

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Validação e otimização estrutural de um depósito de gasolina para uma mota de todo-o-terreno

Luís Pires de Lima Sampaio Peixoto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Produção, Conceção e Fabrico

Orientador: Prof. José Luís Soares Esteves
Co-orientador: Prof. Mário Augusto Pires Vaz
Coordenador: Eng. Miguel Angelo Nogueira da Costa Oliveira (AJP)

Setembro 2018

Agradecimentos

Um obrigado aos meus pais, por sempre terem feito todos os possíveis para que tivesse a melhor educação e que estivesse preparado para o mundo de trabalho e não só.

À minha namorada, Liliana, por me ter apoiado incondicionalmente e me ter ajudado em muitos momentos durante este mestrado, nomeadamente durante o semestre em Erasmus. Sem ela não teria tido, nem perto, o sucesso que tive.

Um obrigado aos meus orientadores, Professor José Luis Esteves e Professor Mário Vaz pela disponibilidade constante e a ajuda incansável. Só assim foi possível ultrapassar todos os obstáculos que me surgiram durante a tese, principalmente em termos de recursos.

Um obrigado ao Nuno Viriato, do INEGI, por toda a ajuda com as inúmeras dúvidas na fase inicial da tese.

Um obrigado à AJP Motos e ao meu coordenador, o Engenheiro Miguel Oliveira, por me terem possibilitado a oportunidade de trabalhar num tópico de tese tão interessante como este.

Resumo

Esta tese surgiu de uma necessidade da empresa AJP Motos. A empresa pretendia validar, através de programas de simulação Método de Elementos Finitos (MEF), um depósito de gasolina com responsabilidade estrutural numa mota de todo-o-terreno, no caso de uma queda violenta.

A empresa cedeu o ficheiro com o design exterior do depósito e era necessário transformá-lo num depósito propriamente dito (elemento de casca). Usou-se, para este passo, o programa *SolidWorks*.

De seguida, foi usado o programa *Abaqus* para a simulação do comportamento quando sujeito a diferentes cargas aplicadas, de modo a ser o mais aproximado possível às forças envolvidas no caso de uma queda violenta.

Numa fase inicial, a simulação foi feita com um depósito simplificado e simétrico, de modo a poder obter resultados dentro de um prazo estabelecido pela empresa. Numa segunda fase, a simulação foi feita com a versão do depósito completo mais recente até ao momento, com todos os detalhes e o mais aproximado possível a um depósito saído de um molde de roto-moldagem. Para além dos tipos de cargas usadas no depósito simplificado, também foram simuladas outras cargas de modo a obter conclusões mais fiáveis.

Os resultados das simulações permitiram concluir que certos elementos do depósito mais detalhado levam a ultrapassar a tensão limite de elasticidade introduzindo deformações plásticas localizadas, comparativamente com o depósito simplificado.

Com base nestas simulações foi otimizada a geometria do depósito introduzindo alterações, permitindo que todo o depósito esteja sujeito a tensões inferiores ao limite elástico do material, quando sujeito aos valores de carga de projeto.

Abstract

This thesis began with the need from the company AJP Motos, to validate, through Finite Element Method (MEF) simulation programs, a fuel tank with structural responsibility of a dirt bike in the event of a violent wipeout.

The company provided the file containing only the exterior design of the fuel tank, in which it was necessary to convert it into a shell element. SolidWorks was used for this step.

Next, Abaqus was used to simulate the behavior when different loads are applied, in order to get as close as possible to the forces involved in the case of a violent fall.

In an initial phase, a simplified and symmetrical fuel tank was simulated, so the results could be obtained within a schedule established by the company.

In a second step, it was simulated the most recent and detailed version of the complete fuel tank, so far, and as close as possible to the product coming from the die-cast mold. Besides the same forces applied to the simplified fuel tank, it was also simulated with other kinds of forces to have more reliable conclusions.

With the obtained results, it is possible to conclude that certain elements from the more detailed version of the fuel tank will lead to overcome the material yield stress, introducing localized plastic deformations, compared to the simplified fuel tank.

Based on these simulations, the deposit geometry was optimized by introducing changes, allowing the entire deposit to be subjected to stresses lower than the material yield stress, when subjected to design load values.

