

MODELAGEM COMPUTACIONAL DA SOLDAGEM DE UM COMPONENTE AUTOMOTIVO

Leandro Coutinho Vieira

UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia-MG – CEP 38408-100
couthovieira@gmail.com

Louriel Oliveira Vilarinho

vilarinho@mecanica.ufu.br

Domingos Alves Rade

domingos@ufu.br

Resumo: O estabelecimento de processos de fabricação cada vez mais produtivos e de maior qualidade é um requerimento constante do meio industrial. Neste sentido, uma das metodologias possíveis para a busca pela otimização de processos é através do uso de simulações numérico-computacionais. Esta abordagem apresenta vantagens como um menor custo de materiais e obtenção de resultados das análises em um menor tempo, se comparado a técnicas experimentais. Em específico para processos de soldagem, um software comercial de simulação numérico-computacional de desenvolvimento recente vem chamando a atenção por parte do setor industrial e meio acadêmico: o Sysweld®. Este software tem a capacidade de simular processos de soldagem (GTAW, GMAW, FCAW, RSW, LBW e EBW) e ciclos térmicos de uma forma geral. Como resultados, o Sysweld® é capaz de prever campos de temperatura, tensões residuais, deformações e porcentagem de fases (microconstituintes). Entretanto, apesar da grande possibilidade de uso deste software, ele demanda uma calibração experimental para garantir a confiabilidade dos resultados. Com base neste contexto, foi proposto um estudo de caso em um componente automotivo fabricado nacionalmente, de maneira a delimitar uma metodologia de condução de simulação numérico-computacional para fabricação por soldagem no software comercial Sysweld®, de forma a obter resultados confiáveis e que representem a realidade. Foram realizadas as simulações de todas as soldas de eixo traseiro de veículo do tipo hatch, como resultados foram obtidos o campo de temperatura e as deformações geradas no componente para que fossem comparadas com os resultados obtidos experimentalmente através de medições realizadas com termopares e mesa tridimensional na indústria.

Palavras-chave: Sysweld, elementos finitos, simulação.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, estruturas soldadas encontram-se amplamente aplicadas em projetos de engenharia. Normalmente, estas estruturas apresentam, devidas ao ciclo térmico da soldagem, tensões internas (residuais), que são as tensões que permanecem na peça na ausência de forças externas e gradientes térmicos (Kandil *et al.*, 2001). Em muitos casos estas tensões são indesejáveis devido à possibilidade de prejudicar a qualidade de componentes soldados (Parlane *et al.*, 1981), fazendo-se necessários tratamentos térmicos.

Em um mercado cada vez mais competitivo a cobrança se torna maior sobre o produto oferecido, por esse motivo obter um melhor conhecimento e controle do que se fabrica torna-se fundamental. Em uma linha de produção onde se fabricam componentes soldados uma maneira de

se obter isto é a realização de vários testes até se chegar ao ponto ótimo, no entanto esta técnica demanda de um custo bastante elevado.

Com o intuito de minimizar o numero de testes e se obter um conhecimento profundo do produto fabricado, uma técnica interessante é a implementação de um modelo em elementos finitos que condiz com a realidade do produto fabricado. Porém devido à complexidade de uma soldagem encontra-se uma dificuldade muito grande de sua modelagem e a necessidade de softwares bastante robustos e específicos, por exemplo, o Sysweld[®] que é específico para soldagem.

Com base neste contexto, em uma parceria realizada entre a UFU e uma empresa fabricante de componentes automotivos foi proposta a realização, via modelagem computacional, das soldas de um dos seus componentes, de forma a obter resultados confiáveis e que representem a realidade predizendo campo térmico, deslocamentos, tensões residuais e proporção de fases ao final das soldas através do software comercial Sysweld[®].

2. DESCRIÇÃO

A seguir estão descritos as etapas necessárias para a realização via elementos finitos, no software Sysweld[®], das soldas de um componente automotivo em linha de produção, para tanto todos os dados utilizados durante a fabricação são os mesmos que foram fornecidos.

2.1 Levantamento dos Parâmetros

Foi realizado um levantamento de todos os parâmetros de soldagem utilizados durante a fabricação do componente e os mesmos podem ser observados através da Tabela 1 abaixo.

Tabela1 – Parâmetros de soldagem utilizados na soldagem do Total Flex.

