMA (HH) e do material com soldagem dissimilar de maior resistência PMMA(V) e PC(V).....	117
5	CONCLUSÕES.....	120
ANEXO A	– Método para se medir a resistência da junta soldada (Adaptada da norma ASTM D638M).....	121
APÊNDICE A	– Resultados comparados dos testes de cisalhamento de todas as juntas soldadas.....	124
APÊNDICE B	– Cálculos e resultados para o cálculo de análise da variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão (P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da junta soldada.....	145
B1.1	Sobre a área soldada.....	145
B1.2	Sobre a resistência da junta soldada.....	155

APÊNDICE C – Resultados da análise estatística pela prova de sinais	165
C1 Resultados do teste estatístico da prova de sinais em função da comparação dos resultados do teste de cisalhamento.....	165
C1.1 Comparação entre as junções de PMMA e os outros tipos de junções de PMMA e entre as junções de PC e os outros tipos de junções de PC.....	165
C1.2 Comparação entre as junções de materiais dissimilares PMMA/ PC.....	168
C1.3 Comparação entre as junções de PMMA/PMMA e de PC/PC.....	171
C1.4 Comparação entre o material com soldagem similar de maior resistência PMMA(HH) e do material com soldagem dissimilar de maior resistência PMMA(V) e PC(V).....	176
C1.5 Tabela de probabilidade ($P_{rob.}$) referente aos valores de N e x.....	176
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 mostra a representação da estrutura química e do monômero, do material sintético poli(metacrilato de metila) obtido na reação de poliadição [4].....	1
Figura 2 mostra a representação da estrutura química e do monômero, do material sintético policarbonato (PC) obtido na reação de policondensação [4].....	2
Figura 3 mostra esquema dos componentes do equipamento de soldagem por ultra-som: Transducer (conversor da frequência de energia elétrica em frequência de vibração); Transformer (transformador, amplificador de vibrações de ondas); Sonotrode (sonotrodo, condutor de ondas até a amostra); Moulded parts (molde para amostra); Holding fixture (fixador do molde); Emergency latch (botão de emergência); Pneumatic system (sistema pneumático); Generator and control system (converte a corrente convencional (50 – 60Hz) para energia elétrica (20 a ou 40KHz)); Welding press (controlador da pressão de soldagem); Baseplate (base do equipamento) e Two – hands safety operation (duplo sistema de acionamento) [6].....	5
Figura 4 mostra o polímero no estado fundido com cadeias emaranhadas [4].....	7
Figura 5 mostra o polímero no estado sólido, com cadeias parcialmente ordenadas; cristalitos lamelares [4].....	7
Figura 6 mostra a geometria do sonotrodo em função das suas áreas.....	7
Figura 7 exemplos de projeto para termoplásticos amorfos [6].....	9
Figura 8 exemplos de projeto para termoplásticos semicristalinos [6].....	9
Figura 9 esquema representativo da distribuição de amplitude no diretor de energia [6].....	10
Figura 10 mostra micrografia do diretor de energia irradiado por ultra-som [6].....	11

Figura 11 mostra o comportamento do modulo de cisalhamento (G) e do fator de perda mecânica ($\tan \delta$) para materiais amorfos, material poliestireno de alto impacto (SB) [13,14]..11

Figura 12 mostra o comportamento do modulo de cisalhamento (G) (shear modulus G) e do fator de perda mecânica ($\tan \delta$) (mechanical loss factor $\tan \delta$) para materiais semi cristalinos, material poli(tereftalato de butileno, PBT) [13,14].....12

Figura 13 mostra o tempo de fusão para junção (Time t_e) *versus* pressão de contato estática (Static contact pressure p) em função da amplitude de onda (A_m)(para o material policarbonato (PC) [6].....14

Figura 14 mostra a faixa de índice de energia ($\emptyset$) (Dimensioless energy factor) e fator de amortecimento (Λ) (Log damping decrement (Λ), para polímeros amorfos e semicristalinos [6].....15

Figura 15 mostra uma junção na qual o diretor de energia utilizado foi (a) menor que o necessário e a pressão aplicada à junção foi muito alta, de forma que não ocorreu o preenchimento de toda a interface (as bolhas e os poros são decorrentes da degradação do plástico fundido pela ação do ultra-som), (b) onde a pressão aplicada foi muito alta, de forma que o diretor de energia foi inserido dentro da peça inferior sem que neste ponto ocorresse a junção (soldas deste tipo possuem tensões residuais muito grandes) e (c) onde o diretor de energia e a pressão foram adequados (bem combinados), de modo que o aspecto de junção é ideal [6].....17

Figura 16 mostra a variação de resistência a tração em relação a massa molecular [4].....19

Figura 17 espuma de célula fechada obtida por meio do pressionamento do gás no plástico fundido sob alta pressão [15].....19

Figura 18 mostra três amostras de cinco elementos.....22

Figura 19 mostra a amostra do tipo ASTM D638M com injeção horizontal e vertical.....25

Figura 20 mostra o equipamento de soldagem por ultra-som. Tipo: Soldadoras Integradas; Série 900IW; Empresa: BRANSON Ultrasonics Corporation.....	27
Figura 21 mostra o comprimento da área soldada (12mm).....	27
Figura 22 mostra esquema das divisões do cut off (λ_c) para análise da rugosidade média.....	29
Figura 23a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo (32,2 X reduzida em 68%).....	31
Figura 23b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	32
Figura 23c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada, ângulo de 70° (32,2 X, reduzida em 68%).....	32
Figura 23d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), na qual se destacam os picos de deformação.....	33
Figura 24a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X reduzida em 65%).....	33
Figura 24b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	34
Figura 24c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X reduzida em 68%).....	34

Figura 24d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, na qual se destacam os picos de deformação.....	35
Figura 25a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X reduzida em 60%).....	35
Figura 25b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	36
Figura 25c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 68%).....	36
Figura 25d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), na qual se destacam os picos de deformação.....	37
Figura 26a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 66%).....	37
Figura 26b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	38
Figura 26c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 68%).....	38
Figura 26d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°.....	39
Figura 27 mostra o comportamento dos polímeros PMMA e PC quando submetidos a uma taxa de deformação constante de 5mm/min, a qual descreve um comportamento frágil.....	40

Figura 28a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 55%).....	40
Figura 28b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	41
Figura 28c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), (32,2 X, reduzida em 67%).....	41
Figura 28d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, onde verifica-se picos de deformações mais arredondados.....	42
Figura 29a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V.(Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 66,5%).....	43
Figura 29b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	43
Figura 29c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 67,5%).....	44
Figura 29d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V.(Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°	44
Figura 30 apresenta o resultado da análise por rugosímetro de duas superfícies de uma amostra de PMMA (a) primeiro lado e (b) segundo lado.....	45
Figura 31 mostra a região de concentração de tensão próxima área soldada.....	46

Figura 32a mostra dispositivo aberto.....	46
Figura 32b mostra dispositivo montado com amostra posicionada.....	47
Figura 32c mostra amostra rompida após o teste de tração.....	47
Figura 33 mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	48
Figura 34 mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	48
Figura 35 mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	49
Figura 36 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	50
Figura 37 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	50
Figura 38 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	51
Figura 39 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	52
Figura 40 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se na s 34 a 36 do apêndice A.....	53
Figura 41 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	53

Figura 42 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	54
Figura 43 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PC .Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	55
Figura 44 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC .Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	55
Figura 45 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	56
Figura 46 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	57
Figura 47 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	57
Figura 48 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	58
Figura 49 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	59
Figura 50 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	59
Figura 51 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	60
Figura 52 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 37 do apêndice A.....	61

Figura 53 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	61
Figura 54 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	62
Figura 55 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	63
Figura 56 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	63
Figura 57 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.....	64
Figura 58 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.....	65
Figura 59 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A.....	65
Figura 60 mostra junta com escoamento de material.....	103
Figura 61 esboço da quebra da molécula de PMMA.....	103
Figura 62 mostra os picos onde o contato interfacial ocorre primeiro e a conseqüente interdifusão (soldagem).....	104
Figura 63 mostra esquema da relação entre o tempo de junção e amplitude de onda, para área soldada, não soldada e escoamento de material.....	104

Figura 64 mostra o esquema da rugosidade presente na superfície que serve alojamento de ar.....	106
Figura 65 mostra a micrografia da superfície da amostra de PMMA, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), na qual se destacam as irregularidades da superfície da amostra, que servem com alojamento de ar; vista inclinada ângulo de 70°, (8,00KX, reduzida 39%).....	106
Figura 66 mostra as micrografias da superfície do material fundido (espuma) após a junção das amostras de (a) PMMA (ampliação de 7,05X) e (b) PC. Micrografias obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.....	107
Figura 67 mostra região soldada na qual a amostra passou pelo tratamento de secagem antes da união, apresentando menor quantidade de “espuma” formada, sendo esta unida sob os seguintes parâmetros: Weld Time de 0,400seg; Hold Time de 0,150seg; Pressão de 13,9 Psi (0,095MPa). Vista de topo (a) e vistas laterais (b e c).....	108
Figura 68 mostra região soldada na qual a amostra não passou pelo tratamento de secagem antes da união, apresentando maior quantidade de “espuma” formada, sendo esta unida sob os seguintes parâmetros: Weld Time de 0,400seg; Hold Time de 0,150seg; Pressão de 13,9 Psi (0,095MPa). Vista de topo (a) e vistas laterais (b e c).....	109
Figura 69 mostra o material que apresenta junção na região central da amostra.....	110
Figura 70 mostra o M.E.V. (microscopia eletrônica de varredura) da vista transversal da junta de PMMA/PMMA (a), e de PC/PC (b).....	110
Figura 71 mostra as dimensões da amostra ASTM D638M.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 mostra valores de amplitude adotada em prática na soldagem por ultra-som de diferentes materiais termoplásticos [13].....	16
Tabela 2 mostra exemplo de tabela de variância.....	21
Tabela 3 mostra os parâmetros para injeção de PMMA e PC.....	26
Tabela 4 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa); sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque): 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....	68
Tabela 5 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold Time (tempo de recalque) 0,150 seg ; figura G, Hold Time (tempo de recalque): 0,350 seg.....	69
Tabela 6 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg; Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10	

Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....71

Tabela 7 mostra as amostras de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....72

Tabela 8 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg; Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg; Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão 7,5 Psi (0,052 MPa).....74

Tabela 9 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....75

Tabela 10 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10

Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg; Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....78

Tabela 11 mostra as amostras de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....79

Tabela 12 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg; Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....81

Tabela 13 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....82

Tabela 14 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10

Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....84

Tabela 15 mostra as amostra de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....85

Tabela 16 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....87

Tabela 17 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....88

Tabela 18 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem)

0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....90

Tabela 19 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.....91

Tabela 20 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....93

Tabela 21 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque): 0,350 seg.....94

Tabela 22 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time

(tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg; Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).....96

Tabela 23 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque): 0,350 seg.....97

Tabela 24 referente aos resultados do cálculo da análise da variância para **área soldada**, sendo o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre linhas ($F_{LIN.}$) de 19, e o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre colunas ($F_{COL.}$) de 18,5 valores constantes para todas as amostras.....111

Tabela 25 referente aos resultados do cálculo da análise da variância para **resistência da área soldada**, sendo o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre linhas ($F_{LIN.}$) de 19, e o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre colunas ($F_{COL.}$) de 18,5 valores constantes para todas as amostras.....111

Tabela 26 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras,em função de N e x, sendo o valor de N =7, valor constante para todas as amostras.....115

Tabela 27 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras,em função de N e x, sendo o valor de N =7, valor constante para todas as amostras.....116

Tabela 28 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras,em função de N e x, sendo o valor de N =7, valor constante para todas as amostras.....117

Tabela 29 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras, em função de N e x , sendo o valor de $N = 7$, valor constante para todas as amostras.....118

Tabela 30 especifica as medidas adotadas para a amostra (ASTM D638M) do Tipo M-I.....123

Tabela 31 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....124

Tabela 32 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....125

Tabela 33 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....126

Tabela 34 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....127

Tabela 35 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....128

Tabela 36 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....129

Tabela 37 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....130

Tabela 38 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....131

Tabela 39 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....132

Tabela 40 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....133

Tabela 41 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....134

Tabela 42 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....135

Tabela 43 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....136

Tabela 44 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....137

Tabela 45 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....138

Tabela 46 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....139

Tabela 47 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....140

Tabela 48 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....141

Tabela 49 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....142

Tabela 50 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....143

Tabela 51 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).....144

Tabela 52 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....165

Tabela 53 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....166

Tabela 54 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PMMA (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....166

Tabela 55 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (VV) e de PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.167

Tabela 56 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (VV) e de PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.167

Tabela 57 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (HV) e de PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.168

Tabela 58 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V) e de PMMA (H)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....168

Tabela 59 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V) e de PMMA (V)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....169

Tabela 60 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V) e de PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....169

Tabela 61 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (H)/PC(H) e de PMMA (V)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....170

Tabela 62 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (H)/PC(H) e de PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....170

Tabela 63 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(H)** e de **PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....171

Tabela 64 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....171

Tabela 65 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....172

Tabela 66 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....172

Tabela 67 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....173

Tabela 68 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....173

Tabela 69 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....174

Tabela 70 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....174

Tabela 71 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....175

Tabela 72 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....175

Tabela 73 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento.....176

Tabela 74 mostra o valor de probabilidade ($P_{rob.}$) referente aos valores de N (número de pares) e x (número de vezes que os sinais de menor frequência aparecem).....176

LISTA DE ABREVIATURAS.

A	- Área unida.
ABS	- Acrilonitrila-Butadieno-Estireno.
AV	- Análise de variância.
DR	- Diretor de energia.
HT	- Hold Time, (Tempo de recalque).
LCP	- Poliéster.
MEV	- Microscopia eletrônica de varredura.
P	- Pressão.
PA-6	- Nylon (Poliamidas alifáticas).
PA-6,6	- Nylon (Poliamidas alifáticas).
PBTP	- Poli tereftalado de butileno.
PC	- Poli carbonato.
PMMA	- Poli metacrilato de metila.
PP	- Polipropileno.
PS	- Poliestireno.
PVC	- Poli(cloreto de vinila).
SB	- Polistírol de forte impacto.
Tg	- Temperatura de transição vítrea.
Tm	- Temperatura de fusão cristalina.
WT	- Weld Time, (Tempo de soldagem).

LISTA DE SÍMBOLOS

$\emptyset$	Índice de energia
Λ	Fator de amortecimento
G	- Modulo de cisalhamento
Tan δ	- Fator de perda mecânica
θ_1	Temperatura de transição vítrea ou temperatura de cristalização
θ_2	Temperatura ambiente
ρ	Densidade
c	Capacidade térmica
E	Modulo de rigidez
v	Coefficiente de fricção no estado sólido
p	Pressão adequada à junção
p _k	Pressão na faixa de curvas
σ	Tensão
F	Força de ruptura
S ₀	Área útil
ϵ	Deformação linear media
Δl	Variação no comprimento
L ₀	Comprimento do estensometro
E	Modulo de rigidez
P	Carga
S ₀ . Ef.	Área efetiva
σ . Ef.	Tensão efetiva
S ₀ . Ap	Área aparente
σ . Ap.	Tensão aparente

1 INTRODUÇÃO

A redução de peso está se tornando cada vez mais importante no setor automobilístico. Projetos de engenharia anteriormente baseados em materiais convencionais (materiais ferrosos, porcelanas, vidros e madeiras) tem sido cada vez mais substituídos por materiais não convencionais em função da redução de massa. Polímeros sintéticos, desenvolvidos ao longo do século XX, tem um papel fundamental neste tipo de substituição [1- 3].

Polímeros são compostos macromoleculares, isto é, são compostos de moléculas muito longas, feitas da repetição de unidades moleculares fundamentais denominadas “meros”. Polímeros são sintetizados a partir da reação de compostos orgânicos simples denominados monômeros. A combinação da composição química (átomos de baixa massa molecular, como o carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), geometria das moléculas (moléculas longas e unidirecionais) e microestrutura (formada por emaranhado de moléculas com graus variáveis de regularidade, mas que nunca permitem uma ocupação eficiente do espaço pelos átomos), leva a uma resistência específica (relação entre a resistência mecânica e a densidade) favorável em comparação aos materiais tradicionais. Como exemplo desses materiais sintéticos, temos os plásticos: poli(Metacrilato de Metila, PMMA) e policarbonato (PC) representados pelas figuras 1 e 2 [4].

Figura 1 mostra a representação da estrutura química do monômero e do polímero do material sintético poli(metacrilato de metila) obtido na reação de poliadicação [4].

Figura 2 mostra a representação da estrutura química do monômero e do polímero do material sintético policarbonato (PC) obtido na reação de policondensação [4].

Sua grande aplicação na vida atual e no desenvolvimento acelerado das conquistas tecnológicas caracteriza a civilização contemporânea. Em projetos envolvendo construções de baixo peso, o uso deste tipo de material sintético (plástico), que retém vantagens características, como resistência à corrosão, baixo custo de processamento, liberdade de projeto, contribui para uma economia sustentável e oferece vantagens onde quer que se queira economizar energia, reduzindo esforços ou aumentando velocidades em aplicações envolvendo movimento de massa [1,5]. A união de plásticos em projetos é feita basicamente por adesivos onde há o risco de ataque químico e conseqüente degradação do plástico, muito freqüente em colagens. Desse modo, para que sejam efetuadas junções, torna-se desejável o uso de outros processos mais seguros. Um desses processos é a união por ultra-som, o qual abrange dois tipos de métodos: o método direto, no qual o sonotrodo* se localiza a uma distância menor do que 6mm da interface a unir, e o indireto, caracterizado por possuir uma distância maior que 6mm. Em ambos os métodos, o equipamento utilizado é dividido em três partes: conversor, transformador e sonotrodo [6]. É um método rápido, com tempos de processamento da ordem de 0,1 a 1 segundo empregado em grande escala, e resulta em alta qualidade além de evitar riscos (ataque químico), como no caso de colagens. Existem máquinas de soldagem automática com até 62 geradores de ultra-som, fabricadas atualmente para a produção de partes largas, como painéis e pára-choques de automóveis [6].

O processo de junção por ultra-som tem como objetivo unir peças por meio de vibrações mecânicas. A soldagem é feita no estado sólido, ou seja, sem fusão do material de base [7]. Indústrias automobilísticas são um dos grandes consumidores deste processo, o mais comum para a montagem de peças termoplásticas [6,8]. Nas indústrias de autopeças, por exemplo, utiliza-se em aplicações em painéis e pára-choques [6]. Outros setores industriais utilizam o processo de junção por ultra-som, por exemplo, na confecção de componentes de aparelhos telefônicos e microcomputadores [6]. Os principais polímeros soldáveis por ultra-som são: Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS), Poli(Metacrilato de Metila, PMMA), Nylon (Poliamidas alifáticas, PA-6, PA-6,6), Policarbonato (PC), Poliéster (LCP), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) e Poli(cloreto de vinila, PVC). No caso da soldagem dissimilar entre os plásticos, a compatibilidade de soldagem depende muito

* Nome dado à ferramenta que transmite a energia sonora ao material (polímero) a ser soldado.

dos plásticos escolhidos [7]. No presente trabalho, as junções estudadas foram dos materiais policarbonato (PC) e poli(Metacrilato de metila, PMMA). O primeiro é industrializado desde 1958 e faz parte de uma das principais famílias das resinas de engenharia, sendo obtido através de reações de policondensação[■] [1]. Ele possui elevada resistência mecânica e maleabilidade, é bom isolante térmico, possui boa resistência ao aquecimento e à chama e pode ser usado em uma larga faixa de temperaturas [4]. Sendo um dos três plásticos de engenharia mais importantes, justifica-se seu uso no presente estudo. Suas principais aplicações são em lentes de lanternas e faróis na indústria automobilística, capacetes de motociclistas, conectores e luminárias [4]. Dentre alguns de seus principais fabricantes estão a EDN, a BASF e a Proquitel cujos nomes comerciais são, respectivamente, EDN, Polystyrol e Proquitel [1,4]. O segundo (PMMA) teve sua industrialização iniciada no ano de 1932 e é obtido pelo método de reação de poliadição[♦] [1]. O PMMA possui propriedades semelhantes ao vidro, boa resistência química e ao impacto, transparência e capacidade de refletir a luz [4]. Desse modo é utilizado geralmente em aplicações como janelas de avião, lanternas de carro, protetores de chuva em janelas de carro, painéis, etc. Alguns de seus fabricantes são Companhia Petroquímica da Bahia, Cyro e Rohm & Hass, cujos nomes comerciais são, respectivamente, Acrigel, Acrylite e Acryloid [4]. Tanto o PMMA quanto o PC são materiais transparentes em função da baixa cristalinidade, não demonstrando resistência à expansão térmica da organização molecular, ou seja, eles expandem quando aquecidos, ao contrário do que acontece com polímeros de alta cristalinidade [3]. Deve-se supor que diversos fatores influem na qualidade da junta soldada por ultra-som. Dentre estes fatores, podemos citar a pressão aplicada à junta, o tempo de soldagem e o tempo de recalque (tempo em que a pressão é aplicada à junta após a soldagem). De forma que, o fator tempo de soldagem afeta a quantidade de material escoado na região da junta. Além destes parâmetros de processo, outros parâmetros de material e de projeto também afetam a qualidade da junta. Dessa forma, destacamos algumas observações relativas a qualidade tanto para materiais amorfos ou semicristalinos: 1) perda de amplitude de ondas, destacando que em materiais

[■] São polímeros sintetizados pela reação de dois grupos funcionais reativos, com eliminação das moléculas de baixo peso molecular (água, amônio, etc).

[♦] São polímeros sintetizados pela adição sucessiva de monômeros.

amorfos como o poliestireno de alto impacto (SB) o fato é mais significativo; 2) efeito do diretor de energia na junção e variação da amplitude de onda através do mesmo; 3) projeto das juntas para obtenção de juntas com melhores qualidades; 4) combinação da pressão e tamanho do diretor de energia para evitar juntas de má qualidade; 5) fatores de área para o sonotrodo, em que verificamos variação na amplitude em função da geometria da área. O cálculo de valores de índice de energia e (Θ) e do fator de amortecimento (Λ) também devem ser analisados, para estimar a capacidade de soldagem dos termoplásticos em função de campo próximo (direto) e campo longe (indireto).

O objetivo do presente trabalho é verificar os efeitos da soldagem por ultra-som no PC e no PMMA, identificando as variações de área soldada e também da resistência da junta em função da variação dos parâmetros de soldagem, tanto para junções similares como dissimilares. Este é, ao menos até onde alcança o conhecimento do autor, o primeiro trabalho a aplicar é a metodologia das normas ASTM – D638M [9], ASTM – D2919 – 90 [10], à determinação da resistência ao cisalhamento de juntas soldadas por ultra-som.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mecanismo de soldagem

O processo de soldagem por ultra-som é realizado utilizando-se um transformador eletroacústico, que transforma uma corrente alternada em oscilações longitudinais mecânicas com frequência entre 20 e 40KHz, atingindo amplitudes de onda de 20 a 100 μ m. O componente denominado sonotrodo é o agente que transmite as vibrações à junta a ser soldada. O mecanismo é dividido em três partes: conversor, transformador e sonotrodo [11], os quais são apresentados esquematicamente na figura 3, que serão agora descritas:

Figura 3 mostra esquema dos componentes do equipamento de soldagem por ultra-som: Transducer (conversor da frequência de energia elétrica em frequência de vibração); Transformer (transformador, amplificador de vibrações de ondas); Sonotrode (sonotrodo, condutor de ondas até a amostra); Moulded parts (molde para amostra); Holding fixture (fixador do molde); Emergency latch (botão de emergência); Pneumatic system (sistema pneumático); Generator and control system (converte a corrente convencional (50 – 60Hz) para energia elétrica (20 a ou 40KHz)); Welding press (controlador da pressão de soldagem); Baseplate (base do equipamento) e Two – hands safety operation (duplo sistema de acionamento) [6].