Índice

Capítulo 1	7
Introdução	7
1.1 Nota introdutória	7
1.2 Objetivos	7
1.3 Estrutura da Tese.....	7
Capítulo 2	9
A Empresa	9
2.1 AJP Motos.....	9
2.2 AJP P310	11
Capítulo 3	15
Revisão do Estado da Arte.....	15
3.1 A forma e a disposição dos depósitos nas motas de todo-o-terreno	15
3.2 Materiais tipicamente utilizados no fabrico dos depósitos	21
3.3 Processo de fabrico (Roto-Moldagem)	22
Capítulo 4	27
Estudo do comportamento do depósito simplificado.....	27
4.1 Simulações do depósito simplificado	32
4.2 Resultados da simulação com a carga vertical	35
4.3 Resultados da simulação com a carga lateral	38
4.4 Conclusões.....	42
Capítulo 5	43
Estudo do comportamento do depósito final	43
5.1 Resultados da simulação com a carga vertical	48
5.2 Resultados da simulação com a carga lateral	53
5.3 Resultados da simulação com a carga composta.....	63
5.4 Conclusões.....	70
Capítulo 6	71

Conclusão e Recomendações	71
6.1 Conclusão.....	71
6.2 Recomendações.....	71
Referências.....	74

Índice de Figuras

Figura 1 AJP Ariana 125 (Source: AJP Motos)	9
Figura 2 AJP PR7 (Source: AJP Motos).....	10
Figura 3 AJP P310 Lado esquerdo (Source: AJP Motos)	11
Figura 4 AJP P310 Lado direito (Source: AJP Motos)	11
Figura 5 AJP P310 Frente (Source: AJP Motos).....	12
Figura 6 AJP P310 Motor (Source: AJP Motos).....	12
Figura 7 AJP P310 Transmissão (Source: AJP Motos)	13
Figura 8 Depósito inserido no protótipo P310 (Source: AJP Motos)	13
Figura 9 Depósito inserido no protótipo P310 (Source: AJP Motos)	14
Figura 10 Depósito inserido no protótipo P310 (Source: AJP Motos).....	14
Figura 11 Depósito de gasolina Yamaha (Source: Acerbis)	15
Figura 12 Depósito de gasolina KTM (Source: Acerbis).....	15
Figura 13 Depósito de gasolina GasGas (Source: Greenlandmx.fr).....	16
Figura 14 Diferença de Centro de Massa com depósito à frente ou debaixo do assento (Source: Oliveira, Miguel; 2008)	17
Figura 15 AJP PR5 (Source: AJP Motos)	18
Figura 16 TM Racing EF 250i (Source: Tmracing.it)	18
Figura 17 Motocicleta da Honda para Rally (Source: Honda).....	19
Figura 18 Motocicleta da Yamaha para Rally. (Source: dakar.com)	19
Figura 19 Motocicleta da KTM para Rally lado esquerdo (Source: KTM)	20
Figura 20 Motocicleta da KTM para Rally lado direito (Source: KTM)	20
Figura 21 Etapas do processo de roto-moldagem. (Source: Rotoworldmag.com).....	23
Figura 22 Máquina de roto-moldagem (Source:design1st.com).....	24
Figura 23 Máquina de roto-moldagem (Source: exportersindia.com).....	24
Figura 24 Insetos metálicos para roto-moldagem. (Source: ameri-kart.com)	25
Figura 25 Reforço metálico para roto-moldagem. (Source: accform-polymers.com) .	26
Figura 26 Superfícies após comando Offset (Fonte própria)	28
Figura 27 Superfícies após comando Offset (Fonte própria)	28
Figura 28 Superfície interior final do depósito mais detalhado (Fonte própria)	29
Figura 29 Vista geral do depósito simplificado (Fonte própria)	30
Figura 30 Vista de frente do depósito simplificado (Fonte própria)	30
Figura 31 Vista de trás do depósito simplificado (Fonte própria)	31
Figura 32 Vista com corte longitudinal do depósito simplificado (Fonte própria)	31