	Vel. Soldagem (mm/s)	Tensão(V)	Corrente (A)	Comprimento (mm)
Solda 3	9,83	24,2	244	120
Solda 3	11,71	24,2	244	30
Solda 5	7,5	21,2	228	30
Solda 7	10,41	26,8	286	35
Solda 21	8	21,2	228	20
Solda 23	7,14	21,2	228	20

Um levantamento de todos os materiais utilizados e sua composição química também foi fornecido para que através de comparação com os materiais presentes no sysweld se chegasse aos materiais mais próximos àqueles encontrados no componente, pois a obtenção de todas as propriedades reais destes materiais para cada fase seria uma tarefa muito difícil. A Tabela 2 mostra o comprimento de cada solda bem como o material de cada peça a ser soldada já a Tabela 3 ilustra a composição química dos materiais utilizados.

Tabela 2 – Comprimento, espessura e material de cada solda.

Cordão	Nome Peça 1	Espessura	Material	Comprimento [mm]	Nome Peça 2	Espessura	Material
3	Assento de Mola	3,5 mm	QStE340	150	Suporte Amort	3 mm	QStE340
5	Assento de Mola	3,5 mm	QStE340	30	Suporte Amort	3 mm	QStE340
7	Assento de Mola	3,5 mm	QStE340	35	Suporte Amort	3 mm	QStE340
21	Suporte Cabo ABS	2 mm	NBR5906 EPA	20	Assento de Mola	2,5 mm	QStE340
23	Suporte Cabo ABS	2 mm	NBR5906 EPA	20	Assento de Mola	2,5 mm	QStE340

Tabela 3 – Composição química dos materiais utilizados.

Material	Material Equivalente	C (%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Al(%)	Si(%)	Nb(%)	Ti(%)	N (%)	V(%)
SAE 1010 / 1015	C10, 1.0301	0,1	0,45	0,045	0,045	-	0,25	-	-	-	-
DIN EN 10305-3 + N	E355+N	0,22	1,6	0,025	0,025	-	0,55	-	-	-	-
LNE 420	S420MC	<0,12	<1,6	<0,025	<0,015	<0,015	<0,5				<0,2
St37.2NBK (SAE 1020)	S 235 JR	0,17	1,4	0,03	0,03	-	-	-	-	0,012	-
LNE 340	QStE340/S340MC	0,12	1,3	0,025	0,02	0,015	0,5	-	0,15		-
LNE 340	QStE340/S340MC	0,12	1,3	0,025	0,02	0,015	0,5	-	0,15		-
LNE 340	QStE340/S340MC	0,12	1,3	0,025	0,02	0,015	0,5	-	0,15		-
NBR 5906 EPA	DD12 ou DD13	0,08	0,5	0,03	0,03	0,02	-	-	-	-	-
NBR 5906 EPA	DD12 ou DD13	0,08	0,5	0,03	0,03	0,02	-	-	-	-	-
LNE 380	S355MC	<0,12	<1,5	<0,025	<0,02	<0,015	<0,5	<0,09	0,15		0,2

2.2. Simulação das Macrografias

Para o Sysweld (Sysweld, 2006) é necessário um ajuste de cada uma das macrografias antes do início de cada solda o que permite um ganho computacional muito grande, pois com isso não é necessário realizar toda uma simulação para se ter idéia de como será a macro encontrada ao final no componente. Com os parâmetros em mãos foram simuladas as macrografias e estas comparadas com a macrografia real como mostrado nas figuras a seguir.

Após o ajuste de todas as macrografia um arquivo com todos os parâmetros de cada fonte é criado e posteriormente será utilizado.

Nas Figuras 1 a 5 podem ser observadas as comparações das macrografias dos cordões de solda simulada e real, vale lembrar que nesta etapa é realizado apenas um ajuste de parâmetros da fonte de soldagem através de uma junta que se aproxime da junta real, de posse destes parâmetros da fonte será a realizada a soldagem completa do componente. Nas Tabelas 4 a 9 imediatamente após a figura correspondente estão uma comparação das medidas reais e simuladas dos cordões.