2.1.1 Conversor

Converte a frequência de energia elétrica em frequência de vibração. Para efetuação do processo, podem ser utilizados dois tipos de conversores: um conversor magnetostático, que converte a ressonância do material magnético em vibrações e que possui um alto custo e baixa eficiência (cerca de 50%), o outro que pode ser utilizado é um conversor piezoelétrico, que consiste de um esquema onde há duas

placas cilíndricas feitas de material piezoelétrico* separadas por uma fina chapa de cobre; nas outras extremidades das placas cilíndricas, temos outro material condutor, assim, quando aplicamos uma diferença de potencial no material condutor localizado na extremidade, as placas piezoelétricas “reagem”, transformando a energia elétrica em energia mecânica (vibração) [6,12].

2.1.2 Transformador

O transformador (amplificador de vibrações de ondas) é operado sempre na mesma frequência do conversor, tendo de permitir que o conversor de vibrações possa ser usado via sonotrodo para a ocorrência da solda [6].

2.1.3 Sonotrodo

Este é ligado mecanicamente ao conversor e ao transformador, possuindo três principais funções:

- Transmitir as vibrações mecânicas à peça a ser unida [6];
- Ajustar a amplitude para se obter uma amplitude precisa para junção [6]. Este parâmetro é controlado pelo fator de área (relação entre a área de entrada e a área de saída da onda no sonotrodo), este tópico será descrito com mais detalhes no item 2.1.4;
- Aplicar a pressão necessária para formar a solda [6].

Para o sonotrodo cumprir bem suas funções, é necessário que este tenha excelentes propriedades acústicas e transmita a energia ultra-sônica com poucas perdas. Geralmente, usa-se o de alumínio para grandes sonotrodos, baixas amplitudes e pequenas produções; o de titânio para uso em altas amplitudes, altos ciclos e grandes produções [6].

No processo de junção, a interface a ser unida passa por duas temperaturas principais, isto é, as vibrações longitudinais chegam a interface produzindo fricção e, conseqüentemente, aquecendo o material. Este chega a temperatura de transição vítrea (T_g), em que há a mobilidade das cadeias moleculares, em função da rotação de grupos laterais em torno das ligações primárias [4]. Elevando-se mais a temperatura, inicia-se o processo de fusão cristalina (T_f), em que regiões ordenadas

* Materiais piezoelétricos se expandem e se contraem sob a ação de uma corrente elétrica. Dessa forma, o material converte diretamente energia elétrica em mecânica [2,12].

dos polímeros, isto é, os cristalitos e esferulitos, desagregam-se e fundem, ocorrendo o processo de interdifusão na interface como mostra a figura 4 [4]. Após o encerramento do processo de fricção, inicia-se a diminuição da temperatura e o material torna-se mais rígido, de forma que as cadeias assumem conformações mais favoráveis. Para junções similares, as conformações formam regiões de estrutura ordenada, cristalina, descontínua, geralmente lamelar, interligadas por segmentos da cadeia como mostra a figura 5 [4]. As temperaturas de fusão e vítreas dos materiais estudados PC e PMMA são, respectivamente, 268 °C, 150 °C e 160 °C, 105 °C [5].

Polímero no estado fundido, com cadeias emaranhadas

Figura 4 mostra o polímero no estado fundido com cadeias emaranhadas [4].

Polímero no estado sólido, com cadeias parcialmente ordenadas; cristallitos lamelares

Figura 5 mostra polímero no estado sólido, com cadeias parcialmente ordenadas; cristallitos lamelares [4].

2.1.4 Fator de área

Na junção dos termoplásticos por ultra-som, as vibrações longitudinais resultantes das ondas sonoras são transmitidas através do sonotrodo a peças a serem unidas, de modo que a amplitude das ondas varia em função da geometria do booster (transformador), e do sonotrodo (área S_1 e S_2) [6], mostrado pela figura 6 e equação 1 [6].

Figura 6 mostra a geometria do sonotrodo em função das suas áreas.

$$A = \frac{S_1}{S_2} = \frac{(D_1)^2}{(D_2)^2} \quad (1)$$

Onde D_1 e D_2 representam os diâmetros da seção do booster e do sonotrodo respectivamente.

No booster e no sonotrodo existe uma taxa de ampliação ou redução que corresponde à razão entre a área superior e inferior, ou ao quadrado entre o diâmetro superior e inferior, o qual é mostrado pela equação 1. Por exemplo, para um sonotrodo de $S_1 = 60\text{mm}^2$ (primeira área) e $S_2 = 40\text{mm}^2$ (segunda área) a taxa de ampliação de onda será: $60/40 = (1,5)^2 = 2,25$.

O grau de amplitude de onda necessária para que se obtenha uma interface de junção adequada é controlado por este método. Para materiais amorfos, em função da pouca perda de amplitude, podemos trabalhar com amplitudes menores, uma vez que estes materiais possuem pouca variação do fator de perda mecânica ($\tan\delta$) e do módulo de cisalhamento (G) durante o processo de junção [6], (Tópico discutido no item 2.5). Neste trabalho, para efetuação de junções do PMMA e PC (perfil ASTM D 638M), foi utilizado o sonotrodo quadrado com ampliação de ondas, em função da geometria de área superior (D_1) e inferior (D_2) do sonotrodo, como já mostrado pela figura 6.

2.2 Tipos de solda

- Método direto: o sonotrodo localiza-se a uma distância menor do que 6mm da interface a ser unida, geralmente utilizada para materiais mau condutores de ondas ultra-sônicas [6].

- Método indireto: o sonotrodo localiza-se a uma distância maior do que 6mm da interface a ser unida. O sucesso desta operação depende da habilidade do material propagar vibrações sem amortecimento, geralmente bem sucedida para materiais bons condutores de vibrações. Ressalta-se que cada material possui uma distância crítica (acima da qual a junção não é possível) [6].

2.3 Projeto da junta

Para utilização no campo das indústrias, deve-se projetar geometrias de juntas com as seguintes características:

- redução inicial da superfície de contato entre os componentes a serem soldados possibilitando a obtenção de uma alta concentração de energia necessária para uma rápida fusão [6];
- folga suficiente entre os componentes para que uma parte vibre livremente em relação à outra e para que se crie a vibração necessária para a soldagem [6];
- espaço suficiente para acomodar o escoamento do material para evitar inchaço externo e trincamento da junta [6];
- o diretor de energia deve possuir dimensões (volume de material a fundir) que preencha toda a cavidade da junta (interface) [6].

2.4 Transmissão de energia

Sabe-se, que superfícies de contato lisas são inadequadas para soldagem por ultra-som. A geometria da superfície de contato apresentada na figura 7 e 8 mostra boa soldabilidade. O formato de geometria da figura 7 é utilizado para termoplásticos amorfos e o da figura 8 para termoplásticos semicristalinos [6]. Fato concluído empiricamente.

Figura 7 exemplos de projeto para termoplásticos amorfos [6].

Figura 8 exemplos de projeto para termoplásticos semicristalinos [6]

Quase todas as geometrias das superficies de contato possuem um chanfro em formato em “V”, denominado diretor de energia, o qual pode ser visto como uma chave que conecta a parte superior à inferior no método de junção. Descrevendo as distribuições vibracionais no diretor de energia, vemos que, pela representação da figura 9, na base superior do diretor de energia, ou seja, no plano AA, a amplitude vibracional é alta, e na ponta do diretor, isto é, nos cantos do plano CC, ela é zero, de forma que o processo de fusão tem que iniciar nestes pontos (em função de ser a região de contato onde ocorre o atrito), como mostrado na micrografia do diretor de energia figura 10.

A energia sonora introduzida no diretor de energia pode ser decomposta em uma componente reversível e outra irreversível. A componente irreversível é convertida em calor. Este tipo de energia convertida é dependente da pressão de junção, que é determinada pelo quociente da pressão de contato estático[▪] e a área da seção da parte a ser unida [6].

Figura 9 esquema representativo da distribuição de amplitude no diretor de energia [6].

▪ Pressão de contato estático é o valor da pressão total determinada desprezando-se a perda de pressão durante a movimentação das peças durante a soldagem.

Figura 10 mostra micrografia do diretor de energia irradiado por ultra-som [6].

2.5 Perda de amplitude em termoplásticos amorfos e semicristalinos.

Propriedades favoráveis de soldagem podem ser esperadas de materiais que apresentam um alto módulo de cisalhamento (G) e um baixo fator de perda mecânica $\tan \delta$ até temperatura de transição vítrea (T_g). Polímeros amorfos possuem estas propriedades como mostra a figura 11, de modo que estes materiais apresentam pouca perda de amplitude na condução da onda sonora (através do material) até a interface a soldar.

Figura 11 mostra o comportamento do módulo de cisalhamento (G) e do fator de perda mecânica ($\tan \delta$) para materiais amorfos, material poliestireno de alto impacto (SB) [13,14].

Em materiais semicristalinos ocorre uma acentuada queda do módulo de cisalhamento (G) e um aumento no fator de perda mecânica $\tan \delta$ acima da temperatura de transição vítrea (T_g) (em função do amolecimento das partes amorfas) ou acima da zona de fusão (T_f), como mostra a figura 12. Materiais que possuem estas características apresentam uma maior perda de amplitude na condução da onda sonora (através do material) até a interface de junção [13,14].

Figura 12 mostra o comportamento do módulo de cisalhamento (G) (shear modulus G) e do fator de perda mecânica ($\tan \delta$) (mechanical loss factor $\tan \delta$) para materiais semicristalinos, material poli(tereftalato de butileno, PBT) [13,14].

2.6 Método para estimar a capacidade de soldagem dos termoplásticos

A capacidade de soldagem dos termoplásticos em consideração ao processo de campo próximo (distância do sonotrodo à interface de junção menor que 6mm) e ao processo de campo longe (distância maior que 6mm) pode ser estimada pelo seguinte cálculo:

$$\Lambda = \pi \eta \quad (2)$$

$$\phi = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{\rho c}{E \left[\frac{\eta}{2} + \frac{m}{\pi} \nu \right]} d\vartheta \quad (3)$$

Λ é o fator logaritmo de amortecimento, que constitui a medida da redução de amplitude quando a distância entre o sonotrodo e a interface de junção é equivalente a um comprimento de onda;

η = amortecimento;

ϕ = índice de energia;

ϑ_1 = temperatura de transição vítrea ou temperatura de cristalização;

ϑ_2 = temperatura ambiente;

ρ = densidade;

c = capacidade térmica;

E = modulu de rigidez;

ν = coeficiente de fricção no estado sólido;

m = calculado pela equação 4.

$$m = 0,25 \left[1 - \left(\frac{p}{p_k} \right)^{0,7} \right] \quad (4)$$

onde:

p = pressão adequada à junção;

P_k = pressão na faixa de curvas da figura 13 abaixo.

Figura 13 mostra o tempo de fusão para junção (Time t_e) versus pressão de contato estática (Static contact pressure p) em função da amplitude de onda (A_m) (para o material policarbonato (PC) [6].

As equações são válidas para a temperatura acima à de transição vítrea para termoplásticos amorfos e acima da temperatura de cristalização para termoplásticos semicristalinos. Um amortecimento máximo ocorre nestas temperaturas de tal maneira que a transição para o plástico fundido ocorre toda de uma vez. Também é ressaltado que todos os valores dos materiais são dependentes da temperatura, e tanto o módulo de rigidez quanto o amortecimento são dependentes da frequência [6].

Após se obter os valores de índice de energia e (Θ) e do fator de amortecimento (Λ) podemos estimar a capacidade de soldagem dos termoplásticos:

- quanto maior (Θ), mais energia será necessária para o processo de junção;
- e quanto menor (Λ), mais energia chegará a superfície de junção, ou seja, ocorrerá uma menor perda de amplitude.

De um modo geral os dois fatores devem ser relacionados para se verificar a capacidade dos termoplásticos, de modo que um menor (Θ) e um também menor (Λ) resulta em boa soldabilidade para ambos métodos (direto e indireto). Por outro lado, com um alto valor de (Θ) e um alto valor de (Λ) podem ser somente executadas junções pelo método direto. Os valores de tais parâmetros para vários materiais, incluindo PMMA e PC estão apresentados na figura 14;

Figura 14 mostra faixa de índice de energia (Θ) (Dimensionless energy factor) e fator de amortecimento (Λ) (Log damping decrement(Λ), para polímeros amorfos e semicristalinos [6].

2.6.1 Variação de índice de energia (Θ) e fator de amortecimento (Λ).

As amplitudes de onda para os materiais PMMA e PC são respectivamente em média 27,5 [(20 + 35)/2 = 27,5]) e 32,5 μ m, como mostrado por Wickman e Watson, por meio da tabela 1 [13]. Este fato está de acordo com os valores mostrados por Watson, pela figura 14 [6], em que o PMMA apresentou um valor de fator de amortecimento de ($\Lambda = 0,12$), o qual é maior do que o apresentado pelo PC ($\Lambda = 0,035$), fixando uma diferença em uma faixa de 0,085, sendo uma diferença relativamente pequena em relação à diferença dos valores de índice de energia apresentado pelos mesmos, de modo que, o PMMA apresentou valores de ($\Theta = 0,80$), enquanto o PC ficou em uma faixa de ($\Theta = 9$). Este maior valor de fator de amortecimento (cerca de 8,20 a mais) apresentado pelo PC aumenta significativamente os valores de perda de amplitude de onda para este material, necessitando este de maiores amplitudes de onda para ocorrer a junção (cerca de 5 μ m a mais). Como foi especificado anteriormente por Wickman e Watson, que materiais com maiores

valores de índices de energia e fatores de amortecimento requerem maiores amplitudes de ondas, por possuírem maiores perdas de amplitude [13].

Tabela 1 mostra valores de amplitude adotada em prática na soldagem por ultra-som de diferentes materiais termoplásticos [13].

Material	Amplitude (μm)
Poliestireno (PS)	15 a 30
Poliestireno (de alto impacto) (SB)	20 a 35
Terpolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)	20 a 30
Copolímero de estireno-acrinolitrila (SAN)	15 a 30
*Poli (metacrilato de metila) (PMMA)	20 a 35
Poli (óxido de propileno) (PPO)	25 a 40
*Policarbonato (PC)	25 a 40
Poli (óxido de metileno) (POM)	40 a 50
Poliamida (PA)	35 a 55
Poli (tereftalato de etileno) (PET) (PETP)	20 a 40
Poli (tereftalato de butileno) (PBT) (PBTP)	45 a 55
Derivados de celulose	25 a 35
Poli (cloreto de vinila) (PVC, duro)	20 a 40
Poli (cloreto de vinila) (PVC, suave)	25 a 40
Polietileno (PE)	25 a 60
Polipropileno (PP)	30 a 60

Outro fator que influencia significativamente o valor das amplitudes de ondas necessárias à junção é determinado pela característica cristalina do material, como se este é amorfo ou semicristalino. Sabe-se que materiais semi cristalinos necessitam de maiores amplitudes de ondas para se efetuarem junções adequadas, uma vez que estes possuem uma grande queda do módulo de cisalhamento (G) e um grande crescimento do fator de perda mecânica $\text{Tan}\delta$ durante o processo de junção, conseqüência do amolecimento das partes amorfas com aumento de temperatura [13].

Ob.: O assunto retratado no tópico acima (2.6.1) não foi utilizado no trabalho experimental, pois o equipamento de soldagem utilizado não permite variação de amplitude de onda. Ele é apresentado aqui apenas como uma informação.

2.7 Qualidade de junção em função da pressão e do tamanho (volume) do diretor de energia.

Como já foi citado, a pressão tem um papel significativo na qualidade de junta, assim como o diretor de energia também afeta significativamente o aspecto da junta, como podemos verificar nas micrografias abaixo:

(a)

(b)

(c)

Figura 15 mostra uma junção na qual o diretor de energia utilizado foi (a) menor que o necessário e a pressão aplicada à junção foi muito alta, de forma que não ocorreu o preenchimento de toda a interface (as bolhas e os poros são decorrentes da degradação do plástico fundido pela ação do ultrassom), (b) onde a pressão aplicada foi muito alta, de forma que o diretor de energia foi inserido dentro da peça inferior sem que neste ponto ocorresse a junção (soldas deste tipo possuem tensões residuais muito grandes) e (c) onde o diretor de energia e a pressão foram adequados (bem combinados), de modo que o aspecto de junção é ideal [6].

2.8 Influência do peso molecular na junção

Brandi (informação verbal*) cita que polímeros com pesos moleculares menores possuem uma difusividade melhor e soldam mais rápidos do que aqueles que possuem um peso molecular maior. Sabe-se também que polímeros com um grau maior de complexibilidade da molécula possuem uma difusividade menor e, por sua vez, uma soldabilidade menos eficaz.

A influência do peso molecular dos polímeros na difusividade ocorre porque a onda sonora não flui uniformemente em polímeros de alto peso molecular. Conseqüentemente, a vibração e o aquecimento também não propagam, fazendo com que a junção nestes materiais de alto peso não seja uniforme, reduzindo a resistência mecânica na interface de junção. Nos materiais estudados (PMMA e PC) por Wickman e Watson, verificou-se que o PMMA necessitou de uma menor amplitude de onda (20 - 35 μ m) [13-14], apesar deste possuir um maior peso molecular entre (500.000 – 1.000.000), comparando-se com o PC, que possui um peso molecular entre (10.000 - 30.000), o qual foi necessária uma amplitude de onda de (25 - 40 μ m) [13-14]. Nesse caso, os fatores de difusividade em função do peso não corresponderam adequadamente. Desse modo, verificamos que, nestes materiais, a relação de difusividade foi influenciada apenas pelo fator de complexibilidade da molécula, sendo que o PMMA figura 1 apresenta um menor grau de complexibilidade da molécula comparando-se ao PC figura 2.

2.9 Difusão em polímeros

O processo de difusão nos polímeros inicia-se pelo rompimento das ligações mais fracas, ou seja, ligações intermoleculares (entre as moléculas), sendo estas as ligações secundárias ou de Van der Waals. Na sequência ocorre o rompimento das ligações primárias (mais fortes), ou seja, as ligações intramoleculares, e o processo leva a degradação do polímero. O processo de difusão constitui-se da movimentação de moléculas inteiras.

* Brandi, S.D., Junção de materiais, São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (2003), anotação de aula.

2.10 Influência da massa molecular na resistência dos polímeros

A resistência à tração dos materiais poliméricos é altamente influenciada pela massa molecular, como mostrado na figura 16 [4]. Desse modo, espera-se que os polímeros a serem estudados (PMMA e PC) comportem esses resultados.

Figura 16 mostra variação da resistência a tração em relação a massa molecular [4].

2.11 Processo mecânico para formação de espuma através de resinas termoplásticas

Os processos de condução, podem ser divididos em processos mecânicos, físicos e químicos. No primeiro citado, as bolhas são formadas por meio do pressionamento do gás no plástico fundido sob alta pressão e fixam as bolhas pela solidificação do plástico através de seu resfriamento figura 17 [15], semelhante ao processo por ultra-som descrito no item 5.3.2 (Discussão e resultados).

Figura 17 espuma de célula fechada obtida por meio do pressionamento do gás no plástico fundido sob alta pressão [15].

2.12 Análise de variância (comparação entre várias médias)

A análise de influência de determinados parâmetros sobre uma propriedade sujeita a uma dispersão de resultados e requer o uso de testes estatísticos. O principal teste paramétrico utilizado para este fim é o teste de análise de variância (AV) que se baseia na hipótese de, dados dois valores distintos do parâmetro, os dados obtidos da propriedade provêm da mesma distribuição normal (isto é, média e variância coincidem para as duas observações) [16,17].

São hipóteses implícitas da análise de variância:

1. A distribuição que gera a dispersão de dados da propriedade possui a mesma variância para qualquer valor do parâmetro [16,17].
2. As K populações tenham a mesma variância e que a variável de interesse seja normalmente distribuída em todas as populações [16,17].

Sendo válidas estas hipóteses a AV permite testar a hipótese de nulidade [16,17].

H_0 : as médias das distribuições que geram os resultados são idênticas para diferentes valores do parâmetro. Ou seja, se H_0 for rejeitada isto implica que o parâmetro influencia o valor da medida [16,17].

Para o cálculo de análise de variância em função da comparação de várias médias inicialmente desenvolvida pelo estatístico Fisher [16] para dois critérios (comparação de mais de um parâmetro (tratamento) admitiremos que exista um total de nK observações, constituindo K amostras (número de linhas) de n elementos (número de elementos de cada linha). Vamos usar a notação segundo a qual x_{ij} ($i=1,2,\dots,K=1,2,\dots,n$) j -é o i -ésimo valor da j -ésima amostra de n elementos, e definimos:

$$T_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} = \text{soma dos valores da } i\text{-ésima amostra,}$$

$$T = \sum_{i=1}^K T_i = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = \text{soma total dos valores,}$$

$$\bar{x} = \frac{T_i}{n_i} = \text{média da } i\text{-ésima amostra,}$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 = \text{soma dos quadrados dos valores da } i\text{-ésima amostra,}$$

$$Q = \sum_{i=1}^K Q_i = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 = \text{soma total dos quadrados,}$$

$$\bar{x} = T / \left(\sum_{i=1}^K n_i \right) = \text{média de todos os valores.}$$

Desta forma obtemos as estimativas das variâncias referentes aos testes dados , que são:

$$s_T^2 = \frac{Q - T^2 / (\sum_{i=1}^K n_i)}{\sum_{i=1}^K n_i - 1} = \frac{SQT}{\sum_{i=1}^K n_i - K} = \text{estimativa total} \quad \text{equação (5)}$$

$$s_E^2 = \frac{\sum_{i=1}^K (T_i^2 / n_i) - T^2 / (\sum_{i=1}^K n_i)}{K - 1} = \frac{SQE}{K - 1} = \text{estimativa entre as amostras} \quad \text{equação (6)}$$

$$s_R^2 = \frac{Q - \sum_{i=1}^K (T_i^2 / n_i)}{\sum_{i=1}^K n_i - K} = \frac{SQR}{\sum_{i=1}^K n_i - K} = \text{estimativa residual} \quad \text{equação (7)}$$

Com o auxílio destas quantidades constrói-se a tabela de variância, como mostra a tabela 2, que permite calcular o parâmetro F de Fisher. Este é comparado a valores tabelado de F_α em função do número de graus de liberdade entre as amostras e número de graus de liberdade residuais dado um certo nível de confiança α para rejeição da hipótese H_0 .

Tabela 2 mostra exemplo de tabela de variância

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Gráus de liberdade	Quadrado médio	F	F_α
Entra amostras	SQE	$K-1$	$s_E^2 = \frac{SQE}{K-1}$	$F = \frac{s_E^2}{s_R^2}$	$F_{K-1, \sum n_i - K, \alpha}$
Residual	SQR	$\sum_{i=1}^K n_i - K$			
Total	SQT	$\sum_{i=1}^K n_i - 1$			

Quando:

$F > F_\alpha$ existe diferença significativa entre linhas ou colunas (o parâmetro, ou tratamento, aplicado influenciou nas amostras) [16,17];

$F < F_\alpha$ não existe diferença significativa entre linhas ou colunas (o parâmetro, ou tratamento, aplicado não influenciou nas amostras) [16,17].

Iremos agora apresentar um exemplo, retirado da literatura, para o cálculo para análise de variância [16]:

Vamos supor três amostras de cinco elementos cada, cujos valores são:

Amostra 1 – 64 66 59 65 62

Amostra 2 – 71 73 66 70 68

Amostra 3 – 52 57 53 56 53

Temos claramente um caso em que a hipótese H_0 deveria ser rejeitada pela Análise da Variância, conforme podemos concluir da figura 18 abaixo, em que os valores das três amostras foram plotados.

Figura 18 mostra três amostras de cinco elementos.