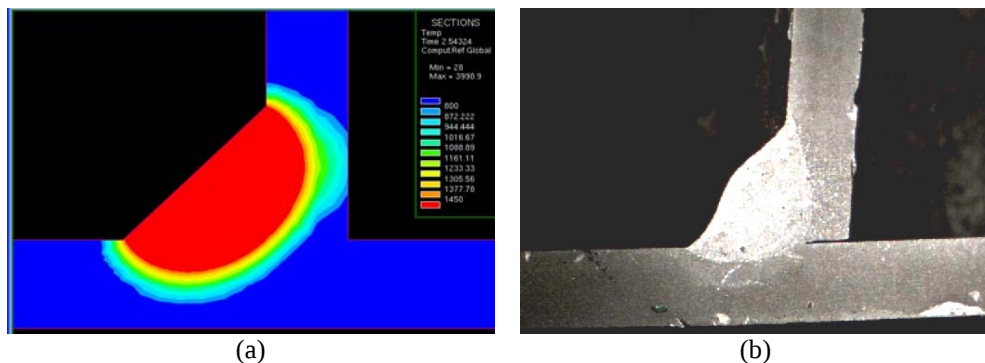


Figura 1: Comparação das macrografias (a) simulada e (b) real para o cordão 3

Tabela 4 – Medições das Macrografias obtidas para o cordão 3.

Simulação Cordão 3			Medidas Cordão 3		
	penetração	perna		penetração	perna
Ass. Mola	1,18	5,18	Ass. Mola	0,79	5,47
Sup. Amort.	1,18	5,18	Sup. Amort.	1,33	5,09
Largura	7,46		Largura	7,53	
Profundidade	3,73		Profundidade	4,13	
Altura	0		Altura	-0,54	

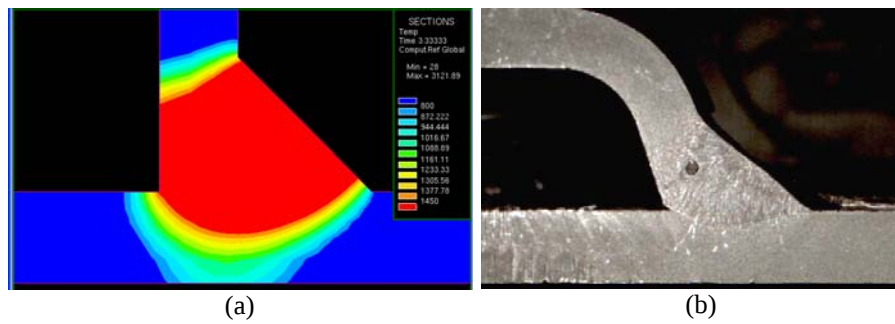


Figura 2: Comparação das macrografias (a) simulada e (b) real para o cordão 5.

Tabela 5 – Medições das Macrografias obtidas para o cordão 5.

Simulação Cordão 5			Medidas Cordão 5		
	penetração	perna		penetração	perna
Ass. Mola	1,83	5,1	Ass. Mola	0,84	6,98
Sup.Amort.	3	4,78	Sup.Amort.	3,24	3,14
Largura	6,68		Largura	7,22	
Profundidade	5,3		Profundidade	4,43	
Altura	0		Altura	-0,047	

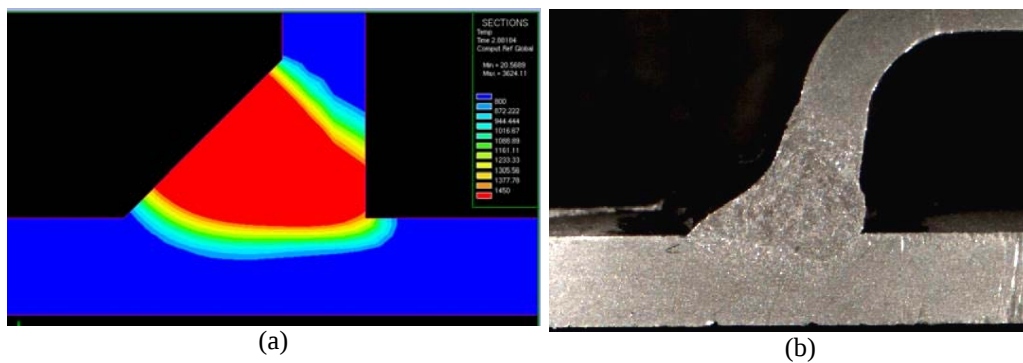
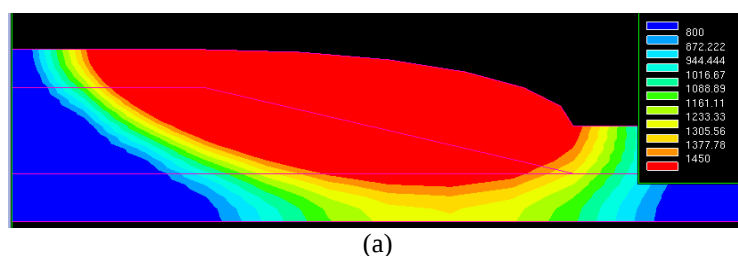
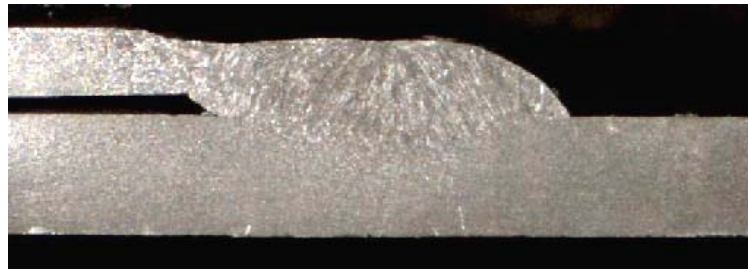