Vemos que as três amostras parecem confirmar a hipótese implícita de homocedasticidade, mas as faixas em que os valores se apresentam diferem claramente de amostra para amostra. Entretanto sempre podemos estimar a variância pela estimativa residual, obtida dentro das amostras. No presente caso, obteríamos $s_1^2 = 7,7$, $s_2^2 = 7,3$, $s_3^2 = 4,7$ e $s_R^2 = 6,567$. Se resolvêssemos, porém, calcular s_T^2 para os dados acima, iríamos obter seguramente um valor muito alto, pois a evidente falsidade de H_0 torna a faixa total em que os valores ocorrem muito maior que a faixa em que ocorrem dentro de cada amostra individual. Com efeito, no presente exemplo, obteríamos $s_T^2 = 48,381$, valor esse que não sabemos ser uma estimativa válida para variância. Da mesma forma, também não seria válida a estimativa s_E^2 , a qual, pelo mesmo motivo, tenderia a superestimar a variância. Com efeito, teríamos obtido $s_E^2 = 299,27$. Note-se que, sendo falsa H_0 , considerável parte da variação total se deve à diferença existente entre as médias populacionais, restando uma parcela atribuível ao acaso. Dessa forma, a variação residual deve-se apenas ao acaso, sendo a variação que resta quando se desconsideram todas as fontes identificáveis de variação, daí sua denominação.

Vemos, que, sendo falsa a hipótese H_0 , haverá uma tendência a que s_T^2 e s_E^2 , superestimem variância, o que não ocorrerá com s_R^2 . Inversamente, se H_0 for verdadeira s_T^2, s_E^2 e s_R^2 fornecerão estimativas justas pra a variância comum.

Temos aí o ponto em que se apóia o método da Análise de Variância. Sendo H_0 verdadeira, as estimativas s_E^2, s_R^2 serão independentes, podendo-se compara-las mediante um teste F [16].

Ob.: Para um melhor entendimento do método aplicado para Análise de Variância o leitor deve consultar as referências (16 e 17) indicadas no texto.

2.13 Teste estatístico da prova de sinais

A prova de sinais tem sua denominação devido ao fato de utilizar como dados de sinais “mais” e “menos”, ao invés de medidas quantitativas. É particularmente útil nos trabalhos de pesquisa em que é impossível ou inviável a obtenção de uma mensuração quantitativa, mas é possível estabelecer *postos* em relação a cada um dos dois membros de cada par.

A prova dos sinais é aplicável ao acaso de duas amostras relacionadas quando o pesquisador deseja determinar se duas condições são diferentes. A única suposição que a prova dos sinais exige é que a variável em estudo tenha distribuição básica contínua. A prova não faz qualquer suposição sobre a forma da distribuição das diferenças, nem supõe que todos os indivíduos tenham sido extraídos da mesma população. Os diferentes pares podem provir de populações diferentes com respeito a idade, sexo, inteligência etc.; a única exigência é que, dentro de cada par, o pesquisador tenha conseguido um nivelamento quanto às variáveis extrínsecas importantes [18].

2.13.1 Método de aplicação

A hipótese de nulidade comprovada pela “prova dos sinais” é que

$$p(X_A > X_B) = p(X_A < X_B) = \frac{1}{2}$$

onde X_A é o julgamento, ou escore, sob uma das condições (ou após o tratamento) e X_B é o julgamento, ou escore, sob a outra condição (ou antes do tratamento). Isto é,

X_A e X_B , são dois escores para um par. Outra formulação de H_0 : a diferença mediana é zero.

Ao aplicar a prova dos sinais, focaliza-se o sentido da diferença entre cada X_{Ai} e X_{Bi} , observando se o sinal da diferença é “mais” ou “menos”. Sob H_0 , seria de esperar-se que o número de pares com $X_A > X_B$ fosse igual ao número de pares com $X_A < X_B$. Isto é, se a hipótese de nulidade é confirmada, pode-se esperar que cerca da metade das diferenças tenha sinal “mais” e a outra metade tenha sinal “menos” [18].

Pequenas amostras. A probabilidade associada à ocorrência de um determinado número de sinais “mais” e sinais “menos” pode ser obtida mediante referência à distribuição binomial com $P = Q = \frac{1}{2}$ onde N = número de pares. Se um par não acusa diferença (i.é, se a diferença, sendo nula, não tem sinal), é desprezado na análise, reduzindo-se, assim, o valor de N . A tabua D (a qual consta no apêndice da referencia (18)) dá as probabilidades associadas à ocorrência, sob H_0 , de valores tão pequenos quanto x para $N < 26$. Para utilizar esta tabela, seja x o número de sinais que ocorrem com menor freqüência [18].

Sejam, p. ex., 20 pares observados, 16 deles com diferenças em um sentido (+) e os outros quatro com sinal (-). Aqui $N = 20$, $x = 4$. Indica que a probabilidade de tal distribuição de sinais “+” e “-”, ou de uma distribuição ainda mais extensa, sob H_0 , é $P_{ROB.} = 0,006$ (unilateral).

A prova dos sinais pode ser unilateral ou bilateral. Em uma prova unilateral, a predição já indica qual dos sinais, “+” ou “-”, ocorrerá com maior freqüência. Em uma prova bilateral, a previsão é simplesmente de que as freqüências de ocorrência dos dois sinais serão significativamente diferentes. Para uma prova bilateral, devemos duplicar os valores de $P_{ROB.}$ exibidos na tabela [18].

Ob.: Para um melhor entendimento do método aplicado (Teste estatístico da prova de sinais) o leitor deve consultar a referência indicada no texto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição das materiais PMMA e PC.

O material PMMA (resina de copolímero acrílico, Acrigel) fornecido pela empresa Resarbras da Bahia S.A. (RESARBRAS ACRÍLICOS), código do produto 01-DH-ECC, cor cristal.

O material PC (Makrolon) fornecido pela empresa Bayer, código do produto 2458, cor cristal (farbe 55\115), lote (PARTIE) 881291.

3.2 Procedimento para injeção do material (PMMA e PC tipo ASTM D638M)

Manteve-se o material por um período de 24 horas à temperatura de 80°C para retirada da umidade (secagem, uma vez que são materiais higroscópicos) [19-20] em uma estufa marca Heraeus, modelo VT 6025 (Vacuum Drying Oven) [21]. Após este período, injetaram-se as amostras modelo ASTM D638 M como mostra figura 19, em duas orientações (horizontal e vertical) utilizando-se uma injetora Marca Demag Van Dorn, Modelo ERGOtech pro 35-115, tecnologia Mannesmann [22-24]. Os parâmetros de injeção estão na tabela 3:

Figura 19 mostra a amostra do tipo ASTM D638M com injeção horizontal e vertical.

Tabela 3 mostra os parâmetros para injeção de PMMA e PC

Parâmetros para injeção	Material	
	PMMA	PC
Pressão de injeção	160 atm	210 atm
Velocidade de injeção	60 rpm	79 rpm
Tempo de injeção	7,0 seg	8,0 seg
Pressão de recalque	100 atm	100 atm
Tempo de espera	20 seg	20 seg
Tempo de resfriamento	20 seg	20 seg
Temperatura na zona de entrada	230 °C	298 °C
Temperatura na zona de homogeneização	230 °C	307 °C
Temperatura na zona de plastificação	230 °C	317 °C
Temperatura na zona de injeção	230 °C	312 °C
Temperatura do molde	58 °C	51 °C
Tempo de dosagem	14 seg	12,18 seg
Velocidade de dosagem	200 rpm	200 rpm
Curso de dosagem	61,5 mm	46,2 mm

3.3 Procedimento para junção do material (PMMA e PC tipo ASTM D638M)

No presente trabalho, utilizou-se o equipamento de soldagem por ultra-som (localizada no laboratório de junção do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais), do tipo: Soldadoras Integradas, série 900IW, empresa BRANSON Ultrasonics Corporation como mostra a figura 20. Este equipamento permite realizar junções ultra-sônicas com a variação de pressão, tempo de soldagem e tempo de recalque, na qual a amplitude de onda é um parâmetro constante [25]. O sonotrodo utilizado é de alumínio e possui a geometria apresentada na figura 6, sendo adequada à soldagem das amostras do tipo ASTM D638M.

Figura 20 mostra o equipamento de soldagem por ultra-som. Tipo: Soldadoras Integradas; Série 900IW; Empresa: BRANSON Ultrasonics Corporation.

Os corpos de prova para a soldagem por ultra-som foram obtidos seccionando-se os corpos de prova injetados do tipo ASTM D638M na metade do comprimento útil e sobrepondo-se as duas metades (fixadas através do gabarito) pelo comprimento a ser soldado (12mm), como mostra a figura 21.

Figura 21 mostra o comprimento da área soldada (12mm).

A região de sobreposição foi então soldada pelo método direto, utilizando-se de variações dos parâmetros de soldagem, tais como: tempo de soldagem (0,400seg para 0,200seg), pressão (13,9Psi (0,095MPa) para 10,0 Psi (0,069MPa) e 7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de recalque (0,150seg para 0,350seg); tanto para soldagem similar (de materiais iguais PMMA/PMMA e PC/PC) e soldagem dissimilar (de materiais diferentes, PMMA/PC) e com direções de injeções similares (HH, VV) e dissimilares (HV), com intuito de obter diferentes áreas de soldagem. É importante ressaltar que a geometria adotada é desfavorável à obtenção das juntas perfeitas (em

função da ausência de um diretor de energia, D.R. e pela variação de recheio do corpo de prova). Um dos objetivos do presente trabalho é estudar o efeito dos parâmetros de soldagem na produção de defeitos na junta e caracterizar seu efeito sobre a respectiva resistência ao cisalhamento.

Durante o processo de soldagem, as peças são fixadas de forma que o sonotrodo transmita oscilações tangenciais para a peça. Se a pressão exercida e a amplitude de movimentos na interface a soldar forem suficientemente fortes, ocorre a fluidificação[♦], as superfícies aquecidas se aproximam e as suas forças de ligação entram em ação, sendo o aquecimento restrito a uma camada muito fina [7].

3.4 Procedimento para medição da área soldada das amostras (tipo ASTM D638M)

Utilizou-se o equipamento para análise de imagens tipo Macro Viwer, (programa para análise de área Leica Qwin), situado no instituto de Petrografia Sedimentar (Instituto de Geociências da USP.), onde se mediu a área soldada das amostras por contraste.

3.5 Teste de resistência ao cisalhamento das amostras do tipo ASTM D638M soldadas

Para execução do teste de cisalhamento, foi desenvolvido o dispositivo (citado no item (4.3 Resultados e discussão)) específico para amostras soldadas do tipo ASTM D638M, por consequência das mesmas não se adequarem ao tipo de teste de cisalhamento referente à norma utilizada. Utilizou-se a Máquina Universal de ensaios Kratos, modelo K 2.000MP, coma a aquisição e análise de dados feita com o software: Tracomp-W95 (TRCV 48), usando uma célula de carga de 500Kgf [26].

3.6 Análise da rugosidade superficial das amostras ASTM D638M antes da união.

Para aferição da rugosidade das amostras de PMMA, utilizamos um rugosímetro do tipo Surfcomer SE 1700 α , pelo qual definiram-se os seguintes parâmetros de utilização: velocidade de varredura de 0,005mm/s, “cut off” (λ_c) de

[♦] Entende-se por fluidificação a diminuição da viscosidade do material (o material de sólido torna-se pastoso).

0,800mm e comprimento analisado de 4,000mm como mostrado pela figura 22. Analisou-se a rugosidade no menor comprimento da região central em ambos os lados do corpo de prova.

Figura 22 mostra esquema das divisões do cut off (λ_c) para análise da rugosidade média.

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{\sigma} / \varepsilon \quad (10)$$

onde: E = módulo de rigidez, σ = resistência a tensão, ε = deformação linear média na região da curva.

3.8 Procedimento para obtenção das micrografias do material de base (PMMA e PC tipo ASTM D638M) fraturado no teste de tração.

Depositou-se uma camada de ouro na superfície a ser analisada por meio do equipamento de deposição marca BALZERS, modelo SCD 050 SPUTEN COATER sob as condições: 1) tempo de deposição de 120 segundos; 2) temperatura de 21°C; 3) uma corrente de deposição de 45 mA.

As micrografias do material de base modelo ASTM D638M foram obtidas por meio do microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.), marca CAMBRIDGE, modelo STEREOCAM 240, sob as condições: 1) detector do tipo elétrons secundários; 2) voltagem de 20KV; 3) distância de trabalho de 25mm (distância entre a superfície da amostra até o feixe de elétrons).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência à tração e módulo de rigidez do material de base

No material de base (PMMA), verificou-se uma média de resistência à tração de 7,05 Kgf/mm² (69,14MPa), uma média de deformação linear (ϵ) de 0,018 e um módulo de rigidez (E) de 3,84 GPa, diferindo pouco do resultado tabelado na literatura (2,9 GPa) [4].

Ob.: Para o cálculo dos valores acima, utilizaram-se apenas os resultados do ensaio referente à amostra 1, o qual se fez uso do extensômetro.

No material de base de PC, verificou-se uma média para resistência à tração de 7,65 Kgf/mm²(75,02MPa), média de deformação linear (ϵ) de 0,028 e um valor médio para módulo de rigidez (E) de 2,43GPa, o que esta de acordo com o resultado tabelado na literatura (2,45 GPa) [4].

4.1.1 Micrografias das amostras (material de base) fraturadas no teste de tração.

Figuras 23 e 24 a, b, c e d mostram a superfície do PMMA fraturado.

PMMA amostra 1

Figura 23a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo (32,2 X reduzida em 68%)

Figura 23b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 23c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada, ângulo de 70° (32,2 X, reduzida em 68%).

Figura 23d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), na qual se destacam os picos de deformação.

PMMA amostra 2

Figura 24a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X reduzida em 65%).

Figura 24b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 24c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X reduzida em 68%)

Figura 24d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, na qual se destacam os picos de deformação.

Figuras 25 e 26 a, b, c, e d mostram a superfície do PC fraturado.
PC amostra 3

Figura 25a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X reduzida em 60%)

Figura 25b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 25c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 68%).

Figura 25d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), na qual se destacam os picos de deformação.

PC amostra 4

Figura 26a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 66%)

Figura 26b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 26c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 68%).

Figura 26d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°.

As micrografias acima mostram o comportamento dos materiais PMMA e PC submetidos à tração, onde se verificam fraturas sobre cuja superfície se apresentam pequenos picos de deformação como mostrado pelas figuras 23 d, 24 d e 25 d, que é característico dos materiais poliméricos utilizados (PMMA e PC). Na figura 27, podemos verificar a diferença de deformação entre os materiais utilizados.

Na comparação entre o tipo de fratura apresentada pelos materiais acima, verificamos pelas fotos que o PMMA apresenta um tipo de fratura mais “lisa”, o qual pode ser verificado nas figuras 23 a, 23 b e 24 a, 24 b, comparado ao PC figuras 25 a, 25 b e 26 a, 26 b. Desse modo, concluímos algumas diferenças as quais estão relacionadas ao tipo de material testado.

Figura tensão *versus* deformação, material PMMA e PC.

Figura 27 mostra o comportamento dos polímeros PMMA e PC quando submetidos a uma taxa de deformação constante de 5mm/min, a qual descreve um comportamento frágil.

Micrografia das superfícies fraturadas próximo a solda, figuras 28 e 29 a, b, c, d

Amostra PMMA 1

Figura 28a mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 55%).

Figura 28b mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 28c mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada (ângulo de 70°), (32,2 X, reduzida em 67%).

Figura 28d mostra a micrografia da superfície do PMMA fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, onde verifica-se picos de deformações mais arredondados.

As amostras soldadas de PMMA, as quais sofreram um possível aquecimento próximo a região fraturada em função do processo de junção, demonstraram uma fratura com um aspecto diferente (picos mais arredondados), como pode ser verificado na figura 28d em comparação as figuras 23d e 24d. Este fato nos dá um grande indício que o processo de junção por ultra-som afeta de alguma forma a região próxima à junção, diferindo o aspecto de fratura. Isto se dá possivelmente porque, quando o material é aquecido, ele perde a orientação obtida pela injeção, sendo esta uma possível causa da mudança de aspecto apresentada pelo PMMA.

Figura 29a mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo, (32,2 X, reduzida em 66,5%).

Figura 29b mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

Figura 29c mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°, (32,2 X, reduzida em 67,5%).

Figura 29d mostra a micrografia da superfície do PC fraturado próximo à solda, obtida no M.E.V.(Microscópio eletrônico de varredura), vista inclinada ângulo de 70°.

4.1.2 Alongamento na ruptura

O material de base apresentou uma média de alongamento na ruptura de 1,8% para o PMMA, como mostrado na figura 27.

O material de base possui valores de 3,2% para o PC, como mostrado na figura 27.

4.2 Resultados para análise da rugosidade superficial das amostras ASTM D638M antes da união.

Os resultados são referentes à análise da rugosidade no menor comprimento da região central em ambos os lados do corpo de prova, obtendo-se os seguintes valores para R_a : 0,2299 μm e 0,5778 μm , como mostram as figuras 30a e 30b. Nestes notam-se os maiores picos representativos de alojamento de ar.

Figura 30 apresenta o resultado da análise por rugosímetro de duas superfícies de uma amostra de PMMA (a) primeiro lado e (b) segundo lado.

4.3 Teste de resistência ao cisalhamento das amostras do tipo ASTM D638M soldadas

Inicialmente, os corpos de prova de cisalhamento foram carregados diretamente por meio das garras da máquina de tração. Entretanto observou-se que os corpos de prova rompiam-se sistematicamente por tração com a fratura se iniciando próximo a base da junta, em função do surgimento de uma concentração de tensão na região apontada na figura 31. O rompimento pode ter ocorrido por dois motivos: 1) desalinhamento da máquina (para amostras com junções de menor resistência que ao do material de base) e 2) o de a junção ser mais resistente que o material de base.

Figura 31 mostra a região de concentração de tensão próxima área soldada.

Dessa forma, somente foi possível verificar a resistência da junção das amostras do tipo ASTM D638M por meio do dispositivo (semelhante ao dispositivo da norma ASTM D4501 – 85) [27] mostrado pela figura 32a , b e c. Os resultados do teste de resistência ao cisalhamento das juntas podem ser verificados nas tabelas 31 a 51 do apêndice A;

Figura 32a mostra dispositivo aberto.

Figura 32b mostra dispositivo montado com amostra posicionada.

Figura 32c mostra amostra rompida após o teste de tração.

4.4 Variação de área em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 33 a 41.

4.4.1 Tempo de soldagem

Nas figuras 33 (PMMA), 34 (PC) e 35 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento do tempo de soldagem influi significativamente no aumento da área soldada para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PMMA (VV) como mostra a figura 33, que apresentou uma diminuição de área em função do aumento do tempo de soldagem e da amostra com junção dissimilar de PMMA (V) com PC (V) como mostra a figura 35, que apresentou um aumento de área não significativo, fatos influenciados pela diferença de rechupe apresentada pelas amostras.

Figura 33 mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.

Figura 34 mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.

Figura 35, mostra a variação de área soldada em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37.a 42 do apêndice A

4.4.2 Pressão de soldagem

Nas figuras 36 (PMMA), 37 (PC) e 38 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento da pressão influi significativamente no aumento da área soldada para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PMMA (HH) e de PMMA (HV) como mostra a figura 36, que apresentaram uma diminuição de área em função do aumento da pressão, e da amostra com junção dissimilar de PMMA (V) com PC (V) como mostra a figura 38, que também apresentou uma diminuição de área em função do aumento da pressão (0,069 MPa para 0,095MPa), fatos influenciados pela diferença de rechupe apresentada pelas amostras.

Figura 36 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A

Figura 37 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A

Figura 38 mostra a variação de área soldada em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A

4.4.3 Tempo de recalque

Nas figuras 39 (PMMA), 40 (PC) e 41 (PMMA com PC), podemos verificar que o tempo de recalque não influi significativamente na área soldada para a maioria das juntas soldadas, assim, podemos verificar pela figura 39 que a amostra de PMMA (HH) e a amostra de PMMA (HV) apresentaram uma diminuição de área soldada em função do aumento do tempo de recalque, e a amostra de PMMA (VV) apresentou um aumento da área soldada em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 40 podemos verificar que as amostras de PC (VV) e de PC (HV) apresentaram uma diminuição da área soldada em função do aumento do tempo de recalque e a amostra de PC (HH) apresentou um aumento da área soldada em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 41 podemos verificar que as amostras de PMMA (V) com PC (H) e de PMMA (V) com PC (V) apresentaram uma diminuição de área soldada em função do aumento do tempo de recalque, e as amostras de PMMA (H) com PC (H) e de PMMA (H) com PC (V) apresentaram um aumento de área soldada em função do aumento do tempo de recalque. Fatos influenciados pela diferença de recheio apresentada pelas amostras, em

consequência de que o tempo de recalque não influencia significativamente na área das amostras soldadas.

Figura 39 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A

Figura 40 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se nas tabelas 34 a 36 do apêndice A.

Figura 41 mostra a variação de área soldada em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se nas tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.5 Variação da tensão em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 42 a 50.

4.5.1 Tempo de soldagem

Nas figuras 42 (PMMA), 43 (PC) e 44 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento do tempo de soldagem influi significativamente na diminuição da tensão para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PMMA (VV) como mostra a figura 42, que apresentou um aumento da tensão em função do aumento do tempo de soldagem, e das amostras com junção dissimilar de PMMA (V) com PC (V) e de PMMA (H) com PC (V) como mostra a figura 44, que apresentaram um aumento da tensão em função do aumento do tempo de soldagem.

Figura 42 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se nas tabelas 31 a 33 do apêndice A..

Figura 43 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se nas tabelas 34 a 36 do apêndice A.

Figura 44 mostra a variação da tensão em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.5.2 Pressão de soldagem

Nas figuras 45 (PMMA), 46 (PC) e 47 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento da pressão influenciou significativamente no aumento da tensão para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PC (VV) como mostra a figura 46, que apresentaram uma diminuição da tensão em função do aumento da pressão, e das amostras com junção dissimilar de PMMA (V) com PC (H) como mostra a figura 47, que também apresentou uma diminuição da tensão em função do aumento da pressão (0,069 MPa para 0,095MPa).

Figura 45 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA.

Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A..

Figura 46 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas, 34 a 36 do apêndice A..

Figura 47 mostra a variação da tensão em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.5.3 Tempo de recalque

Nas figuras 48 (PMMA), 49 (PC) e 50 (PMMA com PC), podemos verificar que o tempo de recalque não influi significativamente na tensão para a maioria das juntas soldadas, assim, podemos verificar pela figura 48 que a amostra de PMMA (HH) apresentou um aumento da tensão em função do aumento do tempo de recalque, as amostras de PMMA (VV) e de PMMA (HV) apresentaram uma diminuição da tensão em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 49 podemos verificar que a amostra de PC (HH) apresentou uma diminuição da tensão em função do aumento do tempo de recalque, e as amostras de PC (VV) e de PC (HV) apresentaram um aumento da tensão em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 50 podemos verificar que as amostras de PMMA (H) com PC (H), PMMA (V) com PC (V), PMMA (H) com PC (V) e PMMA (V) com PC (H), apresentaram um aumento da tensão em função do aumento do tempo de recalque. Fatos influenciados pela diferença de rechepe apresentada pelas amostras, em

consequência de que o tempo de recalque não influencia significativamente nas amostras soldadas.

Figura 48 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A..

Figura 49 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A

Figura 50 mostra a variação da tensão em função do tempo recalque, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.6 Variação da tensão aparente em função do aumento dos parâmetros (tempo de soldagem, pressão e tempo de recalque) como mostram as figuras 51 a 59.

4.6.1 Tempo de soldagem

Nas figuras 51 (PMMA), 52 (PC) e 53 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento do tempo de soldagem influi significativamente no aumento da tensão aparente (para área cte o fator do tempo de soldagem influência apenas na resistência da junta, aumentando a mesma) para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PMMA (V) com PC (H), que apresentou uma diminuição da tensão em função do aumento do tempo de soldagem como mostra a figura 53, fato influenciado pela diferença de rechupe apresentada pelas amostras

Figura 51 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.