Figura 3: Comparação das macrografias (a) simulada e (b) real para o cordão 7.

Tabela 6 – Medições das Macrografias obtidas para o cordão 7.

Simulação Cordão 7			Medidas Cordão 7		
	penetração	perna		penetração	perna
Ass. Mola	1,02	7,95	Ass. Mola	1,19	8,09
Sup.Amort.	3	4,78	Sup.Amort.	2,44	4,64
Largura	7,76		Largura	8,03	
Profundidade	6,2		Profundidade	6,03	
Altura	0		Altura	1,03	





(b)

Figura 4: Comparação das macrografias (a) simulada e (b) real para o cordão 21.

Tabela 7 – Medições das Macrografias obtidas para o cordão 21.

Simulação Cordão 21			Medidas Cordão 21		
	penetração	perna		penetração	perna
Ass. Mola			Ass. Mola		
Sup.Amort.	1,56	10	Sup.Amort.	1,8	9,47
Largura	12,46		Largura	12,2	
Profundidade	2,46		Profundidade	2,19	
Altura	1,12		Altura	1,59	

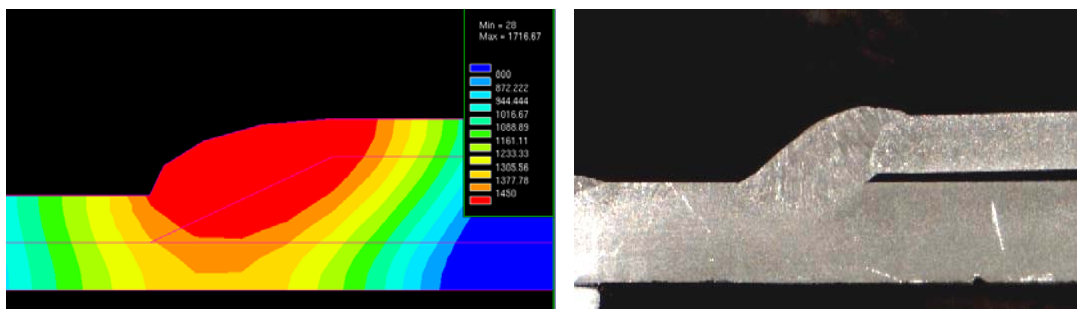


Figura 5: Comparação das macrografias (a) simulada e (b) real para o cordão 23.

Tabela 8 – Medições das Macrografias obtidas para o cordão 23.

Simulação Cordão 23			Medidas Cordão 23		
	penetração	perna		penetração	perna
Ass. Mola			Ass. Mola		
Sup.Amort.	1,25	5,22	Sup.Amort.	1,07	5,2
Largura	6,82		Largura	7,2	
Profundidade	2,25		Profundidade	1,71	
Altura	1,02		Altura	1,07	

2.3. Importação do Modelo

Os modelos foram executados de maneira a se aproximar ao máximo da peça real, através do software Catia e posteriormente o mesmo foi importado para o software Visual Mesh onde foram confeccionadas as malhas e em seguida exportada para o sysweld onde são realizadas as soldagens. A Figura 6 a seguir mostra o modelo completo já importado para o Visual Mesh enquanto que a Figura 7 nos mostra a malha criada para execução das soldas, o modelo possui 22556 elementos.