Figura 52 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 37 do apêndice A.

Figura 53 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se nas tabelas 37 a 42 do apêndice A.

4.6.2 Pressão de soldagem

Nas figuras 54 (PMMA), 55 (PC) e 56 (PMMA com PC), podemos verificar que o aumento da pressão influenciou significativamente na diminuição da tensão aparente (para área cte, a pressão de soldagem influi apenas na resistência da junta, diminuindo a mesma) para a maioria das juntas soldadas. Com exceção da junta de PMMA (VV), que apresentou um aumento da tensão em função do aumento da pressão de soldagem como mostra a figura 54, e das amostras de PC (HV), que também apresentou um aumento da tensão em função do aumento da pressão de soldagem como mostra a figura 55, e da amostra com junção dissimilar de PMMA (V) com PC (V), que também apresentou um aumento da tensão em função do aumento da pressão como mostra a figura 56.

Figura 54 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A..

Figura 55 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.

Figura 56 mostra a variação da tensão aparente em função da pressão de soldagem, para amostras de PMMA\PC. Os dados encontram-se na tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.6.3 Tempo de recalque

Nas figuras 57 (PMMA), 58 (PC) e 59 (PMMA com PC), podemos verificar que o tempo de recalque não influi significativamente na tensão aparente para a maioria das juntas soldadas, assim, podemos verificar pela figura 57 que a amostra de PMMA (HH) não apresentou variação da tensão aparente em função do aumento do tempo de recalque, e as amostras de PMMA (VV) e de PMMA (HV) apresentaram uma diminuição da tensão aparente em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 58, podemos verificar que as amostras de PC (HH) e PC (HV) apresentaram uma diminuição da tensão aparente em função do aumento do tempo de recalque, e a amostra de PC (HV) apresentaram um aumento da tensão aparente em função do aumento do tempo de recalque. Na figura 59 podemos verificar que as amostras de PMMA (H) com PC (H), PMMA (V) com PC (V), PMMA (H) com PC (V) e PMMA (V) com PC (H), apresentaram um aumento da tensão aparente em função do aumento do tempo de recalque. Fatos influenciados pela diferença de rechupe apresentada pelas amostras, em consequência de que o tempo de recalque não influencia significativamente nas amostras soldadas.

Figura 57 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA. Os dados encontram-se na tabelas 31 a 33 do apêndice A.

Figura 58 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PC. Os dados encontram-se na tabelas 34 a 36 do apêndice A.

Figura 59 mostra a variação da tensão aparente em função do tempo de recalque, para amostras de PMMA/PC. Os dados encontram-se nas tabelas 37 a 42 do apêndice A..

4.7 Efeito da variação dos parâmetros de soldagem sobre a área soldada.

4.7.1 Junções similares.

4.7.1.1 Efeito da variação da pressão e sobre a área soldada, para amostras de PC/PC, que possuem direção de injeção horizontal.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção, como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior

área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 4.

4.7.1.2 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção horizontal.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 4;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 4.

Tabela 4 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa); sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque): 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão:

10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra Pc/Pc	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

Ob.: Em função da máquina utilizada para obter as fotos ser manual, estas possuem diferentes medidas, dessa forma, o cálculo para medida de área em função das fotos, deve ser feito através da regra de três.

4.7.1.3 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção horizontal.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra soldada com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 5.

Tabela 5 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold Time (tempo de recalque) 0,150 seg ; figura G, Hold Time (tempo de recalque): 0,350 seg.

Amostra Pc/Pc	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura G)

4.7.1.4 Efeito da variação da pressão e sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção horizontal.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) não apresentou variação na área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou

diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 6.

4.7.1.5 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA , que possuem direção de injeção horizontal.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição na área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 6;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 6.

Tabela 6 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg; Pressão:

10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA/PMMA	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.1.6 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para as amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção horizontal

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 7.

Tabela 7 mostra as amostras de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra PMMA/PMMA	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura G)

4.7.1.7 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção vertical.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com parâmetros diferentes como também em relação às amostras injetadas horizontalmente, como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg), apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 8.

4.7.1.8 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC/PC, que possuem direção de injeção vertical.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição na área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg), apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 8;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 8.

Tabela 8 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg,

Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg;
 Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg;
 Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg,
 Pressão 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PC/PC	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.1.9 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PC/PC que possuem direção de injeção vertical.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de soldagem em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 9.

Tabela 9 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra PC/PC	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura G)

4.7.1.10 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA, que possuem direção de injeção vertical.

A junção similar do PMMA com os seguintes parâmetros de soldagem: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação às amostras soldadas com pressões menores, porém a quantidade de material fundido que escoou para fora da interface continuou sendo excessivo, comparando-se as amostras unidas com menores pressões de soldagem, como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com os seguintes parâmetros de soldagem: pressão (10 Psi (0,069Mpa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou um aumento da área de junção e uma diminuição da quantidade de material escoado para fora da interface em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) também apresentou um aumento da área de junção e uma menor quantidade de material fundido escoado para fora da interface em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 10;

Ob.: A diferença de alterações das áreas soldadas (comparada com a dos outros grupos de peças com mesma variação de pressão) ocorreu porque as peças apresentaram diferentes variações de rechupe. Aquelas que apresentaram maior quantidade de rechupe apresentam a junção apenas nas extremidades, onde se localiza o ponto de contato da interface, como no caso da amostra soldada com os seguintes parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg). Por este motivo, também se analisou a variação dos parâmetros pela quantidade de material escoado.

4.7.1.11 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA, que possuem direção de injeção vertical.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 10. O fato ocorreu em função da diferença de rechupe apresentado pela amostra, como já discutido anteriormente.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 10;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior

diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 10.

Tabela 10 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg; Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg; Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA/PMMA	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.1.12 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold Time) sobre a área soldada, para amostras de PMMA/PMMA que possuem direção de injeção vertical.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de soldagem em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 11.

Tabela 11 mostra as amostras de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
PMMA/PMMA		
Pressão (0,095MPa)
	(figura A)	(figura G)

4.7.1.13 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V), que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 12.

4.7.1.14 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 12;

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 12.

Tabela 12 mostra as amostras de PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,057MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg; Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PC(H)/PC(V)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.1.15 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time), sobre a área soldada, para amostras de PC(H)/PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PC similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou grande variação da área de soldagem em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 13.

Tabela 13 mostra as amostras de PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra PC(H)/PC(V)	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	G) (figura

4.7.1.16 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) não apresentou variação significativa na área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa); como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 14.

4.7.1.17 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V), que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição na área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (10 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 14;

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 14.

Tabela 14 mostra as amostras de PMMA soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA(H)/PMMA(V)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.1.18 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, para amostras de PMMA(H)/PMMA(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção do PMMA similar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou grande variação da área de soldagem em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 15.

Tabela 15 mostra as amostra de PMMA soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra PMMA(H)/PMMA(V)	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura G)

4.7.2 Junções dissimilares.

4.7.2.1 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(H), que possuem direções de injeções horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área

de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou também uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 16.

4.7.2.2 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(H), que possuem direções de injeções horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma grande diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 16;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 16.

Tabela 16 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA(H)/PC(H)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.2.3 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(H) que possuem direções de injeções horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 17;

Tabela 17 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
PMMA(H)/PC(H)		
Pressão (0,095MPa)
	(figura A)	(figura G)

4.7.2.4 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(V) que possuem direções de injeções verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) não apresentou uma maior área de junção fato ocorrido pela diferença de rechupo apresentada pela amostra, como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área

de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 18.

4.7.2.5 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(V), que possuem direções de injeções verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 18;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 18.

Tabela 18 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa), figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA(V)/PMMA(V)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.2.6 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras PMMA(V) e do PC(V) que possuem direções de injeções verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 19.

Tabela 19 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque) 0,350 seg.

Amostra	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
PMMA(V)/PC(V)		
Pressão (0,095MPa)	<p>(figura A)</p>	<p>(figura G)</p>

4.7.2.7 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(V), que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção, como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052Mpa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 20.

4.7.2.8 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 20;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de junção de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 20.

Tabela 20 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA(H)/PC(V)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.2.9 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(H) e do PC(V) que possuem direções de injeções horizontais e verticais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 21.

Tabela 21 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque): 0,350 seg.

Amostra	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
PMMA(H)/PC(V)		
Pressão (0,095MPa)
	(figura A)	(figura G)

4.7.2.10 Efeito da variação da pressão sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA (V) e do PC (H), que possuem direções de injeções verticais e horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095 MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069 MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052 MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior área de junção em relação às amostras soldadas com tempo de soldagem de 0,200 segundo, como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma maior diminuição da área de junção em relação à amostra unida com pressão de 13,9 Psi (0,095 MPa), como mostrado na tabela 22.

4.7.2.11 Efeito da variação do tempo de soldagem sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(H) que possuem direções de injeções verticais e horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (10,0 Psi (0,069 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma menor área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 22;

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (7,5 Psi (0,052 MPa)), tempo de soldagem (0,200 seg), tempo de recalque (0,150 seg) apresentou uma diminuição da área de junção em relação à amostra unida com tempo de soldagem de 0,400 segundo, como mostrado na tabela 22.

Tabela 22 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com as seguintes variações de parâmetros: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg para 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa), para 10 Psi (0,069MPa) e para 7,5 Psi (0,052MPa), sendo o seguinte parâmetro fixo: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg. Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura B, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa); figura C, Weld time (tempo de soldagem): 0,400 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura D, Weld time (tempo de soldagem) 0,200 seg, Pressão: 10 Psi (0,069 MPa); figura E, Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa); figura F, Weld time (tempo de soldagem): 0,200 seg; Pressão: 7,5 Psi (0,052 MPa).

Amostra PMMA(V)/PC(H)	Tempo de soldagem (segundos)	
	(0,400 seg)	(0,200seg)
Pressão (0,095MPa)	(figura A)	(figura B)
Pressão (0,069MPa)	(figura C)	(figura D)
Pressão (0,052MPa)	(figura E)	(figura F)

4.7.2.12 Efeito da variação do tempo de recalque (Hold time) sobre a área soldada, na junção dissimilar das amostras de PMMA(V) e do PC(H) que possuem direções de injeções verticais e horizontais.

A junção dissimilar com parâmetros: pressão (13,9 Psi (0,095MPa)), tempo de soldagem (0,400 seg), tempo de recalque (0,350 seg) não apresentou variação significativa da área de junção em relação à amostra unida com tempo de recalque de 0,150 segundo, como mostrado na tabela 23.

Tabela 23 mostra as amostras dissimilares de PMMA/PC soldadas com a seguinte variação de parâmetro: Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg para 0,350 seg, sendo os seguintes parâmetros fixos: Weld time (tempo de soldagem) 0,400 seg, Pressão: 13,9 Psi (0,095 MPa). Cada figura possui os seguintes parâmetros: figura A, Hold time (tempo de recalque) 0,150 seg; figura G, Hold time (tempo de recalque): 0,350 seg.

Amostra	Tempo de recalque (segundos)	
	(0,150 seg)	(0,350seg)
PMMA(V)/PC(H)		
Pressão (0,095MPa)
	(figura A)	(figura G)

4.8 Discussão sobre os resultados obtidos no teste de resistência ao cisalhamento

Nos testes de cisalhamento realizados, verificamos que as amostras do tipo ASTM D638M soldadas similarmente (PMMA/PMMA) com direções de injeção similares (HH) apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento, comparado às amostras soldadas com direções de injeções (VV e HV). Ou seja, de 7 (sete) diferentes parâmetros de soldagem utilizados (o qual pode ser verificado nas tabelas 31 a 33 do apêndice A) as amostras com soldagem de ((PMMA(H)/PMMA(H)) apresentaram maiores valor resistência ao cisalhamento em 4 (quatro) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 57,14%, comparado

às amostras com soldagem de ((PMMA(V)/PMMA(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 3 (três) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 42,86%. Na comparação entre as amostras com soldagem de ((PMMA(H)/PMMA(H)) e as amostras com soldagem de ((PMMA(H)/PMMA(V)), o primeiro grupo de amostras ((PMMA(H)/PMMA(H)) apresentou maiores valores resistência ao cisalhamento em 5 (cinco) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 71,42%, comparado às amostras de ((PMMA(H)/PMMA(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 2 (dois) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 28,58%. Na comparação entre as amostras com soldagem de ((PMMA(V)/PMMA(V)) e as amostras com soldagem de ((PMMA(H)/PMMA(V)), o primeiro grupo de amostras ((PMMA(V)/PMMA (V)) apresentou maiores valores resistência ao cisalhamento em 6 (seis) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 85,72%, comparado às amostras de ((PMMA(H)/PMMA(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 1 (um) parâmetro de soldagem mostrando um valor total de 14,28%.

Dessa maneira, verificamos que as soldagens de PMMA/PMMA com direções de injeção similares (HH e VV) apresentam maiores valores de resistência ao cisalhamento, comparado às amostras com direções de injeções (HV). Sendo as amostras de ((PMMA(H)/PMMA(H)) as que possuem maiores valores de resistência ao cisalhamento entre todas os tipos de soldagens (HH, VV e HV).

No material PC, as amostras com soldagem similar de ((PC(V)/PC(V)) apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento, comparado às amostras soldadas com direções de injeções (HH e HV), (o qual pode ser verificado nas tabelas 34 a 36 do apêndice A). As amostras com soldagem de (PC(V)/PC(V)) apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em 4 (quatro) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 57,14%, comparado às amostras de (PC(H)/PC(H)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 3 (três) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 42,86%. Na comparação entre as amostras com soldagem de ((PC(V)/PC(V)) e amostras de ((PC(H)/PC(V)) o primeiro grupo de amostras ((PC(V)/PC(V)) apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento em 6 (seis) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 85,72%, comparado às amostras com soldagem de ((PC(H)/PV(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao

cisalhamento em apenas 1 (um) parâmetro de soldagem mostrando um valor total de 14,18%. Na comparação entre as amostras com soldagem de ((PC(H)/PC(V)) e amostras com soldagem de ((PC(H)/PC(H)) o primeiro grupo de amostras ((PC(H)/PC(V)) apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento em 4 (quatro) parâmetros de soldagem, mostrando um valor total de 57,14%, comparado às amostras com soldagem de PC (H)/PC (H), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 3 (três) parâmetros de soldagem mostrando um valor total de 42,86%.

Dessa maneira, verificamos que as soldagens de PC com direções de injeção (VV e HV) apresentam maiores valores de resistência ao cisalhamento, comparado às amostras com direções de injeções (HH). Sendo as amostras de PC (VV) as que possuem maiores valores de resistência ao cisalhamento entre todas os tipos de soldagens (HH, VV e HV).

Na comparação total entre os dois materiais PMMA/PMMA e PC/PC soldados similarmente, verificamos que em 95,24% dos ensaios realizados a soldagem de PMMA/PMMA apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento, ou seja, de um total de 21 ensaios de resistência ao cisalhamento realizado o PMMA obteve 20 valores superiores em relação ao PC, analisando-se todos os tipos de soldagens similares entre os dois materiais.

Este fato mostra que os resultados obtidos são divergentes em relação aos resultados apresentados pela matéria-prima. Nesta, as amostras apresentaram valores de resistência de 275 Kgf para o PMMA e de 315 Kgf para o PC.

A resistência à tração dos materiais poliméricos é altamente influenciada pelo peso molecular, como citado no item 2.10 (Revisão bibliográfica), Contudo, no caso dos materiais testados (matéria-prima), o PC, que possui um menor peso molecular, na faixa de 10.000 - 30.000, comparado ao PMMA, que possui um peso molecular em uma faixa entre 500.000 – 1.000.000, este parâmetro não influenciou. Ou seja, o material com menor peso molecular (PC) demonstrou uma maior resistência à tração, influenciando apenas para as amostras de soldagem similar (HH, VV e HV) na qual o PC apresentou menores valores de resistência. Outro importante aspecto que influenciou significativamente nas propriedades mecânicas dos polímeros em geral é o fato de que materiais com estrutura química de maior organização molecular demonstram uma maior resistência mecânica [4], tópico não abordado aqui.

Nos testes realizados com as amostras com soldagem dissimilar ((PMMA (H)/PC(H)), ((PMMA(V)/PC(V)), ((PMMA(H)/PC(V)), ((PMMA(V)/PC(H)), verificamos que a soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(V)) apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento. Ou seja, de 7 (sete) diferentes parâmetros de soldagem (o qual pode ser verificado nas tabelas 37 a 41 do apêndice A) a soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(V)) apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento comparado aos outros grupos com soldagens de (PMMA/PC) . Na primeira classe de comparações entre as amostras de soldagem dissimilar, as amostras com soldagem de ((PMMA(V)/PC(V)) apresentaram maiores valores de resistência em 7 (sete) parâmetros, mostrando um total de 100%, comparado às amostras de ((PMMA (H)/PC(H)), que não apresentaram maior valor de resistência em nenhum parâmetro, mostrando um total de 0%. Na comparação das amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(V)) e as amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(H)), o primeiro grupo ((PMMA(V)/PC(V)) apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento em 6 (seis) parâmetros, mostrando um total de 85,72%, comparado às amostras com soldagem de ((PMMA(V)/PC(H)), que apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento em apenas 1 (um) parâmetro, mostrando um total de 14,28%. Na comparação das amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC (V)) e as amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(H)/PC(V)), o primeiro grupo ((PMMA(V)/PC(V)) apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento em 6 (seis) parâmetros, mostrando um total de 85,72%, comparado às amostras com soldagem de ((PMMA(H)/PC(V)), que apresentaram maiores valores de resistência em apenas 1 (um) parâmetro, mostrando um total de 14,28%.

Na comparação da segunda classe de amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(H)/PC(H)) e as amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(H)), o primeiro grupo ((PMMA(H)/PC(H)) apresentou maiores valores de resistência em 4 (quatro) parâmetros, mostrando um total de 57,14%, comparado às amostras com soldagem de ((PMMA(V)/PC(H)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 3 (três) parâmetros, mostrando um total de 42,86%. Na comparação das amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(H)/PC(H)) e as amostras com soldagem dissimilar de PMMA (H)/PC (V), o primeiro grupo ((PMMA(H)/PC(H)) apresentou maior valor de resistência em 5 (cinco) parâmetros, mostrando um total de 71,43%, comparado às amostras com soldagem de ((PMMA

((H)/PC(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 2 (dois) parâmetros, mostrando um total de 28,57%.

Na comparação do restante das amostras de soldagem dissimilar de ((PMMA(V)/PC(H)) e as amostras com soldagem dissimilar de ((PMMA(H)/PC(V)), o primeiro grupo ((PMMA(V)/PC(H)) apresentou maior valor de resistência em 5 (cinco) parâmetros, mostrando um total de 71,42%, comparado às amostras de soldagem ((PMMA(H)/PC(V)), que apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento em apenas 2 (dois) parâmetros, mostrando um total de 28,58%.

Dessa maneira, verificamos que as soldagens similares de ((PMMA(V)/PMMA(V)) obtiveram maiores valores de resistência ao cisalhamento, seguidas pelas soldagens de ((PMMA(H)/PMMA(H)), ((PMMA(V)/PMMA(H)) e de ((PMMA(H)/PMMA(V)).

Fazendo-se uma comparação entre a resistência ao cisalhamento da soldagem similar de maior valor ((PMMA(H)/PMMA(H)) e da resistência ao cisalhamento da soldagem dissimilar de maior valor ((PMMA(V)/PC(V)), verificamos que os materiais com soldagem similar de ((PMMA(H)/PMMA(H)) possuem maiores valores de resistência ao cisalhamento, ou seja, na comparação feita semelhante ao método anterior verifica-se que as soldagens de ((PMMA(H)/PMMA(H)) apresentou maior valor de resistência em 5 (cinco) parâmetros, mostrando um total de 71,42%, comparado às amostras de soldagem ((PMMA(H)/PC(V)), que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em apenas 2 (dois) parâmetros, mostrando um total de 28,58%.

4.9 Influência da pressão e do tempo de soldagem na região unida (área de soldagem)

Quando verificamos a influência da pressão na junção similar, verificamos que junções trabalhadas com maiores pressões possuem uma maior área de soldagem em função do atrito na interface ser maior, aumentando a força friccional a qual se opõe ao deslizamento, elevando mais a temperatura na região da junção degradando uma maior quantidade de material. Conseqüentemente, produz-se uma junção mais eficaz, ao ponto de vista de quantidade de área unida, diferenciando-se de juntas trabalhadas com menores pressões as quais produzem menores áreas de junções. No trabalho realizado, verificamos que 86,52% das amostras com junção similar diminuíram a área em função da diminuição da pressão. Os outros 13,48%

aumentaram a área soldada, fenômeno causado pela diferença de rechupe encontrado nas amostras injetadas.

Os resultados de variações de áreas foram mais explícitos para o PC, com variações de pressões entre 13,9 (0,095MPa) para 10 Psi (0,069MPa) e entre 10 Psi (0,069MPa) para 7,5 Psi (0,052MPa), mostrando uma diferença média de pressão de 3,2 Psi (0,044 MPa) para atingirmos diferenças significativas de área. No PMMA, para conseguirmos variações de áreas significativas, as variações de pressões foram entre 13,9 Psi (0,095MPa) e 7,5 Psi (0,052MPa). Ou seja, o PMMA apresentou variações significativas de área unida com uma maior variação de pressão, sendo de 6,4 Psi (0,044 MPa). Fazendo-se uma comparação de redução de área, não notamos em todas as amostras a conseqüente redução de resistência: 30% das amostras testadas, aumentaram em pequena quantidade (4 a 32Kgf) sua resistência, enquanto 56,52% diminuíram a resistência de acordo com a diminuição da área unida. Essas variações certamente foram influenciadas pela variação de rechupe das amostras.

Para as amostras com junções dissimilares, verificamos que 68,75% apresentaram redução de área unida em função da redução da pressão; o restante de 31,25% apresentou um aumento de área em função da diminuição do mesmo parâmetro de soldagem, fenômeno causado pela diferença de rechupe encontrado nas amostras injetadas. Fazendo-se uma comparação de redução de área, semelhante a análise feita para as amostras similares, não foi notada em todas as amostras a conseqüente redução de resistência, em função da diminuição da área: 43,75% das amostras testadas aumentaram (42 a 97Kgf) sua resistência, enquanto 25% diminuíram a resistência de acordo com a diminuição da área unida.

Dessa maneira, verificou-se que as amostras com soldagem similar (PMMA/PMMA e PC/PC) apresentaram resultados mais significativos em relação à variação de pressão, de área e de resistência ao cisalhamento (cerca de 56,25%). As amostras de soldagem dissimilar (PMMA/PC) apresentaram resultados menos significativos em relação à variação de pressão, de área e de resistência ao cisalhamento (cerca de 25%).

O aumento da pressão e conseqüente aumento de temperatura (em função do maior atrito) também influencia na quantidade de material escoado para fora da interface pelo fato de que materiais com baixa cristalinidade possuem um alto coeficiente de expansão térmica, isto é, não possuem resistência à expansão da organização molecular. Desse modo, que quando aquecidos a valores excessivos,

ocorre a expansão, fazendo com que o material expandido flua para fora da interface, ocorrendo o escoamento, como mostrado abaixo pela figura 60.

Escoamento de material

Figura 60 mostra junta com escoamento de material.

Sabe-se que o escoamento não é de boa eficácia, pois, com a retirada do excesso de material (usinagem), produzimos a quebra da molécula, reduzindo as propriedades mecânicas da junta, como mostra a figura 61. Com a finalização do processo de soldagem e posterior resfriamento (solidificação) do material, o volume adquirido não volta ao seu valor original em função da quantidade de ar existente na interface, o qual foi difundido para dentro do material durante o processo, diminuindo sua densidade .

Figura 61 esboço da quebra da molécula de PMMA.