Figura 6: Modelo mostrando as peças a serem soldadas.

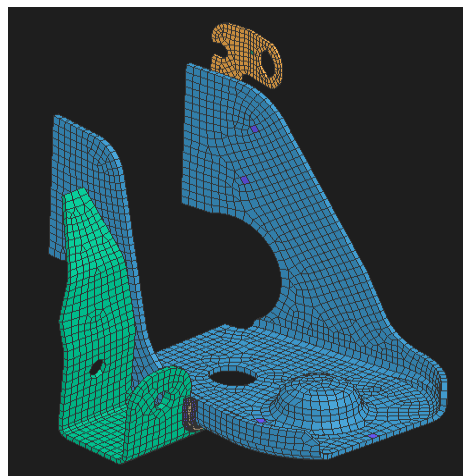


Figura 7: Malha executada no Visual Mesh e importada para o Sysweld.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados Térmicos

As figuras a seguir mostram os campos de temperatura com a evolução do tempo para cada cordão de solda do componente. É possível notar que na região onde a fonte de calor está passando ocorre um forte aquecimento que se espalha pela peça soldada e logo que termina a passagem da fonte inicia-se o resfriamento do cordão. Para a verificação dos dados obtidos e validação do software foi proposta a medição da temperatura através de termopares em alguns pontos do componente para comparação.

A Figura 8 mostra o campo de temperatura para o instante 1,8 segundos para o cordão 21 que é o primeiro a ser realizado durante o processo.

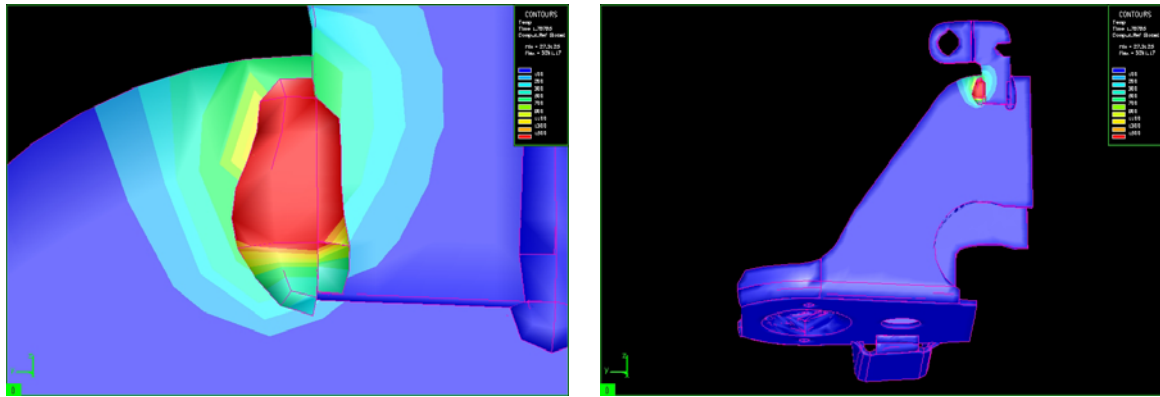


Figura 8 – Campo de temperatura para a solda 21

A Figura 9 mostra o campo de temperatura para o instante 6,36 segundos para a solda 23.

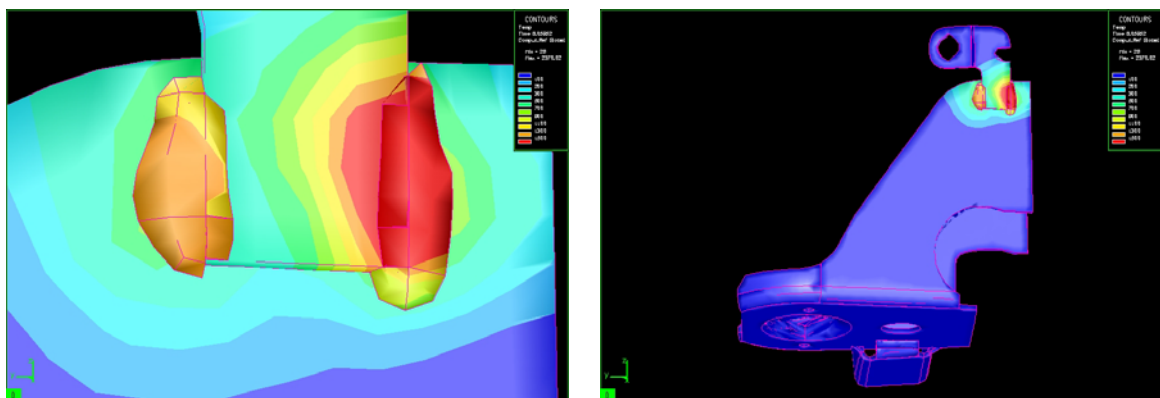


Figura 9 – Campo de temperatura para a solda 23

A Figura 10 mostra o campo de temperatura para o instante 26 segundos para a solda 03.

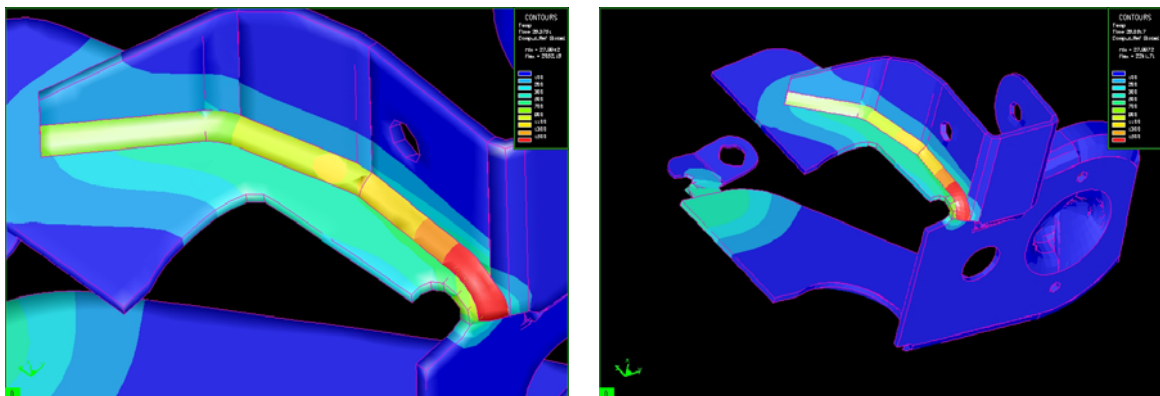


Figura 10 – Campo de temperatura para a solda 03

A Figura 11 mostra o campo de temperatura para o instante 36 segundos para a solda 05.

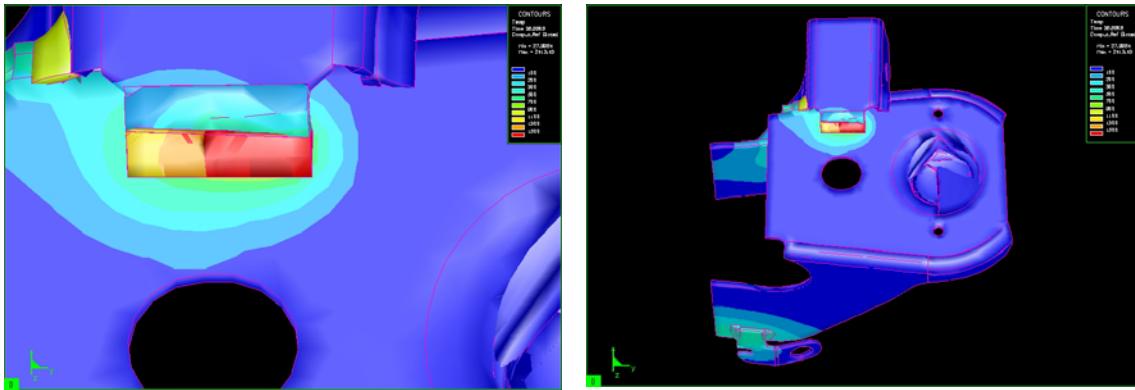


Figura 11 – Campo de temperatura para a solda 05

A Figura 12 mostra o campo de temperatura para o instante 41 segundos para a solda 07.