Com diminuição do tempo de soldagem, isto é, diminuição do tempo de aplicação das vibrações mecânicas à interface (de 0,400 segundo para 0,200 segundo), ocorre uma diminuição da área unida (fato ocorrido em 90% das amostras soldadas). Isto ocorre em consequência da degradação de uma menor quantidade de material na interface, pelo fato do aquecimento e elevação da temperatura não ocorrerem uniformemente em toda a superfície, pois as micro rugosidades existentes na interface, como mostra a figura 62 não permitem uma temperatura uniforme na interface a pequenos tempos de soldagem, diminuindo os pontos de união. Note-se que, em tempos menores, os picos de rugosidade mais altos, os quais possuem maior

contato (atrito), atingem a temperatura de difusão primeiro. Dessa forma, em menores tempos

Figura 62 mostra os picos onde o contato interfacial ocorre primeiro e a conseqüente interdifusão (soldagem).

os picos mais baixos não são unidos. Este aspecto diminui as propriedades mecânicas do material como a resistência ao cisalhamento, o qual é especificado pela equação abaixo:

$$\sigma = F/A \quad \dots\dots\dots(11)$$

Onde: σ é a tensão sofrida pela peça (interface), F é a força aplicada e A = área unida. Assim, interfaces com menores áreas de soldagem (A) necessitam de menores aplicações de força (F) para atingirem valores iguais de tensões (σ) por unidade de área, ocorrendo mais facilmente o rompimento da região unida.

Ambos parâmetros como pressão e tempo de soldagem aumentam a área a

Figura 63 mostra esquema da relação entre o tempo de junção e amplitude de onda, para área soldada, não soldada e escoamento de material

ser unida, mas, conseqüentemente, aumentam também o escoamento do material, o que traz conseqüências já discutidas anteriormente. Desse modo, para se obter junções de boa qualidade, necessita-se de um conformismo entre estes dois aspectos.

As relações entre o tempo de soldagem e amplitude de onda também devem ser controladas para obter junções de boa qualidade como descrito pela figura 63. Nela, verifica-se que tempos de junções mais baixos necessitam de maiores amplitudes de ondas e tempos de junções mais altos necessitam de menores amplitudes para ocorrer à junção. Pela figura, verificamos a combinação dos parâmetros: sendo que os que caem **dentro da área de soldagem**, a união da junta ocorre sem que ocorra escoamento de material para regiões externas à junta; **fora da área de soldagem** podem ocorrer dois fenômenos: 1) a junta não sofre junção; 2) ou sofrer a junção com escoamento de material para regiões externas a ela. O primeiro fenômeno é explicado pelo fato da energia ultra-sônica aplicada a junta não ser suficiente a ponto de proporcionar o atrito necessário, a elevação da temperatura e a fusão, de forma que a junção não ocorre. No caso de utilizarmos iguais amplitudes de ondas de um material amorfo em um material semicristalino, a junção obtida caíra neste primeiro fenômeno. O segundo caso se explica pelo fato do tempo de soldagem aplicado estar acima dos níveis necessários à ocorrência da junção. Dessa forma, o excesso de material fundido escoou para fora da junta, como já mostrado pela figura 60.

4.10 Esbranquecimento da região soldada

Todas as regiões unidas no processo de soldagem apresentaram o fenômeno de esbranquecimento, ou seja, o material fundido na interface apresenta variação na coloração e densidade. Este fenômeno ocorre em função que, durante o processo de junção, as partes a serem unidas apresentam micro rugosidades com a presença de ar no interior delas, como mostrado nas figuras 64 e 65. Nota-se que o ar migra junto com o material amolecido (devido à pressão exercida pelo sonotrodo) durante o processo de fusão, penetrando na cadeia polimérica e, com o conseqüente resfriamento, transforma o material fundido em espuma, semelhante ao processo mecânico utilizado na transformação do plástico em espuma, descrito no item 2.11 (Revisão bibliográfica). A figura 66 a, e b mostra micrografias da superfície do material fundido PMMA e PC sequentemente.

Obs: Para a diminuição deste fenômeno, deve se executar o processo de união de termoplásticos por meio do ultra-som em meio a vácuo, pelo qual se eliminaria a interdifusão de ar na cadeia polimérica.

Figura 64 mostra o esquema da rugosidade presente na superfície que serve alojamento de ar.

Micrografia na qual se destacam as irregularidades na superfície das amostras de PMMA.

Figura 65 mostra a micrografia da superfície da amostra de PMMA, obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), na qual se destacam as irregularidades da superfície da amostra, que servem com alojamento de ar; vista inclinada ângulo de 70°, (8,00KX, reduzida 39%).

Micrografias mostram a superfície do material fundido (espuma) após a junção das amostras de PMMA e PC.

Figura 66 mostra as micrografias da superfície do material fundido (espuma) após a junção das amostras de (a) PMMA (ampliação de 7,05X) e (b) PC. Micrografias obtida no M.E.V. (Microscópio eletrônico de varredura), vista de topo.

4.11 Efeito da umidade na região soldada

Nossas primeiras amostras não passaram por tratamento de secagem (retirada da umidade) antes do processo de junção. Dessa maneira, durante o processo, a umidade encontrada no material transforma-se em vapor (com conseqüente expansão do seu volume) com a elevação da temperatura, interdifundindo junto ao material e contribuindo na transformação do plástico em espuma.

Na tentativa da diminuição do fenômeno citado, executamos o seguinte procedimento: algumas amostras foram mantidas em estufa, a uma temperatura de 65°C, por um período de 24h, eliminando-se a umidade presente no material. Após este período, executou-se o processo de união, verificando-se uma diminuição da quantidade de espuma formada na interface durante a junção. Isto pode ser verificado pelas figuras 67 a, b e c, em comparação com as figuras 68 a, b e c, onde as amostras foram submetidas ao processo sem o tratamento de retirada da umidade e foram unidas sob os seguintes parâmetros: Weld Time (tempo de soldagem) de 0,400 segundo; Hold Time (tempo de recalque) de 0,150segundo; Pressão de 13,9 Psi (0,095MPa). Dessa forma, concluímos que a presença da umidade na amostra contribui significativamente para o fenômeno citado.

Figura 67 mostra região soldada na qual a amostra passou pelo tratamento de secagem antes da união, apresentando menor quantidade de “espuma” formada, sendo esta unida sob os seguintes parâmetros: Weld Time de 0,400seg; Hold Time de 0,150seg; Pressão de 13,9 Psi (0,095MPa). Vista de topo (a) e vistas laterais (b e c).

(a)

(b)

(c)

Figura 68 mostra região soldada na qual a amostra não passou pelo tratamento de secagem antes da união, apresentando maior quantidade de “espuma” formada, sendo esta unida sob os seguintes parâmetros: Weld Time de 0,400seg; Hold Time de 0,150seg; Pressão de 13,9 Psi (0,095MPa). Vista de topo (a) e vistas laterais (b e c).

Ob.: Ambos o ar e a umidade (vapor) contribuem na transformação do plástico em espuma pelo fato de expandirem-se dentro da região soldada, diminuindo a densidade na interface unida, ou seja transformam o plástico em espuma.

4.12 Fator da não ocorrência da junção na região central do corpo de prova

Quando os corpos de prova são injetados, sua temperatura é elevada até que atinjam uma viscosidade, onde possam ser moldados. Dessa maneira, com o resfriamento, ocorre uma contração do material (caracterizada como rechupe), mais acentuado no centro do corpo de prova, tornando o microscopicamente côncavo. Assim, os pontos de contato da interface são as extremidades onde ocorre o atrito, elevação da temperatura e conseqüente junção. Amostras injetadas com diferentes variações de rechupe apresentam diferentes variações de área e de resistência ao cisalhamento

4.13 Amostra unida no centro em função do rompimento do material

Em função de uma grande quantidade de rechupe na região central da amostra, esta não suportou a pressão exercida pelo sonotrodo, rompendo-a. Dessa forma, criou-se contato nesta região com a conseqüente junção, como mostra a figura 69. Comprovando-se, assim, que a não soldagem na região central do corpo de prova ocorre em função de uma quantidade excessiva de rechupe na amostra, que pode ser amenizado através do processo de injeção adequado a cada tipo de material.

Figura 69 mostra o material que apresenta junção na região central da amostra.

4.14 Compatibilidade das junções

Todas as junções produzidas foram compatíveis, tanto as similares quanto as dissimilares, como demonstrado na microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as junções de PMMA/PMMA e PC/PC e descrito por Day e Gittos [28]. Os materiais citados encontram-se interdispersos, formando uma fase homogênea, como mostra a figura 70 a e b.

Figura 70 mostra o M.E.V. (microscopia eletrônica de varredura) da vista transversal da junta de PMMA/PMMA (a), e de PC/PC (b).

4.15 Resultados para o cálculo de análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão(P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da juntas soldadas.

Sobre a área soldada

Tabela 24 referente aos resultados do cálculo da análise da variância para **área soldada**, sendo o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre linhas ($F_{LIN.}$) de 19, e o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre colunas ($F_{COL.}$) de 18,5 valores constantes para todas as amostras.

MATERIAL	$F_{LIN.}$	$F_{COL.}$
PMMA (HH)	1,91	5,66
PMMA (VV)	0,036	1,13
PMMA (HV)	61,42	727,74
PC (HH)	1,65	15,67
PC (VV)	11,2	152,58
PC (HV)	4,70	87,35
PMMA (H) PC (H)	0,49	12,09
PMMA (V) PC (V)	6,79	4,02
PMMA (H) PC (V)	3,85	6,02
PMMA (V) PC (H)	1,79	13,36

Sobre a resistência da junta soldada

Tabela 25 referente aos resultados do cálculo da análise da variância para **resistência da área soldada**, sendo o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre linhas ($F_{LIN.}$) de 19, e o valor de $F_{\alpha=5\%}$ entre colunas ($F_{COL.}$) de 18,5 valores constantes para todas as amostras.

MATERIAL	$F_{LIN.}$	$F_{COL.}$
PMMA (HH)	6,59	7,99
PMMA (VV)	3,7	13,62
PMMA (HV)	-1,05	- 2,06
PC (HH)	6,04	6,36
PC (VV)	0,82	10,19
PC (HV)	7,32	22,05
PMMA (H) PC (H)	4,17	2,27
PMMA (V) PC (V)	0,89	1,13
PMMA (H) PC (V)	0,37	1,34
PMMA (V) PC (H)	0,89	2,6

Ob.: A sequência de cálculo para análise de variância de todos os pares de amostras encontra-se no apêndice B.

4.15.1 Discussão dos resultados para o cálculo de análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão(P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da junta soldada.

4.15.1.1 Sobre a área soldada

Dos resultados apresentados pelo cálculo de análise de variância, não verificamos resultados significativos. Das amostras analisadas esperava-se que, na maioria dos resultados, o F_c (F calculado) fosse maior que o F_α , mostrando a existência de diferença significativa entre as linhas (variação de área em função da alteração do tempo de soldagem) e colunas (variação de área em função da alteração da pressão de soldagem). Entretanto, uma observação mais atenciosa, mostrou que no conjunto de amostras, em que o **tempo de soldagem influenciou significativamente, o F_c foi menor que o F_α , mostrando a não existência de uma diferença significativa entre as linhas** (variação de área em função da alteração do tempo de soldagem). Este resultado não corresponde com os resultados experimentais obtidos, pois verificamos que a variação do tempo de soldagem influencia significativamente na área das amostras soldadas (exceto para amostras com soldagem de ((PMMA (V)/PMMA (V)).

Para a análise de variância em função das colunas (variação de área em função da alteração da pressão de soldagem), os resultados corresponderam mais significativamente. As amostras sobre as quais a **pressão influenciou significativamente** como no caso das amostras de ((PMMA(H)/(PMMA(V)), ((PC (V)/PC(V)), e ((PC(H)/PC(V)), o F_c foi maior que o F_α , mostrando um resultado satisfatório entre colunas, que corresponde com os resultados experimentais. Em outro conjunto de amostras analisadas de ((PMMA(H)/PC(V)), sobre as quais a **variação de pressão também influenciou significativamente, o F_c foi menor que o F_α** , mostrando um resultado não satisfatório entre colunas, e que não corresponde com os resultados experimentais. No restante das amostras analisadas de ((PMMA (H)/PMMA(H)), ((PMMA(V)/PMMA(V)), ((PC(H)/PC(H)), ((PMMA(H)/PC (H)), ((PMMA(V)/PC (V)), e ((PMMA(V)/PC(H)), sobre as quais a **variação de pressão não influenciou significativamente, o F_c foi menor que o F_α** , mostrando que não existe uma diferença significativa entre as colunas, fato que corresponde com os resultados experimentais.

Dessa maneira, verificou-se que os resultados da análise de variância em função da área soldada *versus* pressão foram mais significativos, pois os resultados coincidiram com os resultados experimentais na maioria dos casos analisados.

4.15.1.2 Sobre a resistência da junta soldada

Dos resultados apresentados pelo cálculo de análise de variância do tempo de soldagem e da pressão em função da resistência da junta, não se verificaram resultados significativos, semelhante ao caso anterior da análise feita em função da área. Ou seja, no conjunto de amostras onde **o tempo de soldagem influenciou significativamente**, como no caso das amostras de ((PMMA(H)/PMMA(H)), ((PMMA(V)/PMMA(V)), ((PC(H)/PC(H)), ((PC(V)/PC (V)), e ((PC(H)/PC(V)), o F_c foi menor que o F_α , **mostrando a não existência de uma diferença significativa entre as linhas** (variação da resistência da junta em função da alteração do tempo de soldagem), fato que não corresponde com os resultados experimentais obtidos. Neles verificamos que a variação do tempo de soldagem influencia significativamente na área das amostras soldadas. No restante das amostras analisadas, sobre as quais **tempo de soldagem não influenciou significativamente**, como no caso das amostras de ((PMMA(H)/PMMA(V)), ((PMMA(H)/PC(H)), ((PMMA(V)/PC(V)), ((PMMA(H)/PC(V)), e ((PMMA(V)/PC(H)), o F_c também foi menor que o F_α , **mostrando a não existência de uma diferença significativa entre as linhas** (variação da resistência da junta em função da alteração do tempo de soldagem), fato que corresponde com os resultados experimentais obtidos, em que verificamos que a variação do tempo de soldagem não influencia significativamente na área dessas amostras soldadas.

Para a análise de variância em função das colunas (variação da resistência da junta em função da alteração da pressão de soldagem), os resultados corresponderam mais significativamente, semelhante ao caso anterior da análise feita em função da área. As amostras onde a **pressão influenciou significativamente**, como no caso das amostras de ((PC(H)/PC(V)), o F_c foi maior que o F_α , mostrando um resultado satisfatório entre colunas, que corresponde com os resultados experimentais. Nos outros conjuntos de amostras analisadas de ((PMMA(H)/PMMA(H)), ((PMMA(V)/PMMA(V)), ((PMMA(H)/PMMA(V)), ((PC(H)/PC(H)), ((PC(V)/PC(V)), ((PMMA(H)/PC(H)), ((PMMA(V)/PC(V)), ((PMMA(H)/PC(V)), e ((PMMA(V)/

PC(H)), sobre as quais a **variação de pressão não influenciou significativamente**, o F_c **foi menor que o F_α** , mostrando um resultado não satisfatório entre colunas, que corresponde com os resultados experimentais.

Dessa maneira, verificou-se que os resultados da análise de variância foram também mais significativos em função da pressão, pois os resultados coincidiram com os resultados experimentais na maioria dos casos analisados.

4.16 Resultados do teste estatístico da prova de sinais em função da comparação dos resultados do teste de cisalhamento

4.16.1 Comparação entre as junções de PMMA e os outros tipos de junções de PMMA e entre as junções de PC e os outros tipos de junções de PC

Os resultados do teste estatístico da prova de sinais mostrado na tabela 26, indicam valores entre 0,062 (6,2%) a 0,500 (50%). A amostra da segunda coluna que apresentou apenas 1 (um) maior valor de resistência ao cisalhamento ($x = 1$) (comparado à amostra da primeira coluna) obteve o valor de probabilidade de 0,062, desta forma esta possui 6,2% de probabilidade de possuir um maior valor de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Duas amostras apresentaram um valor de 0,227 ($x = 2$) mostrando que estas possuem uma maior probabilidade (comparado à amostra anterior) de obterem maiores valores de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Três amostras obtiveram um valor de probabilidade 0,500 ($x = 3$) o que indica que estas possuem valores iguais de probabilidade de se obter um maior valor de resistência ao cisalhamento comparado à amostra da primeira coluna, ou seja, as amostras da primeira coluna e da segunda coluna possuem valores iguais de probabilidade.

Tabela 26 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras, em função de N e x, sendo o valor de N = 7, valor constante para todas as amostras

Amostras comparadas		X	$P_{ROB.}$
PMMA (HH)	PMMA (VV)	3	0,500
PMMA (HH)	PMMA (HV)	2	0,227
PMMA (VV)	PMMA (HV)	2	0,227
PC (VV)	PC (HH)	3	0,500
PC (VV)	PC (HV)	1	0,062
PC (HV)	PC (HH)	3	0,500

Ob.: Os resultados para o valor de x e da $P_{ROB.}$ dos pares dos materiais acima, encontra-se no apêndice C.

4.16.2 Comparação entre junções com materiais dissimilares de PMMA/PC

Os resultados do teste estatístico da prova de sinais mostrado na tabela 27, indicam valores entre 0,008 (0,8%) a 0,500 (0,50%). A amostra da segunda coluna que não apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento ($x = 0$) (comparado à amostra da primeira coluna) obteve um valor de 0,008, desta forma esta possui 0,8% de probabilidade de possuir um maior valor de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Duas amostras apresentaram um valor de 0,062 ($x = 2$) mostrando que estas possuem uma maior probabilidade (comparado à amostra anterior) de obterem maiores valores de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Mais duas amostras apresentaram um valor de 0,227 de probabilidade de possuírem um maior valor de resistência ao cisalhamento que o par da primeira coluna. Apenas uma amostra obteve um valor de probabilidade 0,500 ($x = 3$) o que indica que esta possui valores iguais de probabilidade de se obter um maior valor de resistência ao cisalhamento comparado à amostra da primeira coluna, ou seja, as amostras da primeira coluna e da segunda coluna possuem valores iguais de probabilidade.

Tabela 27 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras, em função de N e x , sendo o valor de $N = 7$, valor constante para todas as amostras

Amostras comparadas		X	$P_{ROB.}$
PMMA (V)/PC(V)	PMMA (H)/PC(H)	0	0,008
PMMA (V)/PC(V)	PMMA (V)/PC(H)	1	0,062
PMMA (V)/PC(V)	PMMA (H)/PC(V)	1	0,062
PMMA (H)/PC(H)	PMMA (V)/PC(H)	3	0,500
PMMA (H)/PC(H)	PMMA (H)/PC(V)	2	0,227
PMMA (V)/PC(H)	PMMA (H)/PC(V)	2	0,227

Ob.: Os resultados para o valor de x e da $P_{ROB.}$ dos pares dos materiais acima, encontra-se no apêndice C.

4.16.3 Comparação entre junções de PMMA/PMMA e entre as junções de PC/PC

Os resultados do teste estatístico da prova de sinais mostrado na tabela 28, indicam valores entre 0,008 (0,8%) a 0,227 (22,7%). As 2 (duas) amostras da segunda coluna que não apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento ($x = 0$) (comparado à amostra da primeira coluna) obteve o valor de 0,008, desta forma esta possui 0,8% de probabilidade de possuir um maior valor de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Quatro amostras apresentaram um valor de 0,062 ($x = 1$) mostrando que estas possuem uma maior probabilidade (comparado à amostra anterior) de obterem maiores valores de resistência ao cisalhamento que a amostra da primeira coluna. Três amostras apresentaram um valor de 0,227 de probabilidade de possuírem um maior valor de resistência ao cisalhamento. Neste grupo de pares de comparações nenhuma amostra apresentou valores superiores 0,227, ou seja, todos os grupos de amostras da segunda coluna

possuem valores de probabilidade menores que a 0,227 de obterem valores superiores que as amostras da primeira coluna.

Tabela 28 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras, em função de N e x, sendo o valor de N = 7, valor constante para todas as amostras

Amostras comparadas		x	$P_{ROB.}$
PMMA (HH)	PC (HH)	0	0,008
PMMA (VV)	PC (VV)	2	0,227
PMMA (HV)	PC (HV)	1	0,062
PMMA (HH)	PC (HV)	0	0,008
PMMA (HH)	PC (HV)	1	0,062
PMMA (VV)	PC (HH)	1	0,062
PMMA (HV)	PC (HH)	2	0,227
PMMA (VV)	PC (HV)	1	0,062
PMMA (HV)	PC (VV)	2	0,227

Ob.: Os resultados para o valor de x e da $P_{ROB.}$ dos pares dos materiais acima, encontra-se no apêndice C.

4.16.4 Comparação entre o material com soldagem similar de maior resistência PMMA (HH) e do material com soldagem dissimilar de maior resistência PMMA (V) e PC (V)

Na comparação entre a amostra com junção similar que apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento PMMA (HH) (comparado a todas as amostras com junção similar), e o grupo com junção dissimilar que também apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento PMMA (V) e PC (V) (comparado todas as amostras com junção dissimilar), os resultados do teste estatístico da prova de sinais mostrado na tabela 29, mostrou que o grupo com junção dissimilar (mostrado na segunda coluna) possui uma probabilidade de 0,227 de possuir maiores valores de resistência ao cisalhamento.

Tabela 29 mostra a probabilidade (obtido da tabela 74 do apêndice C) dos resultados indicarem que não há diferença entre as amostras, em função de N e x , sendo o valor de $N=7$, valor constante para todas as amostras

Amostras comparadas		x	$P_{ROB.}$
PMMA (HH)	PMMA (V) e PC (V)	2	0,227

Ob.: Os resultados para o valor de x e da $P_{ROB.}$ do par dos materiais acima, encontram-se no apêndice C.

4.17 Discussão geral dos resultados

Verificou-se que a resistência dos materiais soldados possui valores inversos ao da matéria-prima, ou seja, nos materiais soldados o PMMA apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento, comparado ao PC, em 95,24% dos ensaios realizados. A matéria-prima, apresentou valores de resistência de 275 Kgf para o PMMA e de 315 Kgf para o PC. Dessa forma, verificamos que os materiais soldados por ultra-som apresentam valores inversos de resistência, comparado ao material de base (matéria-prima). Além disso, verificamos que a soldagem por ultra-som afeta a região próxima a solda, diferenciando o aspecto de fratura dessa região.

No caso dos materiais de base (PMMA e PC), verificamos que o PMMA apresentou um aspecto de fratura diferente do PC, ou seja, no PMMA verificou-se uma fratura mais “lisa” (figuras 23 a, 23 b e 24 a, 24 b) comparado ao PC (figuras 25 a, 25 b e 26 a, 26 b).

A análise da rugosidade da superfície dos materiais PMMA e PC antes da soldagem mostrou que eles apresentam superfícies microscopicamente rugosas, caracterizadas como alojamento de ar (figuras 30 a e b, 64 e 65), que influi no aspecto da região soldada (em função da interdifusão de ar na região soldada). Além do ar, o qual muda o aspecto da região soldada, a umidade presente no material também influi no aspecto da região soldada, em função do aumento de temperatura, pois a umidade transforma-se em vapor (expandindo dentro da interface), influenciando na coloração e densidade da junta soldada.

O uso do dispositivo (figura 32 a, b e c) permite a análise de resistência das juntas soldadas por meio do teste de cisalhamento (o que não era possível pelo

método tradicional ASTM D638M^{*}). Os resultados do teste de cisalhamento das juntas soldadas que apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento para as junções com soldagem similar foram as de ((PMMA(H)/PMMA(H)). Na comparação de resistência ao cisalhamento dos materiais com soldagens dissimilares (PMMA e PC), verificamos que a soldagem das amostras de ((PMMA(V)/PC(V)) apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento. Fazendo-se uma comparação geral entre todas as junções (similares e dissimilares), verificamos que as junções similares de ((PMMA(H)/PMMA(H)) apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento.

Nos resultados para análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão (P) e tempo de soldagem (W.T.), sobre a área soldada e resistência da junta soldada, verificamos que a análise de variância foi mais significativa para o caso da variação de colunas (função da alteração da pressão de soldagem), pois os resultados coincidiram com os resultados experimentais na maioria dos casos analisados.

* O uso do dispositivo (projetado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais) permite verificar a resistência ao cisalhamento das juntas soldadas (ASTM D638M), sendo este o primeiro trabalho onde se obtiveram tais resultados.

5 CONCLUSÕES

Amostras poliméricas destinadas ao processo de soldagem devem, se possível, estar isentas de microrugosidades superficiais para evitar alojamento de ar, como também devem passar pelo processo de secagem para retirada da umidade antes da junção, em função de que o ar e a umidade diminuem a densidade da região unida e a sua coloração. Um processo de soldagem por ultra-som ideal seria um processo realizado em meio a vácuo, o qual eliminaria o problema de alojamento de ar na superfície das amostras a serem soldadas.

Nas soldagens realizadas verificamos, que os parâmetros de soldagem influenciam significativamente na soldagem por ultra-som, como, por exemplo, a pressão e o tempo de soldagem, de modo que a redução destes parâmetros reduz significativamente a área soldada. Devemos ressaltar, porém, que nem sempre a redução de área está relacionada com a diminuição da resistência da solda, em função de que materiais que apresentam maior quantidade de rechupe concentram a soldagem nas extremidades da amostra. Assim, a quantidade de área soldada diminui, mas a solda, em alguns casos, pode penetrar mais e tornar-se mais profunda e mais resistente.

Na maioria das soldagens realizadas, concluímos que materiais soldados similarmente (mesmo material) e com direções de injeção também similares (HH e VV) apresentam uma maior resistência ao cisalhamento do que aqueles soldados com direções de injeções diferentes (HV), (discordando apenas na soldagem de PC (HH), que apresentou menores valores de resistência comparada à soldagem similar com direção de injeção (HV)). O PMMA apresentou maiores valores de resistência ao cisalhamento, comparado ao PC, e ambos os materiais apresentaram boa compatibilidade para união similar como dissimilar.

Assim, conclui-se que a soldagem por ultra-som de PMMA e PC é possível e é significativamente influenciada pelos parâmetros de controle.

ANEXO A –

1. Método para medir a resistência da junta soldada (Adaptada da norma ASTM D638M)

1.1 Este método verifica a propriedade de resistência ao cisalhamento das juntas soldadas por ultra-som, tipo ASTM D638M, testadas sob condições definidas de velocidade;

1.2 Por este método pode-se verificar a resistência de qualquer tipo de material polimérico, sendo que a resistência da junta não possua um valor de escoamento maior que a do gabarito;

Nota 1 – Não é possível o uso de extensômetro em função de a amostra ficar embutida dentro do gabarito.

2. Utilização

2.1 Este método é designado para produzir dados de propriedades de tensão para o controle de materiais plásticos, sendo estes dados úteis para a qualificação dos materiais unidos por ultra-som para pesquisa e desenvolvimento;

2.2 As propriedades dos materiais testados variam de acordo com os parâmetros de soldagem utilizados. Dessa maneira, para resultados comparativos, deve-se controlar cuidadosamente os fatores de união;

2.3 Para testes comparativos deve-se assegurar que as amostras sejam preparadas do mesmo modo, ou seja, que tenham sido injetadas com os mesmos parâmetros, para que a diferença de rechupe seja mínima.

3. Equipamento

3.1 Máquina de teste – Uma máquina de teste com um movimento de taxa constante;

3.2 Garra fixa – Um membro fixo, na qual realiza o aperto;

3.3 Garra móvel – Um membro móvel, na qual realiza um segundo aperto;

3.3 Apertos – As garras devem ser auto alinháveis, ou seja, elas devem mover-se livremente durante o ensaio, de maneira que se auto-alinhem a qualquer carga e velocidade, de modo que o eixo do gabarito (coincidente com o eixo da amostra) coincida com a direção da linha do centro das garras;

3.4 O gabarito deve ser fixado nas garras de modo que não ocorra escorregamento. Uma maneira de se prevenir o problema citado é utilizar garras cerradas em ângulo;

3.5 Indicador de carga – Deve-se utilizar um mecanismo de carga capaz de demonstrar a total tensão de carga sofrida pela amostra testada quando fixada pelas garras. O mecanismo deve indicar uma carga com acuracidade de mais ou menos 1%;

3.6 O membro fixo, membro móvel e mecanismo de movimento (engrenagens e etc.), bem como as garras, devem ser construídos de tal maneira que a total deformação elástica longitudinal não ultrapasse 1% da total deformação longitudinal entre as duas posições de aperto da amostra testada a qualquer tempo e a qualquer carga durante o teste .

4. Amostra de teste

4.1 A amostra de teste antes da união deve comportar as dimensões mostradas pela figura 71, e pela tabela 30, especificado para o Tipo M-I (para a qual foi dimensionado o gabarito);

4.2 As amostras devem ser produzidas pelo método de injeção;

4.3 Todas amostras devem estar livres de visíveis defeitos, tais como: bolhas, riscos ou trincas.

Figura 71 mostra as dimensões da amostra ASTM D638M.

Tabela 30 especifica as medidas adotadas para a amostra (D638M) do Tipo M-I.

DIMENSÕES DAS AMOSTRAS DE ACORDO COM AS ESPESSURAS, T, (mm)				
DIMENSÕES (Vide desenho)	(T) 10 OU MAIS	(T) 4 OU MAIS		TOLERÂNCIAS
	Tipo M-I	Tipo M-II	Tipo M-III	
W – LARGURA DA SECÃO ESTREITA	10	6	2,5	$\pm 0,5$
L – COMPRIMENTO DA SECÃO ESTREITA	60	33	10	$\pm 0,5$
WO – LARGURA TOTAL	20	25	10	$\pm 0,5$
LO – COMPRIMENTO TOTAL	150	115	60	-
G – COMPRIMENTO ÚTIL	50	-	7,5	$\pm 0,25$
D – DISTÂNCIA ENTRE OS APERTOS	115	80	25	± 5
R – RAIO DO FILETI	60	14	15	± 1
RO - OUTROS RAIOS	-	25	-	± 1

5. Procedimento (precauções)

5.1 Colocar a amostra nas garras da máquina de teste, tomando cuidado para alinhar ao longo do eixo da amostra e do eixo imaginário entre as garras, à distância entre o aperto das garras devem-ser iguais (grips), sendo o aperto suficiente para evitar o escorregamento do gabarito;

5.2 Ajustar a velocidade de teste;

5.2 Registrar a curva carga *versus* deslocamento da amostra.

6. Cálculos

5.1 Resistência ao cisalhamento – Calcular a resistência ao cisalhamento, dividindo-se a máxima carga (Kgf) pela área aparente (mm²), obtendo-se a tensão aparente, e pela área efetiva (mm²), obtendo-se a tensão efetiva;

5.2 Para cada série de testes, calcular a média dos valores;

5.3 Fazer a comparação entre os resultados.

Apêndice A – Resultados comparados dos testes de cisalhamento de todas as juntas soldadas

As Tabelas 31 a 36 apresentam os resultados obtidos para as junções similares. As Tabelas comparam valores de pares de resultados entre si. Tabelas 31 e 34 correspondem à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e VV de PMMA e PC, respectivamente, as tabelas 32 e 35 correspondem à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e HV de PMMA e PC, respectivamente, por fim, tabelas 33 e 36 correspondem à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e HV.

Tabela 31 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap. (tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
1 ■	H	H	–	–	0,40	0,15	0,095	496,00	2,66	85,54	5,79	166,25	2,98
2 □	H	H	–	–	0,40	0,15	0,069	361,50	2,46	86,25	4,19	166,25	2,17
3 ■	H	H	–	–	0,40	0,15	0,052	392,75	2,12	64,46	6,09	166,25	2,36
4 ■	H	H	–	–	0,40	0,35	0,095	>500,00	>2,48	61,12	>8,18	166,25	>3,00
5 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,095	449,50	2,46	69,35	6,48	166,25	2,70
6 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,069	208,71	0,95	47,72	4,37	166,25	1,25
7 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,052	108,15	0,86	33,91	3,19	166,25	0,65
8 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,095	>500,00	>3,38	45,32	>11,00	166,25	>3,00
9 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,069	417,00	2,33	80,76	5,16	166,25	2,51
10 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,052	236,50	1,37	80,49	2,94	166,25	1,42
11 ■	V	V	–	–	0,40	0,35	0,095	362,00	2,01	59,42	6,09	166,25	2,17
12 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,095	174,12	1,22	70,79	2,46	166,25	1,05
13 □	V	V	–	–	0,20	0,15	0,069	243,86	0,98	29,91	8,15	166,25	1,47
14 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,052	98,05	0,38	17,89	5,48	166,25	0,58

Amostras de PMMA com direção de injeção horizontal (HH) e com variações na direção de injeção (HV).

Tabela 32 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
1 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,095	496,00	2,66	85,54	5,79	166,25	2,98
2 □	H	H	—	—	0,40	0,15	0,069	361,50	2,46	86,25	4,19	166,25	2,17
3 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,052	392,75	2,12	64,46	6,09	166,25	2,36
4 ■	H	H	—	—	0,40	0,35	0,095	>500,00	>2,48	61,12	>8,18	166,25	>3,00
5 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,095	449,50	2,46	69,35	6,48	166,25	2,70
6 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,069	208,71	0,95	47,72	4,37	166,25	1,25
7 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,052	108,15	0,86	33,91	3,19	166,25	0,65
15 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,095	328,50	2,57	103,50	3,17	166,25	1,97
16 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,069	209,12	1,01	100,79	2,07	166,25	1,26
17 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,052	232,50	1,50	81,55	2,85	166,25	1,40
18 ■	H	V	—	—	0,40	0,35	0,095	299,75	1,62	96,86	3,09	166,25	1,80
19 □	H	V	—	—	0,20	0,15	0,095	230,50	1,37	60,05	3,84	166,25	1,39
20 ■	H	V	—	—	0,20	0,15	0,069	234	0,87	53,12	4,40	166,25	1,40
21 ■	H	V	—	—	0,20	0,15	0,052	266,93	1,13	39,36	6,78	166,25	1,60

Amostras de PMMA com direção de injeção vertical (VV) e com variações na direção de injeção (HV).

Tabela 33 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
8 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,095	>500,00	>3,38	45,32	>11,00	166,25	>3,00
9 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,069	417,00	2,33	80,76	5,16	166,25	2,51
10 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,052	236,50	1,37	80,49	2,94	166,25	1,42
11 ■	V	V	—	—	0,40	0,35	0,095	362,00	2,01	59,42	6,09	166,25	2,17
12 ■	V	V	—	—	0,20	0,15	0,095	174,12	1,22	70,79	2,46	166,25	1,05
13 □	V	V	—	—	0,20	0,15	0,069	243,86	0,98	29,91	8,15	166,25	1,47
14 ■	V	V	—	—	0,20	0,15	0,052	98,05	0,38	17,89	5,48	166,25	0,58
15 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,095	328,50	2,57	103,50	3,17	166,25	1,97
16 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,069	209,12	1,01	100,79	2,07	166,25	1,26
17 ■	H	V	—	—	0,40	0,15	0,052	232,50	1,50	81,55	2,85	166,25	1,40
18 ■	H	V	—	—	0,40	0,35	0,095	299,75	1,62	96,86	3,09	166,25	1,80
19 □	H	V	—	—	0,20	0,15	0,095	230,50	1,37	60,05	3,84	166,25	1,39
20 ■	H	V	—	—	0,20	0,15	0,069	234	0,87	53,12	4,40	166,25	1,40
21 ■	H	V	—	—	0,20	0,15	0,052	266,93	1,13	39,36	6,78	166,25	1,60

Amostras de PC com direção de injeção horizontal (HH) e vertical (VV).

Tabela 34 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap. (tensão aparente).

Amostra Nº	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMAP	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
22 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,095	466,25	2,78	96,79	4,82	166,25	2,80
23 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,069	144,00	0,75	70,06	2,05	166,25	0,87
24 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,052	234,50	1,42	52,41	4,47	166,25	1,41
25 ■	—	—	H	H	0,40	0,35	0,095	203,62	1,86	101,44	2,00	166,25	1,22
26 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,095	226,75	1,28	28,27	8,02	166,25	1,36
27 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,069	98,86	0,75	32,48	3,04	166,25	0,59
28 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,052	94,47	0,97	21,33	4,43	166,25	0,56
29 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,095	236,25	0,93	118,07	2,00	166,25	1,42
30 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,069	263,50	1,70	111,21	2,37	166,25	1,58
31 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,052	243,25	1,14	80,55	3,02	166,25	1,46
32 ■	—	—	V	V	0,40	0,35	0,095	251,25	1,28	110,52	2,27	166,25	1,51
33 □	—	—	V	V	0,20	0,15	0,095	194,50	1,13	47,85	4,06	166,25	1,17
34 ■	—	—	V	V	0,20	0,15	0,069	148,3	0,83	32,03	4,63	166,25	0,89
35 ■	—	—	V	V	0,20	0,15	0,052	92,27	0,38	20,89	4,42	166,25	0,55

Amostras de PC com direção de injeção horizontal (HH) e com variações na direção de injeção (HV).

Tabela 35 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMAP	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
22 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,095	466,25	2,78	96,79	4,82	166,25	2,80
23 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,069	144,00	0,75	70,06	2,05	166,25	0,87
24 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,052	234,50	1,42	52,41	4,47	166,25	1,41
25 ■	—	—	H	H	0,40	0,35	0,095	203,62	1,86	101,44	2,00	166,25	1,22
26 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,095	226,75	1,28	28,27	8,02	166,25	1,36
27 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,069	98,86	0,75	32,48	3,04	166,25	0,59
28 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,052	94,47	0,97	21,33	4,43	166,25	0,56
36 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,095	229,25	1,04	119,38	1,92	166,25	1,38
37 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,069	216,37	1,02	102,37	2,11	166,25	1,30
38 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,052	146,37	0,92	79,62	1,84	166,25	0,88
39 ■	—	—	H	V	0,40	0,35	0,095	210,50	1,34	106,62	1,97	166,25	1,27
40 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,095	147,75	0,77	40,84	3,62	166,25	0,89
41 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,069	139,62	0,71	28,38	4,56	166,25	0,78
42 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,052	108,75	0,63	25,15	4,32	166,25	0,65

Amostras de PC com direção de injeção vertical (VV) e com variações na direção de injeção (HV).

Tabela 36 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PC soldado, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMAP	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
29	—	—	V	V	0,40	0,15	0,095	236,25	0,93	118,07	2,00	166,25	1,42
30	—	—	V	V	0,40	0,15	0,069	263,50	1,70	111,21	2,37	166,25	1,58
31	—	—	V	V	0,40	0,15	0,052	243,25	1,14	80,55	3,02	166,25	1,46
32	—	—	V	V	0,40	0,35	0,095	251,25	1,28	110,52	2,27	166,25	1,51
33	—	—	V	V	0,20	0,15	0,095	194,50	1,13	47,85	4,06	166,25	1,17
34	—	—	V	V	0,20	0,15	0,069	148,3	0,83	32,03	4,63	166,25	0,89
35	—	—	V	V	0,20	0,15	0,052	92,27	0,38	20,89	4,42	166,25	0,55
36	—	—	H	V	0,40	0,15	0,095	229,25	1,04	119,38	1,92	166,25	1,38
37	—	—	H	V	0,40	0,15	0,069	216,37	1,02	102,37	2,11	166,25	1,30
38	—	—	H	V	0,40	0,15	0,052	146,37	0,92	79,62	1,84	166,25	0,88
39	—	—	H	V	0,40	0,35	0,095	210,50	1,34	106,62	1,97	166,25	1,27
40	—	—	H	V	0,20	0,15	0,095	147,75	0,77	40,84	3,62	166,25	0,89
41	—	—	H	V	0,20	0,15	0,069	139,62	0,71	28,38	4,56	166,25	0,78
42	—	—	H	V	0,20	0,15	0,052	108,75	0,63	25,15	4,32	166,25	0,65

As Tabelas 37 a 42 apresentam os resultados obtidos para as junções dissimilares. As tabelas comparam valores de pares de resultados entre si. Tabela 37 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e VV de PMMA/PC, tabela 38 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e HV de PMMA/PC, tabela 39 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e VH. de PMMA/PC, tabela 40 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e HV de PMMA/PC, tabela 41 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e VH. de PMMA/PC, e a tabela 42 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HV e VV de PMMA/PC.

Junções com materiais dissimilares.

Amostras de PMMA (H) com PC (H) e amostras de PMMA (V) com PC (V).

Tabela 37 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
43	H	—	H	—	0,40	0,15	0,095	243,25	1,46	105,74	2,30	166,25	1,46
44	H	—	H	—	0,40	0,15	0,069	179,75	0,83	100,67	1,78	166,25	1,08
45	H	—	H	—	0,40	0,15	0,052	190,62	1,05	59,37	3,21	166,25	1,15
46	H	—	H	—	0,40	0,35	0,095	266,25	1,68	112,96	2,36	166,25	1,60
47	H	—	H	—	0,20	0,15	0,095	196,87	1,49	24,35	8,08	166,25	1,18
48	H	—	H	—	0,20	0,15	0,069	145	0,99	27,33	5,3	166,25	0,87
49	H	—	H	—	0,20	0,15	0,052	198	0,89	33,48	5,9	166,25	1,19
50	V	—	V	—	0,40	0,15	0,095	368	1,8	76,02	4,84	166,25	2,21
51	V	—	V	—	0,40	0,15	0,069	204,32	1,02	112,02	1,82	166,25	1,82
52	V	—	V	—	0,40	0,15	0,052	250,45	0,92	53,85	4,65	166,25	1,51
53	V	—	V	—	0,40	0,35	0,095	383,37	1,92	71,71	5,34	166,25	2,30
54	V	—	V	—	0,20	0,15	0,095	214,20	1,01	75,14	2,85	166,25	1,29
55	V	—	V	—	0,20	0,15	0,069	213,40	2,41	70,97	3,00	166,25	1,28
56	V	—	V	—	0,20	0,15	0,052	233,98	1,43	23,48	9,96	166,25	1,40

Amostras de PMMA (H) com PC (H) e amostras de PMMA (H) com PC (V).

Tabela 38 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
43	H	—	H	—	0,40	0,15	0,095	243,25	1,46	105,74	2,30	166,25	1,46
44	H	—	H	—	0,40	0,15	0,069	179,75	0,83	100,67	1,78	166,25	1,08
45	H	—	H	—	0,40	0,15	0,052	190,62	1,05	59,37	3,21	166,25	1,15
46	H	—	H	—	0,40	0,35	0,095	266,25	1,68	112,96	2,36	166,25	1,60
47	H	—	H	—	0,20	0,15	0,095	196,87	1,49	24,35	8,08	166,25	1,18
48	H	—	H	—	0,20	0,15	0,069	145	0,99	27,33	5,3	166,25	0,87
49	H	—	H	—	0,20	0,15	0,052	198	0,89	33,48	5,9	166,25	1,19
57	H	—	V	—	0,40	0,15	0,095	246,75	1,36	94,97	2,60	166,25	1,48
58	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	221,25	1,02	90,50	2,44	166,25	1,33
59	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	116,12	0,65	40,94	2,84	166,25	0,70
60	H	—	V	—	0,40	0,35	0,095	245,00	1,11	95,86	2,55	166,25	1,47
61	H	—	V	—	0,20	0,15	0,095	146,37	0,71	61,94	2,36	166,25	0,88
62	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	65,91	0,15	39,75	1,66	166,25	0,39
63	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	162,57	1,28	33,08	4,99	166,25	0,98

Amostras de PMMA (H) com PC (H) e amostras de PMMA (V) com PC (H).

Tabela 39 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
43	H	—	H	—	0,40	0,15	0,095	243,25	1,46	105,74	2,30	166,25	1,46
44	H	—	H	—	0,40	0,15	0,069	179,75	0,83	100,67	1,78	166,25	1,08
45	H	—	H	—	0,40	0,15	0,052	190,62	1,05	59,37	3,21	166,25	1,15
46	H	—	H	—	0,40	0,35	0,095	266,25	1,68	112,96	2,36	166,25	1,60
47	H	—	H	—	0,20	0,15	0,095	196,87	1,49	24,35	8,08	166,25	1,18
48	H	—	H	—	0,20	0,15	0,069	145	0,99	27,33	5,3	166,25	0,87
49	H	—	H	—	0,20	0,15	0,052	198	0,89	33,48	5,9	166,25	1,19
64	V	—	H	—	0,40	0,15	0,095	168,62	0,57	115,22	1,46	166,25	1,01
65	V	—	H	—	0,40	0,15	0,069	174,40	1,08	72,42	2,41	166,25	1,05
66	V	—	H	—	0,40	0,15	0,052	176,60	0,81	62,34	2,83	166,25	1,06
67	V	—	H	—	0,40	0,35	0,095	327,80	1,62	112,47	2,91	166,25	1,97
68	V	—	H	—	0,20	0,15	0,095	197,25	0,77	37,69	5,23	166,25	1,19
69	V	—	H	—	0,20	0,15	0,069	227,78	1,61	26,08	8,73	166,25	1,37
70	V	—	H	—	0,20	0,15	0,052	173,56	0,89	32,6	5,32	166,25	1,04

Amostras de PMMA (V) com PC (V) e amostras de PMMA (H) com PC (V).

Tabela 40 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
50	V	—	V	—	0,40	0,15	0,095	368	1,8	76,02	4,84	166,25	2,21
51	V	—	V	—	0,40	0,15	0,069	204,32	1,02	112,02	1,82	166,25	1,82
52	V	—	V	—	0,40	0,15	0,052	250,45	0,92	53,85	4,65	166,25	1,51
53	V	—	V	—	0,40	0,35	0,095	383,37	1,92	71,71	5,34	166,25	2,30
54	V	—	V	—	0,20	0,15	0,095	214,20	1,01	75,14	2,85	166,25	1,29
55	V	—	V	—	0,20	0,15	0,069	213,40	2,41	70,97	3,00	166,25	1,28
56	V	—	V	—	0,20	0,15	0,052	233,98	1,43	23,48	9,96	166,25	1,40
57	H	—	V	—	0,40	0,15	0,095	246,75	1,36	94,97	2,60	166,25	1,48
58	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	221,25	1,02	90,50	2,44	166,25	1,33
59	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	116,12	0,65	40,94	2,84	166,25	0,70
60	H	—	V	—	0,40	0,35	0,095	245,00	1,11	95,86	2,55	166,25	1,47
61	H	—	V	—	0,20	0,15	0,095	146,37	0,71	61,94	2,36	166,25	0,88
62	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	65,91	0,15	39,75	1,66	166,25	0,39
63	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	162,57	1,28	33,08	4,99	166,25	0,98

Amostras de PMMA (V) com PC (V) e amostras de PMMA (V) com PC (H).