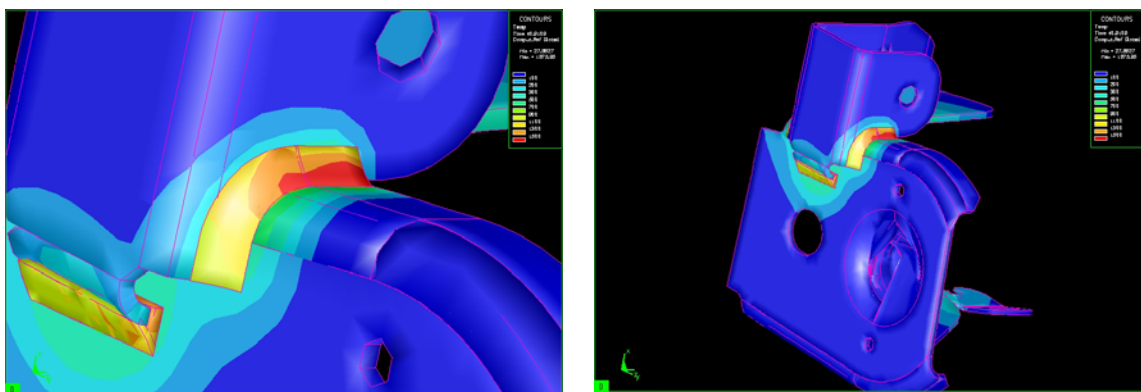
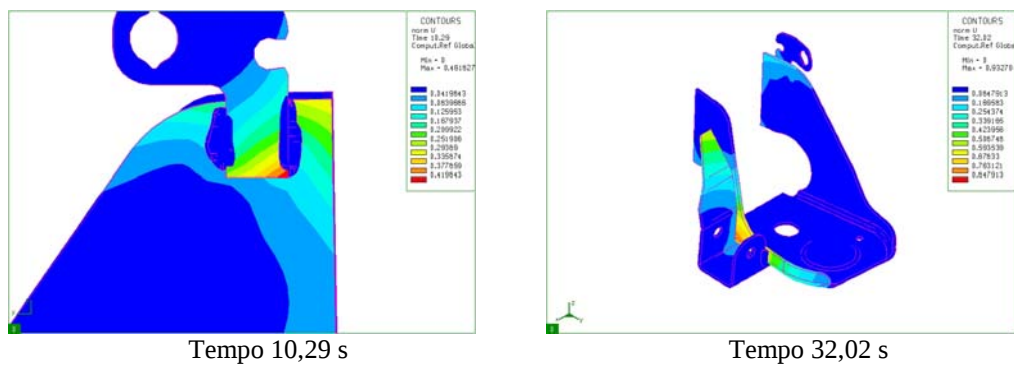


Figura 12 – Campo de temperatura para a solda 07.

3.2. Resultados Estruturais

As Figuras 13 e 14 a seguir mostram os deslocamentos com a evolução do tempo para o conjunto como um todo e principalmente o deslocamento final após o resfriamento. Uma análise tridimensional também será realizado com o intuito de se obter o deslocamento final do componente.



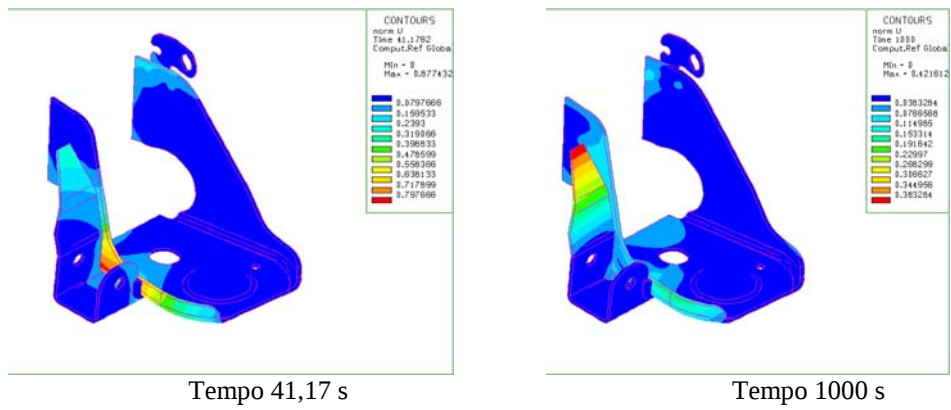


Figura 13 – Campo de deslocamento em alguns instantes de tempo.