Tabela 41 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
50	V	—	V	—	0,40	0,15	0,095	368	1,8	76,02	4,84	166,25	2,21
51	V	—	V	—	0,40	0,15	0,069	204,32	1,02	112,02	1,82	166,25	1,82
52	V	—	V	—	0,40	0,15	0,052	250,45	0,92	53,85	4,65	166,25	1,51
53	V	—	V	—	0,40	0,35	0,095	383,37	1,92	71,71	5,34	166,25	2,30
54	V	—	V	—	0,20	0,15	0,095	214,20	1,01	75,14	2,85	166,25	1,29
55	V	—	V	—	0,20	0,15	0,069	213,40	2,41	70,97	3,00	166,25	1,28
56	V	—	V	—	0,20	0,15	0,052	233,98	1,43	23,48	9,96	166,25	1,40
64	V	—	H	—	0,40	0,15	0,095	168,62	0,57	115,22	1,46	166,25	1,01
65	V	—	H	—	0,40	0,15	0,069	174,40	1,08	72,42	2,41	166,25	1,05
66	V	—	H	—	0,40	0,15	0,052	176,60	0,81	62,34	2,83	166,25	1,06
67	V	—	H	—	0,40	0,35	0,095	327,80	1,62	112,47	2,91	166,25	1,97
68	V	—	H	—	0,20	0,15	0,095	197,25	0,77	37,69	5,23	166,25	1,19
69	V	—	H	—	0,20	0,15	0,069	227,78	1,61	26,08	8,73	166,25	1,37
70	V	—	H	—	0,20	0,15	0,052	173,56	0,89	32,6	5,32	166,25	1,04

Amostras de PMMA (H) com PC (V) e amostras de PMMA (V) com PC (H).

Tabela 42 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
57 ■	H	—	V	—	0,40	0,15	0,095	246,75	1,36	94,97	2,60	166,25	1,48
58 ■	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	221,25	1,02	90,50	2,44	166,25	1,33
59 ■	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	116,12	0,65	40,94	2,84	166,25	0,70
60 ■	H	—	V	—	0,40	0,35	0,095	245,00	1,11	95,86	2,55	166,25	1,47
61 ■	H	—	V	—	0,20	0,15	0,095	146,37	0,71	61,94	2,36	166,25	0,88
62 ■	H	—	V	—	0,40	0,15	0,069	65,91	0,15	39,75	1,66	166,25	0,39
63 ■	H	—	V	—	0,40	0,15	0,052	162,57	1,28	32,6	4,99	166,25	0,98
64 ■	V	—	H	—	0,40	0,15	0,095	168,62	0,57	115,22	1,46	166,25	1,01
65 ■	V	—	H	—	0,40	0,15	0,069	174,40	1,08	72,42	2,41	166,25	1,05
66 ■	V	—	H	—	0,40	0,15	0,052	176,60	0,81	62,34	2,83	166,25	1,06
67 □	V	—	H	—	0,40	0,35	0,095	327,80	1,62	112,47	2,91	166,25	1,97
68 □	V	—	H	—	0,20	0,15	0,095	197,25	0,77	37,69	5,23	166,25	1,19
69 ■	V	—	H	—	0,20	0,15	0,069	227,78	1,61	26,08	8,73	166,25	1,37
70 ■	V	—	H	—	0,20	0,15	0,052	173,56	0,89	32,6	5,32	166,25	1,04

As Tabelas 43 a 51 apresentam os resultados obtidos para as junções similares. As tabelas comparam valores de pares de resultados entre si. Tabela 43 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH de PMMA e PC. Tabela 44 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV de PMMA e PC. Tabela 45 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HV de PMMA e PC. Tabela 46 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e VV de PMMA e PC respectivamente. Tabela 47 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HH e HV de PMMA e PC respectivamente. Tabela 48 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e HH de PMMA e PC respectivamente. Tabela 49 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HV e HH de PMMA e PC respectivamente. Tabela 50 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações VV e HV de PMMA e PC respectivamente, por fim, tabela 51 corresponde à comparação entre amostras soldadas nas orientações HV e VV. de PMMA e PC respectivamente.

Comparação entre materiais diferentes e com mesma direção de injeção.

Junção similar.

Amostras de PMMA (HH) e PC (HH).

Tabela 43 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap. (tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
1 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,095	496,00	2,66	85,54	5,79	166,25	2,98
2 □	H	H	—	—	0,40	0,15	0,069	361,50	2,46	86,25	4,19	166,25	2,17
3 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,052	392,75	2,12	64,46	6,09	166,25	2,36
4 ■	H	H	—	—	0,40	0,35	0,095	>500,00	>2,48	61,12	>8,18	166,25	>3,00
5 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,095	449,50	2,46	69,35	6,48	166,25	2,70
6 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,069	208,71	0,95	47,72	4,37	166,25	1,25
7 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,052	108,15	0,86	33,91	3,19	166,25	0,65
22 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,095	466,25	2,78	96,79	4,82	166,25	2,80
23 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,069	144,00	0,75	70,06	2,05	166,25	0,87
24 ■	—	—	H	H	0,40	0,15	0,052	234,50	1,42	52,41	4,47	166,25	1,41
25 ■	—	—	H	H	0,40	0,35	0,095	203,62	1,86	101,44	2,00	166,25	1,22
26 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,095	226,75	1,28	28,27	8,02	166,25	1,36
27 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,069	98,86	0,75	32,48	3,04	166,25	0,59
28 ■	—	—	H	H	0,20	0,15	0,052	94,47	0,97	21,33	4,43	166,25	0,56

Amostras de PMMA (VV) e PC (VV).

Tabela 44 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra Nº	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
8 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,095	>500,00	>3,38	45,32	>11,00	166,25	>3,00
9 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,069	417,00	2,33	80,76	5,16	166,25	2,51
10 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,052	236,50	1,37	80,49	2,94	166,25	1,42
11 ■	V	V	–	–	0,40	0,35	0,095	362,00	2,01	59,42	6,09	166,25	2,17
12 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,095	174,12	1,22	70,79	2,46	166,25	1,05
13 □	V	V	–	–	0,20	0,15	0,069	243,86	0,98	29,91	8,15	166,25	1,47
14 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,052	98,05	0,38	17,89	5,48	166,25	0,58
29 ■	–	–	V	V	0,40	0,15	0,095	236,25	0,93	118,07	2,00	166,25	1,42
30 ■	–	–	V	V	0,40	0,15	0,069	263,50	1,70	111,21	2,37	166,25	1,58
31 ■	–	–	V	V	0,40	0,15	0,052	243,25	1,14	80,55	3,02	166,25	1,46
32 ■	–	–	V	V	0,40	0,35	0,095	251,25	1,28	110,52	2,27	166,25	1,51
33 □	–	–	V	V	0,20	0,15	0,095	194,50	1,13	47,85	4,06	166,25	1,17
34 ■	–	–	V	V	0,20	0,15	0,069	148,3	0,83	32,03	4,63	166,25	0,89
35 ■	–	–	V	V	0,20	0,15	0,052	92,27	0,38	20,89	4,42	166,25	0,55

Amostras de PMMA (HV) e PC (HV).

Tabela 45 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap. (tensão aparente).

Amostra Nº	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
15	H	V	–	–	0,40	0,15	0,095	328,50	2,57	103,50	3,17	166,25	1,97
16	H	V	–	–	0,40	0,15	0,069	209,12	1,01	100,79	2,07	166,25	1,26
17	H	V	–	–	0,40	0,15	0,052	232,50	1,50	81,55	2,85	166,25	1,40
18	H	V	–	–	0,40	0,35	0,095	299,75	1,62	96,86	3,09	166,25	1,80
19	H	V	–	–	0,20	0,15	0,095	230,50	1,37	60,05	3,84	166,25	1,39
20	H	V	–	–	0,20	0,15	0,069	234	0,87	53,12	4,40	166,25	1,40
21	H	V	–	–	0,20	0,15	0,052	266,93	1,13	39,36	6,78	166,25	1,60
36	–	–	H	V	0,40	0,15	0,095	229,25	1,04	119,38	1,92	166,25	1,38
37	–	–	H	V	0,40	0,15	0,069	216,37	1,02	102,37	2,11	166,25	1,30
38	–	–	H	V	0,40	0,15	0,052	146,37	0,92	79,62	1,84	166,25	0,88
39	–	–	H	V	0,40	0,35	0,095	210,50	1,34	106,62	1,97	166,25	1,27
40	–	–	H	V	0,20	0,15	0,095	147,75	0,77	40,84	3,62	166,25	0,89
41	–	–	H	V	0,20	0,15	0,069	129,62	0,71	28,38	4,56	166,25	0,78
42	–	–	H	V	0,20	0,15	0,052	108,75	0,63	25,15	4,32	166,25	0,65

Amostras de PMMA (HH) e PC (VV).

Tabela 46 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
1 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,095	496,00	2,66	85,54	5,79	166,25	2,98
2 □	H	H	—	—	0,40	0,15	0,069	361,50	2,46	86,25	4,19	166,25	2,17
3 ■	H	H	—	—	0,40	0,15	0,052	392,75	2,12	64,46	6,09	166,25	2,36
4 ■	H	H	—	—	0,40	0,35	0,095	>500,00	>2,48	61,12	>8,18	166,25	>3,00
5 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,095	449,50	2,46	69,35	6,48	166,25	2,70
6 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,069	208,71	0,95	47,72	4,37	166,25	1,25
7 ■	H	H	—	—	0,20	0,15	0,052	108,15	0,86	33,91	3,19	166,25	0,65
29 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,095	236,25	0,93	118,07	2,00	166,25	1,42
30 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,069	263,50	1,70	111,21	2,37	166,25	1,58
31 ■	—	—	V	V	0,40	0,15	0,052	243,25	1,14	80,55	3,02	166,25	1,46
32 ■	—	—	V	V	0,40	0,35	0,095	251,25	1,28	110,52	2,27	166,25	1,51
33 □	—	—	V	V	0,20	0,15	0,095	194,50	1,13	47,85	4,06	166,25	1,17
34 ■	—	—	V	V	0,20	0,15	0,069	148,3	0,83	32,03	4,63	166,25	0,89
35 ■	—	—	V	V	0,20	0,15	0,052	92,27	0,38	20,89	4,42	166,25	0,55

Amostras de PMMA (HH) e amostras de PC (HV).

Tabela 47 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
1 ■	H	H	–	–	0,40	0,15	0,095	496,00	2,66	85,54	5,79	166,25	2,98
2 □	H	H	–	–	0,40	0,15	0,069	361,50	2,46	86,25	4,19	166,25	2,17
3 ■	H	H	–	–	0,40	0,15	0,052	392,75	2,12	64,46	6,09	166,25	2,36
4 ■	H	H	–	–	0,40	0,35	0,095	>500,00	>2,48	61,12	>8,18	166,25	>3,00
5 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,095	449,50	2,46	69,35	6,48	166,25	2,70
6 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,069	208,71	0,95	47,72	4,37	166,25	1,25
7 ■	H	H	–	–	0,20	0,15	0,052	108,15	0,86	33,91	3,19	166,25	0,65
36 ■	–	–	H	V	0,40	0,15	0,095	229,25	1,04	119,38	1,92	166,25	1,38
37 ■	–	–	H	V	0,40	0,15	0,069	216,37	1,02	102,37	2,11	166,25	1,30
38 ■	–	–	H	V	0,40	0,15	0,052	146,37	0,92	79,62	1,84	166,25	0,88
39 ■	–	–	H	V	0,40	0,35	0,095	210,50	1,34	106,62	1,97	166,25	1,27
40 ■	–	–	H	V	0,20	0,15	0,095	147,75	0,77	40,84	3,62	166,25	0,89
41 ■	–	–	H	V	0,20	0,15	0,069	129,62	0,71	28,38	4,56	166,25	0,78
42 ■	–	–	H	V	0,20	0,15	0,052	108,75	0,63	25,15	4,32	166,25	0,65

Amostras de PMMA (VV) e amostras de PC (HH).

Tabela 48 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
8 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,095	>500,00	>3,38	45,32	>11,00	166,25	>3,00
9 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,069	417,00	2,33	80,76	5,16	166,25	2,51
10 ■	V	V	–	–	0,40	0,15	0,052	236,50	1,37	80,49	2,94	166,25	1,42
11 ■	V	V	–	–	0,40	0,35	0,095	362,00	2,01	59,42	6,09	166,25	2,17
12 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,095	174,12	1,22	70,79	2,46	166,25	1,05
13 □	V	V	–	–	0,20	0,15	0,069	243,86	0,98	29,91	8,15	166,25	1,47
14 ■	V	V	–	–	0,20	0,15	0,052	98,05	0,38	17,89	5,48	166,25	0,58
22 ■	–	–	H	H	0,40	0,15	0,095	466,25	2,78	96,79	4,82	166,25	2,80
23 ■	–	–	H	H	0,40	0,15	0,069	144,00	0,75	70,06	2,05	166,25	0,87
24 ■	–	–	H	H	0,40	0,15	0,052	234,50	1,42	52,41	4,47	166,25	1,41
25 ■	–	–	H	H	0,40	0,35	0,095	203,62	1,86	101,44	2,00	166,25	1,22
26 ■	–	–	H	H	0,20	0,15	0,095	226,75	1,28	28,27	8,02	166,25	1,36
27 ■	–	–	H	H	0,20	0,15	0,069	98,86	0,75	32,48	3,04	166,25	0,59
28 ■	–	–	H	H	0,20	0,15	0,052	94,47	0,97	21,33	4,43	166,25	0,56

Amostras de PMMA (HV) e amostras de PC (HH).

Tabela 49 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
15	H	V	—	—	0,40	0,15	0,095	328,50	2,57	103,50	3,17	166,25	1,97
16	H	V	—	—	0,40	0,15	0,069	209,12	1,01	100,79	2,07	166,25	1,26
17	H	V	—	—	0,40	0,15	0,052	232,50	1,50	81,55	2,85	166,25	1,40
18	H	V	—	—	0,40	0,35	0,095	299,75	1,62	96,86	3,09	166,25	1,80
19	H	V	—	—	0,20	0,15	0,095	230,50	1,37	60,05	3,84	166,25	1,39
20	H	V	—	—	0,20	0,15	0,069	234	0,87	53,12	4,40	166,25	1,40
21	H	V	—	—	0,20	0,15	0,052	266,93	1,13	39,36	6,78	166,25	1,60
22	—	—	H	H	0,40	0,15	0,095	466,25	2,78	96,79	4,82	166,25	2,80
23	—	—	H	H	0,40	0,15	0,069	144,00	0,75	70,06	2,05	166,25	0,87
24	—	—	H	H	0,40	0,15	0,052	234,50	1,42	52,41	4,47	166,25	1,41
25	—	—	H	H	0,40	0,35	0,095	203,62	1,86	101,44	2,00	166,25	1,22
26	—	—	H	H	0,20	0,15	0,095	226,75	1,28	28,27	8,02	166,25	1,36
27	—	—	H	H	0,20	0,15	0,069	98,86	0,75	32,48	3,04	166,25	0,59
28	—	—	H	H	0,20	0,15	0,052	94,47	0,97	21,33	4,43	166,25	0,56

Amostras de PMMA (VV) e amostras de PC (HV).

Tabela 50 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap. (tensão aparente).

Amostra N°	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm²)	τ . Ef. (Kgf/mm²)	So. Ap. (mm²)	τ . Ap. (Kgf/mm²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
8 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,095	>500,00	>3,38	45,32	>11,00	166,25	>3,00
9 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,069	417,00	2,33	80,76	5,16	166,25	2,51
10 ■	V	V	—	—	0,40	0,15	0,052	236,50	1,37	80,49	2,94	166,25	1,42
11 ■	V	V	—	—	0,40	0,35	0,095	362,00	2,01	59,42	6,09	166,25	2,17
12 ■	V	V	—	—	0,20	0,15	0,095	174,12	1,22	70,79	2,46	166,25	1,05
13 □	V	V	—	—	0,20	0,15	0,069	243,86	0,98	29,91	8,15	166,25	1,47
14 ■	V	V	—	—	0,20	0,15	0,052	98,05	0,38	17,89	5,48	166,25	0,58
36 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,095	229,25	1,04	119,38	1,92	166,25	1,38
37 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,069	216,37	1,02	102,37	2,11	166,25	1,30
38 ■	—	—	H	V	0,40	0,15	0,052	146,37	0,92	79,62	1,84	166,25	0,88
39 ■	—	—	H	V	0,40	0,35	0,095	210,50	1,34	106,62	1,97	166,25	1,27
40 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,095	147,75	0,77	40,84	3,62	166,25	0,89
41 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,069	129,62	0,71	28,38	4,56	166,25	0,78
42 ■	—	—	H	V	0,20	0,15	0,052	108,75	0,63	25,15	4,32	166,25	0,65

Amostras de PMMA (HV) e amostras de PC (VV).

Tabela 51 mostra os resultados do teste de cisalhamento do PMMA soldado com PC, para F (carga de ruptura), Δl (variação no comprimento), So. Ef. (área efetiva), τ . Ef. (tensão efetiva), So. Ap. (área aparente) e τ . Ap.(tensão aparente).

Amostra Nº	Material				Variação de Parâmetros.			F(máx.) (Kgf)	Δl (mm)	So. Ef. (mm ²)	τ . Ef. (Kgf/mm ²)	So. Ap. (mm ²)	τ . Ap. (Kgf/mm ²)
	PMMA	PMMA	PC	PC	W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)						
15	H	V	–	–	0,40	0,15	0,095	328,50	2,57	103,50	3,17	166,25	1,97
16	H	V	–	–	0,40	0,15	0,069	209,12	1,01	100,79	2,07	166,25	1,26
17	H	V	–	–	0,40	0,15	0,052	232,50	1,50	81,55	2,85	166,25	1,40
18	H	V	–	–	0,40	0,35	0,095	299,75	1,62	96,86	3,09	166,25	1,80
19	H	V	–	–	0,20	0,15	0,095	230,50	1,37	60,05	3,84	166,25	1,39
20	H	V	–	–	0,20	0,15	0,069	234	0,87	53,12	4,40	166,25	1,40
21	H	V	–	–	0,20	0,15	0,052	266,93	1,13	39,36	6,78	166,25	1,60
29	–	–	V	V	0,40	0,15	0,095	236,25	0,93	118,07	2,00	166,25	1,42
30	–	–	V	V	0,40	0,15	0,069	263,50	1,70	111,21	2,37	166,25	1,58
31	–	–	V	V	0,40	0,15	0,052	243,25	1,14	80,55	3,02	166,25	1,46
32	–	–	V	V	0,40	0,35	0,095	251,25	1,28	110,52	2,27	166,25	1,51
33	–	–	V	V	0,20	0,15	0,095	194,50	1,13	47,85	4,06	166,25	1,17
34	–	–	V	V	0,20	0,15	0,069	148,3	0,83	32,03	4,63	166,25	0,89
35	–	–	V	V	0,20	0,15	0,052	92,27	0,38	20,89	4,42	166,25	0,55

B1 Cálculos e resultados para o cálculo de análise de variância em função dos parâmetros de soldagem: pressão(P) e tempo de soldagem (W.T.) sobre a área soldada e sobre a resistência da junta soldada.

B1.1 Sobre a área soldada

Amostras de PMMA com direção de injeção horizontal (HH)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	33,91	47,72	69,35
W.T. (0,4 seg)	64,46	86,25	85,54

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	33,91	1449,89	64,46	4155,09	98,37	5604,98	9676,66
2 (i)	47,72	2277,20	86,25	7439,06	133,97	9716,26	17947,96
3 (i)	69,35	4809,42	85,54	7317,09	154,89	12126,51	23990,91
$T_{.j}$	150,98		236,25		387,23		51615,53
$Q_{.j}$		8536,51		18911,24		27447,75	
$T_{.j}^2$	22794,96		55814,06		78609,02		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	816,59	2	408,95	1,91	19
Entre colunas	1211,83	1	1211,83	5,66	18,51
Residual	428,15	2	214,07		
Total	2456,57	5	00,00		

Amostras de PMMA com direção de injeção vertical (VV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	17,89	29,91	70,79
W.T. (0,4 seg)	80,49	80,76	45,32

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	17,81	317,96	80,49	6478,64	98,3	6796,6	9662,89
2 (i)	29,91	894,61	80,76	6522,18	110,67	7416,79	12247,85
3 (i)	70,79	5011,22	45,32	2053,9	116,11	7065,12	13481,53
$T_{.j}$	118,51		206,57		325,08		35392,27
$Q.j$		6223,79		15054,72		21278,51	
$T_{.j}^2$	14044,62		42671,16		56715,78		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	83,3	2	41,65	0,036	19
Entre colunas	1292,42	1	1292,42	1,13	18,51
Residual	2289,94	2	1144,97		
Total	3665,67	5			

Amostras de PMMA com direção de injeção dissimilar (HV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	39,36	53,12	60,05
W.T. (0,4 seg)	81,55	100,79	103,50

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	39,36	1549,21	81,55	6650,4	120,91	8199,61	14619,23
2 (i)	53,12	2821,73	100,79	10158,62	153,91	12980,35	23688,29
3 (i)	60,05	3606	103,50	10712,25	163,55	14318,2	26748,6
$T_{.j}$	152,53		285,84		438,37		65056,12
$Q_{.j}$		7976,94		27521,27		35498,16	
$T_{.j}^2$	23265,4		81704,5		104969,9		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	500,02	2	250,01	61,42	19
Entre colunas	2961,92	1	2961,92	727,74	18,51
Residual	8,15	2	4,07		
Total	3470,09	5			

Amostras de PC com direção de injeção horizontal (HH)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	21,33	32,48	28,27
W.T. (0,4 seg)	52,41	70,06	96,79

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	21,33	454,97	52,41	2746,81	73,74	3201,78	5437,59
2 (i)	32,48	1054,95	70,06	4908,4	102,54	5963,35	10514,45
3 (i)	28,27	799,19	96,79	9368,3	125,06	10167,49	15640
$T_{.j}$	82,08		219,26		301,34		31592,04
$Q.j$		2309,11		17023,51		19332,62	
$T_{.j}^2$	6737,13		48074,94		54812,07		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	661,72	2	330,86	1,65	19
Entre colunas	3136,39	1	3136,39	15,67	18,51
Residual	400,21	2	200,10		
Total	4198,32	5			

Amostras de PC com direção de injeção vertical (VV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	20,89	32,03	47,85
W.T. (0,4 seg)	80,55	111,21	118,07

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	20,89	436,39	80,55	6488,3	101,44	6924,69	10290,07
2 (i)	32,03	1025,92	111,21	12367,7	143,24	13393,62	20517,69
3 (i)	47,85	2289,62	118,07	13940,5	165,92	16230,12	27529,45
$T_{.j}$	100,77		309,83		410,6		58337,21
$Q.j$		3751,93		32796,5		36548,43	
$T_{.j}^2$	10154,59		95994,63		106149,22		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	1069,87	2	534,93	11,2	19
Entre colunas	7284,35	1	7284,35	152,58	18,51
Residual	95,48	2	47,74		
Total	8449,7	5			

Amostras de PC com direção de injeção dissimilar (HV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	25,15	28,38	40,84
W.T. (0,4 seg)	79,62	102,37	119,38

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	25,15	632,52	79,62	6339,34	104,77	6971,86	10976,75
2 (i)	28,38	805,42	102,37	10479,6	130,75	11285,02	17095,56
3 (i)	40,84	1667,9	119,38	14251,6	160,22	15919,5	25670,45
$T_{.j}$	94,37		301,37		395,74		53742,76
$Q_{.j}$		3105,84		31070,54		34176,38	
$T_{.j}^2$	8905,69		90823,87		99729,56		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	769,69	2	384,84	4,70	19
Entre colunas	7141,49	1	7141,49	87,35	18,51
Residual	163,5	2	81,75		
Total	8079,69	5			

Análise de variância para soldagem dissimilar (PMMA e PC)
Amostras de PMMA (H) e de PC (H)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	33,48	27,33	24,35
W.T. (0,4 seg)	59,37	100,67	105,74

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	33,48	1120,91	59,37	3524,79	92,85	4645,7	8621,12
2 (i)	27,33	746,93	100,67	10134,4	128	10881,33	16384
3 (i)	24,35	592,92	105,74	11180,9	130,09	11773,82	16923,41
$T_{.j}$	85,16		265,78		350,94		41928,53
$Q.j$		2460,76		24840,09		27300,85	
$T_{.j}^2$	7252,22		70639		77891,22		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	437,78	2	218,89	0,49	19
Entre colunas	5437,26	1	5437,26	12,09	18,51
Residual	899,33	2	449,66		
Total	6774,37	5			

Amostras de PMMA (V) e de PC (V)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 MPa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	23,48	70,97	75,14
W.T. (0,4 seg)	53,85	112,02	76,02

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	23,48	551,31	53,85	2899,82	77,33	3451,13	5979,93
2 (i)	70,97	5036,74	112,02	12548,48	182,99	17585,22	33485,34
3 (i)	75,14	5646,02	76,02	5779,04	151,16	11425,06	22849,34
$T_{.j}$	169,59		241,89		411,48		62314,61
$Q.j$		11234,07		21227,34		32461,41	
$T_{.j}^2$	28760,77		58510,77		87271,54		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	2938,01	2	1469,0	6,79	19
Entre colunas	871,21	1	871,21	4,02	18,51
Residual	432,89	2	216,44		
Total	4242,11	5			

Amostras de PMMA (H) e de PC (V)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	33,08	39,75	61,94
W.T. (0,4 seg)	40,94	90,50	94,97

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	33,08	1094,29	40,94	1676,08	74,02	2770,37	5478,96
2 (i)	39,75	1580,06	90,50	8190,25	130,25	9770,31	16965,06
3 (i)	61,94	3836,56	94,97	9019,3	156,91	12855,86	24620,75
$T_{.j}$	134,77		226,41		361,18		47064,77
$Q.j$		6510,91		18885,63		25396,54	
$T_{.j}^2$	18162,95		51261,49		69424,44		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	1790,52	2	895,26	3,85	19
Entre colunas	1399,65	1	1399,65	6,02	18,51
Residual	464,54	2	232,27		
Total	3654,71	5			

Amostras de PMMA (V) e de PC (H)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	32,6	26,08	37,69
W.T. (0,4 seg)	62,34	72,42	115,22

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	32,6	1062,76	62,34	3886,27	94,94	4949,03	9013,60
2 (i)	26,08	680,17	72,42	5244,66	98,5	5924,83	9702,25
3 (i)	37,69	1420,54	115,22	13275,6	152,91	14696,14	23381,47
$T_{.j}$	96,37		249,98		346,35		42097,32
$Q_{.j}$		3163,47		22406,53		25570	
$T_{.j}^2$	9287,18		62490		71777,18		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	1055,61	2	527,80	1,79	19
Entre colunas	3932,67	1	3932,67	13,36	18,51
Residual	588,67	2	294,33		
Total	5576,95	5			

B1.2 Sobre a resistência da junta

Amostras de PMMA com direção de injeção horizontal (HH)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	180,15	208,71	449,5
W.T. (0,4 seg)	392,75	361,5	496

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	180,15	32454,02	392,75	154252,56	572,9	186706,6	328214,41
2 (i)	208,71	43559,86	361,5	130682,25	570,21	174242,1	325139,44
3 (i)	449,5	202050,25	496	246016	945,5	448066,2	893970,25
$T_{.j}$	838,36		1250,25		2088,61		1547324,1
$Q_{.j}$		278064,13		530950,81		809014,9	
$T_{.j}^2$	702847,49		1563125,06		2265972,55		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	46613,42	2	23306,71	6,59	19
Entre colunas	28275,61	1	28275,61	7,99	18,51
Residual	7077,29	2	3538,64		
Total	81966,28	5			

Amostras de PMMA com direção de injeção vertical (VV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	98,05	243,86	174,12
W.T. (0,4 seg)	236,5	417	500

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	98,05	9613,80	236,5	55932,25	334,55	65546,05	111923,70
2 (i)	243,86	59467,69	417	173889	660,86	233356,7	436735,93
3 (i)	174,12	30317,77	500	250000	674,12	280317,8	454437,77
$T_{.j}$	516,03		1153,5		1669,53		1003097,4
$Q_{.j}$		99399,26		479821,25		579220,5	
$T_{.j}^2$	266286,9 6		1330562,25		1596849,21		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	36993,63	2	18496,82	3,7	19
Entre colunas	67727,99	1	67727,99	13,62	18,51
Residual	9943,80	2	4971,9		
Total	114665,43	5			

Amostras de PMMA com direção de injeção dissimilar (HV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	266,93	234	230,5
W.T. (0,4 seg)	232,5	209,12	328,5

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	266,93	71251,62	232,5	54056,25	499,43	125307,9	249430,32
2 (i)	234	54756	209,12	43731,17	443,12	98487,17	196355,33
3 (i)	230,5	53130,25	328,5	107912,25	559	161042,5	312481
$T_{.j}$	731,43		770,12		1051,55		758266,65
$Q_{.j}$		179137,87		205699,67		384837,5	
$T_{.j}^2$	534989,8 4		593084,81		1128074,65		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	194840,42	2	97420,21	-1,05	19
Entre colunas	191731,98	1	191731,98	-2,06	18,51
Residual	-186027,8	2	-93013,9		
Total	200544,59	5			

Amostras de PC com direção de injeção horizontal (HH)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	94,47	98,86	226,75
W.T. (0,4 seg)	234,5	144	466,25

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	94,47	8924,58	234,5	54990,25	328,97	63914,83	108221,26
2 (i)	98,86	9773,29	144	20736	242,86	30509,29	58980,98
3 (i)	226,75	51415,56	466,25	217389,06	693	268804,6	480249
$T_{.j}$	420,08		844,75		1264,83		647451,24
$Q_{.j}$		70113,43		293115,31		363228,7	
$T_{.j}^2$	176467,2		713602,56		890069,76		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	57093,13	2	28546,56	6,04	19
Entre colunas	30057,43	1	30057,43	6,36	18,51
Residual	9445,65	2	4722,82		
Total	96596,21	5			

Amostras de PC com direção de injeção vertical (VV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	92,27	148,3	194,5
W.T. (0,4 seg)	243,25	263,5	236,25

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	92,27	8513,75	243,25	59170,56	335,52	67684,31	112573,67
2 (i)	148,3	21992,89	263,5	69432,25	411,8	91425,14	169579,24
3 (i)	194,5	37830,25	236,25	55814,06	430,75	93644,31	185545,56
$T_{.j}$	435,07		743		1178,07		467698,47
$Q.j$		68336,89		184416,87		252753,8	
$T_{.j}^2$	189285,9		552049		741334,9		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	2541,08	2	1270,54	0,82	19
Entre colunas	15803,48	1	15803,48	10,19	18,51
Residual	3101,08	2	1550,54		
Total	21445,64	5			

Amostras de PC com direção de injeção dissimilar (HV)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	108,75	139,62	147,75
W.T. (0,4 seg)	146,37	216,37	229,25

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	108,75	11826,56	146,37	21424,18	255,12	33250,74	65086,21
2 (i)	139,62	19493,74	216,37	46815,97	355,99	66309,71	126728,88
3 (i)	147,75	21830,06	229,25	52555,56	377	74385,62	142129
$T_{.j}$	396,12		591,99		988,11		333944,09
$Q_{.j}$		53150,36		120795,71		173946,1	
$T_{.j}^2$	156911,05		350452,16		507363,21		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	4245,15	2	2122,57	7,32	19
Entre colunas	6394,17	1	6394,17	22,05	18,51
Residual	579,88	2	289,94		
Total	11219,2	5			

Análise de variância para soldagem dissimilar (PMMA e PC)

Amostras de PMMA (H) e de PC (H)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 MPa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	198	145	196,87
W.T. (0,4 seg)	190,62	179,75	243,25

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	198	39204	190,62	36335,98	388,62	75539,98	151025,5
2 (i)	145	21025	179,75	32310,06	324,75	53335,06	105462,56
3 (i)	196,87	38757,79	243,25	59170,56	440,12	97928,35	193705,61
$T_{.j}$	539,87		613,62		1153,49		450193,67
$Q_{.j}$		98986,79		127816,6		226803,4	
$T_{.j}^2$	291459,6 2		376529,5		667989,12		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	3340,3	2	1670,15	4,17	19
Entre colunas	906,51	1	906,51	2,27	18,51
Residual	800,06	2	400,03		
Total	5046,87	5			

Amostras de PMMA (V) e de PC (V)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 MPa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	233,98	213,10	214,20
W.T. (0,4 seg)	250,45	204,32	368

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	233,98	54746,64	250,45	62725,20	484,43	117471,8	234672,42
2 (i)	213,10	45411,61	204,32	41746,66	417,42	87158,27	174239,46
3 (i)	214,20	45881,64	368	135424	582,2	181305,6	338956,84
$T_{.j}$	661,28		822,77		1484,05		747868,72
$Q_{.j}$		146039,89		239895,86		385935,7	
$T_{.j}^2$	437291,2 3		676950,47		1114241,7		

Tabela da Análise de Variância

Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	6866,96	2	3433,48	0,89	19
Entre colunas	4346,5	1	4346,5	1,13	18,51
Residual	7654,8	2	3827,4		
Total	18868,29	5			

Amostras de PMMA (H) e de PC (V)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 Mpa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	162,57	65,91	146,37
W.T. (0,4 seg)	116,12	221,25	246,75

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	162,57	26429	116,12	13483,85	278,69	39912,85	77668,12
2 (i)	65,91	4344,13	221,25	48951,56	287,16	53295,69	82460,85
3 (i)	146,37	21424,17	246,75	60885,56	393,12	82309,73	154543,33
$T_{.j}$	374,85		584,12		958,97		314672,3
$Q_{.j}$		52197,3		123320,97		175518,3	
$T_{.j}^2$	140512,5 2		341196,17		481708,69		

Tabela da Análise de Variância

Fonte deVariação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	4065,57	2	2032,78	0,37	19
Entre colunas	7298,98	1	7298,98	1,34	18,51
Residual	10883,15	2	5441,57		
Total	22247,7	5			

Amostras de PMMA (V) e de PC (H)

Amostra	1	2	3
	P (0,052 MPa)	P (0,069 MPa)	P (0,095 MPa)
W.T. (0,2 seg)	173,56	227,48	197,25
W.T. (0,4 seg)	176,60	174,40	168,62

	j						
	W.T. (0,2seg)		W.T. (0,4 seg)				
	x_{ij}	x_{ij}^2	x_{ij}	x_{ij}^2	T_i	Q_i	T_i^2
1 (i)	173,56	30123,07	176,60	31187,56	350,16	61310,63	122612,02
2 (i)	227,48	51747,15	174,40	30415,36	401,88	82162,51	161507,53
3 (i)	197,25	38907,56	168,62	28432,7	365,87	67340,26	133860,86
$T_{.j}$	598,29		519,62		1117,91		417980,42
$Q_{.j}$		120777,78		90035,62		210813,4	
$T_{.j}^2$	357950,9 2		270004,94		627955,86		

Tabela da Análise de Variância

F Fonte de Variação	Soma de quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	$F_{\alpha=5\%}$
Entre linhas	703,08	2	351,54	0,89	19
Entre colunas	1031,49	1	1031,49	2,6	18,51
Residual	791,69	2	395,84		
Total	2526,27	5			

Apêndice C – Resultados da análise estatística pela prova dos sinais

C1 Resultados do teste estatístico da prova de sinais em função da comparação dos resultados do teste de cisalhamento

C1.1 Comparação entre as junções de PMMA e os outros tipos de junções de PMMA e entre as junções de PC e os outros tipos de junções de PC

Tabela 52 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PMMA (VV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	>500,00	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	361,50	417,00	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	392,75	236,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	362,00	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	174,12	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	243,86	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,052	108,15	98,05	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 3

Tabela 53 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PMMA (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	328,50	(HH) > (HV)	+
0,40	0,15	0,069	361,50	209,12	(HH) > (HV)	+
0,40	0,15	0,052	392,75	232,50	(HH) > (HV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	299,75	(HH) > (HV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	230,50	(HH) > (HV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	234	(HH) < (HV)	-
0,20	0,15	0,052	108,15	266,93	(HH) < (HV)	-
			N = 7			X = 2

Tabela 54 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PMMA (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (VV)	PMMA (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	>500,00	328,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	417,00	209,12	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	236,50	232,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	362,00	299,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	174,12	230,50	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,069	243,86	234	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	98,05	266,93	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 2

Tabela 55 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (VV)** e **de PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PC (VV)	PC (HH)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	236,25	466,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	263,50	144,00	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	243,25	234,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	251,25	203,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	194,50	226,75	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,069	148,3	98,86	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	92,27	94,47	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 3

Tabela 56 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (VV)** e **de PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PC (VV)	PC (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	236,25	229,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	263,50	216,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	243,25	146,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	251,25	210,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	194,50	147,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	148,3	139,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	92,27	108,75	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 1

Tabela 57 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PC (HV)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PC (HV)	PC (HH)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	229,25	466,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	216,37	144,00	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	146,37	234,50	(HH) < (VV)	-
0,40	0,35	0,095	210,50	203,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	147,75	226,75	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,069	139,62	98,86	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	108,75	94,47	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 3

C1.2 Comparação entre junções com materiais dissimilares de PMMA/PC

Tabela 58 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V)** e de **PMMA (H)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (V) e PC (V)	PMMA (H) e PC (H)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	368	243,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	204,32	179,75	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	250,45	190,62	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	383,37	266,25	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	214,20	196,87	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	213,40	145	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	233,98	198	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 0

Tabela 59 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V)** e de **PMMA (V)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
W.T. (seg)			PMMA (V) e PC (V)	PMMA (V) e PC (H)		
0,40	0,15	0,095	368	168,62	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	204,32	174,40	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	250,45	176,60	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	383,37	327,80	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	214,20	197,25	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	213,40	227,78	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,052	233,98	173,56	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 1

Tabela 60 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(V)** e de **PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
W.T. (seg)			PMMA (V) e PC (V)	PMMA (H) e PC (V)		
0,40	0,15	0,095	368	246,75	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	204,32	221,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	250,45	116,12	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	383,37	245,00	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	214,20	146,37	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	213,40	65,91	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	233,98	162,57	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 1

Tabela 61 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (H)/PC(H)** e de **PMMA (V)/PC(H)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
W.T. (seg)			PMMA (H) e PC (H)	PMMA (V) e PC (H)		
0,40	0,15	0,095	243,25	168,62	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	179,75	174,40	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	190,62	176,60	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	266,25	327,80	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,095	196,87	197,25	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,069	145	227,78	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,052	198	173,56	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 3

Tabela 62 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (H)/PC(H)** e de **PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
W.T. (seg)			PMMA (H) e PC (H)	PMMA (H) e PC (V)		
0,40	0,15	0,095	243,25	246,75	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	179,75	221,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	190,62	116,12	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	266,25	245,00	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	196,87	146,37	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	145	65,91	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	198	162,57	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 2

Tabela 63 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (V)/PC(H)** e de **PMMA (H)/PC(V)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (V) e PC (H)	PMMA (H) e PC (V)		
W.T. (seg)						
0,40	0,15	0,095	168,62	246,75	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	174,40	221,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	176,60	116,12	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	327,80	245,00	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	197,25	146,37	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	227,78	65,91	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	173,56	162,57	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 2

C1.3 Comparação entre junções de PMMA/PMMA, e de PC/PC

Tabela 64 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PC (HH)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	466,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	361,50	144,00	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	392,75	234,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	203,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	226,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	98,86	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	108,15	94,47	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 0

Tabela 65 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (VV)	PC (VV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	>500,00	236,25	(HH) > (HV)	+
0,40	0,15	0,069	417,00	263,50	(HH) > (HV)	+
0,40	0,15	0,052	236,50	243,25	(HH) < (HV)	-
0,40	0,35	0,095	362,00	251,25	(HH) > (HV)	+
0,20	0,15	0,095	174,12	194,50	(HH) < (HV)	-
0,20	0,15	0,069	243,86	148,3	(HH) > (HV)	+
0,20	0,15	0,052	98,05	92,27	(HH) > (HV)	+
			N = 7			X = 2

Tabela 66 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HV)	PC (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	328,50	229,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	209,12	216,37	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	232,50	146,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	299,75	210,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	230,50	147,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	234	139,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	266,93	108,75	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 1

Tabela 67 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PC (VV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	236,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	361,50	263,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	392,75	243,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	251,25	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	194,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	148,3	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	108,15	92,27	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 0

Tabela 68 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PC (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	229,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	361,50	216,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	392,75	146,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	210,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	147,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	139,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	108,15	108,75	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 1

Tabela 69 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (VV)	PC (HH)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	>500,00	466,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	417,00	144,00	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	236,50	234,50	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	362,00	203,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	174,12	226,75	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,069	243,86	98,86	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	98,05	94,47	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 1

Tabela 70 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (HH)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HV)	PC (HH)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	328,50	466,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,069	209,12	144,00	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	232,50	234,50	(HH) < (VV)	-
0,40	0,35	0,095	299,75	203,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	230,50	226,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	234	98,86	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	266,93	94,47	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 2

Tabela 71 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (VV)** e de **PC (HV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (VV)	PC (HV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	>500,00	229,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	417,00	216,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	236,50	146,37	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	362,00	210,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	174,12	147,75	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	243,86	139,62	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	98,05	108,75	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 1

Tabela 72 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HV)** e de **PC (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HV)	PC (VV)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P. (MPa)				
0,40	0,15	0,095	328,50	236,25	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	209,12	263,50	(HH) < (VV)	-
0,40	0,15	0,052	232,50	243,25	(HH) < (VV)	-
0,40	0,35	0,095	299,75	251,25	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	230,50	194,50	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	234	148,30	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,052	266,93	92,27	(HH) > (VV)	+
			N = 7			X = 2

C1.4 Comparação entre o material com soldagem similar de maior resistência PMMA (HH) e do material com soldagem dissimilar de maior resistência PMMA (V) e PC (V)

Tabela 73 mostra o resultado da comparação dos materiais soldados de **PMMA (HH)** e de **PMMA (VV)** pelo método estatístico da prova de sinais em função dos resultados do teste de cisalhamento

Parâmetros de soldagem			Classificação dos materiais quanto à resistência		Sentido da diferença	Sinal
			PMMA (HH)	PMMA (V) e PC (V)		
W.T. (seg)	H.T. (seg)	P (MPa)				
0,40	0,15	0,095	496,00	368	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,069	361,50	204,32	(HH) > (VV)	+
0,40	0,15	0,052	392,75	250,45	(HH) > (VV)	+
0,40	0,35	0,095	>500,00	383,37	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,095	449,50	214,20	(HH) > (VV)	+
0,20	0,15	0,069	208,71	213,40	(HH) < (VV)	-
0,20	0,15	0,052	108,15	233,98	(HH) < (VV)	-
			N = 7			X = 2

C1.5 Tabela de probabilidade ($P_{rob.}$) referente aos valores de N e x

Tabela 74 mostra o valor de probabilidade ($P_{rob.}$) referente aos valores de N (número de pares) e x (número de vezes que os sinais de menor frequência aparecem)

.... x N	0	1	2	3	4	5	6	7
5	031	188	500	812	969			
6	016	109	344	656	891	984		
7	008	062	227	500	773	938	992	
8	004	035	145	363	637	855	965	996

Ob.: Omitiram-se as vírgulas decimais valores de $P_{rob.}$ ex.: 016 = 0,016

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 WIEBECK, H. et al. Apostila Plásticos de Engenharia; Producty Estrategy; São Paulo, Engenharia Química – B19; Biblioteca de Geografia e Historia, 2003.
- 2 CALLISTER, W. D. Jr., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução, 5º Edição, University of Utah, Tradução MURILO, S. S. S., Editora LTC (Livros Técnicos e Científicos S. A.), Rio de Janeiro, p. 309.
- 3 CANEVAROLO Jr, S.V.; Ciências dos Polímeros. Um texto básico para tecnólogos e engenheiros, 1ª edição, São Paulo, Editora Atiliber, 2002, Introdução geral p. 16 e massas moleculares e sua distribuição em polímeros p.99 a 101.
- 4 MANO, E.B.; Polímeros como Materiais de Engenharia, São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda., 1991. p. 87 e p. 74.
- 5 GUEDES, B.; FILKAUSKAS, M.E.; O Plástico, 4º Edição, São Paulo, Editora Érica, 1986.
- 6 WATSON, M.N.; Joining Plastics in Production, 1º Edição, Cambridge, Books Editor The Welding Institute 1988, Cap. 4 The applications of ultrasonic welding, p.45 a 61, Cap. 5 Ultrasonic welding – principles and theory, p. 46 a 72.
- 7 <www.infosolda.com.br/soldagem por ultra-som> Acesso em: 12 jun. 2004.
- 8 DILÀN, H.; HOLT, K; VÈLEZ, G.; Estudo propõe procedimentos para aperfeiçoar a união de peças plásticas por ultra-som, Revista plástico industrial, Editora Aranda – Ano VII - nº 79, março 2005, pp 52 - 63.
- 9 ASTM D 6389M – 89, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (metric)”, 1989, norma encontrada no Livro de Normas da ASTM número 15.06

10 ASTM D 2919 – 90, Standard Test Method for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Shear by Tension Loading, 1990, norma encontrada no Livro de Normas da ASTM número 15.06.

11 TURRI, W. F.; DERMAQUETE, N. R.; BRANDI, S. D.; “Processo de soldagem por ultra-som em policarbonato (PC) e uma comparação com o Poli (metacrilato de metila) (PMMA)”, XXVII CONSOLDA, CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, Campinas – S.P., De 10 a 14 de setembro de 2001 CT – 43.

12 Metal piezoelétrico. Disponível em: < <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160030509http>> Acesso em: 21 mar. 2005.

13 WICKHAN, M.J.; WATSON, M.N.; A preliminary study of the ultrasonic welding of four termoplastics, Research Report, The welding Institute, May 1987.

14 Ultrasonic assembly of termoplastics mouldings and semi-finished products, ZVEI, The German Electrical and Electronic Manufactures’ Association.

15 Michael/Greif/Kaufmann/Vosseburguer; Tecnologia dos plásticos, Editora Edgard Blucher Ltda.; 1992.

16 NETO, C.; OLIVEIRA, P. L., Estatística, São Paulo, Edgard Blucher, 1977; Cap. 7.

17 PARADINE, C. G.; RIVET, B.H.P.; Métodos estatísticos para tecnologistas; São Paulo, Polígono, Ed. da universidade de São Paulo, 1974, Cap. 12; tradução de Santoro; César, M.

18 SIEGEL, S., estatística não – paramétrica (para ciências do comportamento), Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1975, p. 75.

- 19 <www.plastico.com.br/revista/pm356/secadores 1> Acesso em: 15 mar. 2005.
- 20 <www.carel.com/carelcom/web/por/mercati/umidificare.jsp> Acesso em: 15 mar. 2005.
- 21 Manual para operação da estufa (marca Heraeus, modelo VT 6025 (Vacuum Drying Oven)).
- 22 Manual para operação da maquina injetora (CURSO DE INJEÇÃO E TREINAMENTO PARA INJETORAS DEMAG, LINHA ERGOTECH COMPACT E SYSTEM (Demag van dorn, EQUIPAMENTOS PLÁSTICOS, tecnologia mannesmann)).
- 23 <www.labinfo.cefetrs.edu.br/professores/fernandopeixoto> Acesso em: 14 mar. 2005 - PROGAMAÇÃO E AJUSTES DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE DE MAQUINA INJETORA .doc.
- 24 Apostila para injeção (INJEÇÃO INFORMAÇÃO SUCINTA E PRECISA) MANNESMANN DEMAG.
- 25 BRANSON Ultrasonics Corporation, Manual do operador de soldadoras integradas série 900 iw, versão 1.11 em português, São Paulo, 1995.
- 26 Manual de operação (Máquina Universal de Ensaio Kratos, modelo K 2.000MP, software: Tracom-W95 (TRCV 48)).
- 27 ASTM – D 4501 – 85, Standard Test Method for Shear Strength of Adhesive Bonds Between Rigid Substrates by the Bloch-Shear Method, 1985, norma encontrada no Livro de Normas da ASTM número 15.06.

28 DAY, M.J.; GITTOS, M.F. The application for microscopy to welded joints in thermoplastics, Report from the Co-Operative Research Programme for Research Members Only, May 1987.