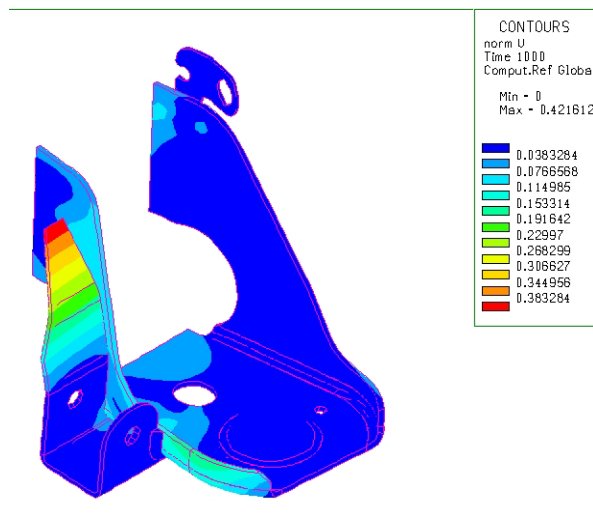
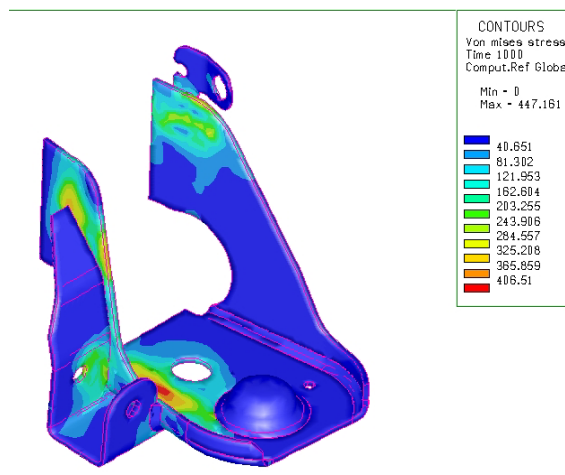


Figura 14 – Deslocamento após resfriamento.

Também foram obtidas as tensões remanescentes no componente devido à soldagem. Como esperado nas regiões dos cordões de solda tensões residuais de tração são observadas e estão ilustradas na Figura 15 a seguir.



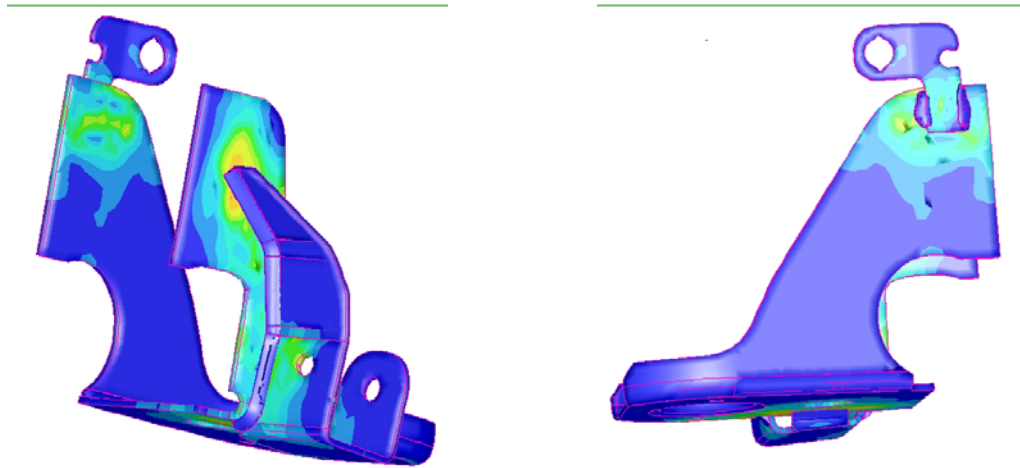


Figura 15 – Tensões Residuais de Soldagem.

3. CONCLUSÃO

Este trabalho mostra a modelagem computacional da soldagem em um componente automotivo, viabilizando a utilização do software Sysweld para realizar a simulação da soldagem. No entanto, para a validação total do software e dos parâmetros utilizados é necessário uma comparação do campo de temperatura e de deslocamentos, sendo esta a próxima etapa do nosso projeto.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Femec e ao CNPq.

5. REFERÊNCIAS

- Kandil, F.A., Lord, J.D., Fry, A.T. e Grant, P.V. A Review of Residual Stress Measurement Methods – A Guide to Technique Selection. 2001. NPL Materials Centre, UK.
- Parlane, A.J.A., Allen, J.S., Harrison, J.D., Leggatt, R.H., Dwight, J.B., Bailey, N., Procter, E. and Saunders, G.G., 1981, “Residual Stresses and their Effect”, The Welding Institute, U.K.
- SYSWELD, 2006.1, Theory Reference Manual.