Figura 33 Carga vertical e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)	32
Figura 34 Carga lateral e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)	33
Figura 35 Propriedades mecânicas do PA6MA24 [9]	33
Figura 36 Definição de forma do elemento de malha (Fonte própria)	34
Figura 37 Definição do tipo de elemento de malha (Fonte própria)	34
Figura 38 Vista geral da malha do depósito simplificado (Fonte própria).....	34
Figura 39 Vista geral do depósito após simulação da carga vertical (Fonte própria)..	35
Figura 40 Vista dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)	35
Figura 41 Vista do apoio esquerdo inferior do depósito (Fonte própria)	36
Figura 42 Vista para o interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)....	36
Figura 43 Deformação do depósito com carga vertical (Fonte própria)	37
Figura 44 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral (Fonte própria) ..	38
Figura 45 Vista do apoio superior esquerdo do depósito (Fonte própria)	38
Figura 46 Vista do apoio superior esquerdo do depósito (lado oposto) (Fonte própria)	39
Figura 47 Vista dos apoios inferiores do depósito (Fonte própria)	39
Figura 48 Vista para o interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)....	40
Figura 49 Vista para o interior do depósito (Fonte própria)	40
Figura 50 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)	41
Figura 51 Deformação do depósito com carga lateral (Fonte própria)	41
Figura 52 Deformação do depósito com carga lateral (Fonte própria)	42
Figura 53 Vista geral do depósito mais detalhado (Fonte própria).....	44
Figura 54 Vista de frente do depósito mais detalhado (Fonte própria)	44
Figura 55 Vista de trás do depósito mais detalhado (Fonte própria)	45
Figura 56 Vista do lado esquerda do depósito mais detalhado (Fonte própria)	45
Figura 57 Vista lateral direita com corte longitudinal do depósito mais detalhado (Fonte própria)	46
Figura 58 Vista lateral esquerda com corte longitudinal do depósito mais detalhado (Fonte própria)	46
Figura 59 Vista com corte transversal do depósito mais detalhado (Fonte própria) ..	47
Figura 60 Vista geral da malha do depósito mais detalhado (Fonte própria).....	47
Figura 61 Carga vertical e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)	48
Figura 62 Vista geral do depósito após simulação da carga vertical (Fonte própria)..	48

Figura 63 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)	49
Figura 64 Vista do apoio superior direito (Fonte própria)	49
Figura 65 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)	50
Figura 66 Vista do interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)	50
Figura 67 Vista da parte superior do depósito (Fonte própria)	51
Figura 68 vista da parte central do depósito (Fonte própria)	51
Figura 69 Vista da ranhura transversal do depósito (Fonte própria).....	52
Figura 70 Vista da ranhura transversal do depósito (Fonte própria).....	52
Figura 71 Carga lateral esquerda e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)	53
Figura 72 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral esquerda (Fonte própria)	54
Figura 73 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)	54
Figura 74 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)	55
Figura 75 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)	55
Figura 76 Vista para interior do depósito, no local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)	56
Figura 77 Vista superior para a parte de trás do depósito (Fonte própria)	56
Figura 78 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)	57
Figura 79 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral direita (Fonte própria)	57
Figura 80 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)	58
Figura 81 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)	58
Figura 82 Vista da zona do medidor de nível (Fonte própria)	59
Figura 83 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)	59
Figura 84 Vista para interior do depósito, no local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)	60
Figura 85 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)	61
Figura 86 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)	61
Figura 87 Deformação resultante da carga lateral (Fonte própria)	62
Figura 88 Carga composta direita e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)	63
Figura 89 Vista geral do depósito após simulação da carga composta direita (Fonte própria)	64
Figura 90 Vista do apoio superior direito (Fonte própria)	64
Figura 91 Vista do apoio superior direito (Fonte própria)	65

Figura 92 Vista do medidor de nível (Fonte própria).....	65
Figura 93 Vista da ranhura transversal (Fonte própria).....	66
Figura 94 Vista da ranhura longitudinal direita (Fonte própria).....	66
Figura 95 Carga composta esquerda e condições de fronteira do depósito em Abaques (Fonte própria)	67
Figura 96 Vista geral do depósito após simulação da carga composta esquerda (Fonte própria)	67
Figura 97 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)	68
Figura 98 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)	68
Figura 99 Vista da parte de trás do depósito, no local da aplicação da força (Fonte própria)	69
Figura 100 Vista da ranhura transversal (Fonte própria)	69
Figura 101 Deformações resultantes da carga composta esquerda (Fonte própria) ...	70
Figura 102 Sugestão de nova orientação das novas ranhuras a laranja (Fonte própria)	72
Figura 103 Vista da zona das ranhuras de escoamento de líquidos do depósito otimizado (Source: AJP Motos).....	73
Figura 104 Vista geral do depósito otimizado (Source: AJP Motos).....	73

Capítulo 1

Introdução

1.1 Nota introdutória

A realização desta tese surge no seguimento do programa de estudos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto relativo ao Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. A sua elaboração incide no estudo do comportamento mecânico de um depósito de gasolina para uma mota de todo-o-terreno, no caso de uma queda violenta.

O depósito em questão apresenta-se inserido num protótipo da AJP Motos destinado à competição, onde o risco de quedas é substancialmente maior. Este depósito destaca-se de outros tipos de depósitos de gasolina do mesmo mercado, uma vez que apresenta responsabilidade estrutural. A falta de exemplos similares no mercado, leva-nos a estudar o seu comportamento mecânico.

1.2 Objetivos

Tendo a presente tese o objetivo de estudar e otimizar o comportamento mecânico de um depósito de gasolina com funções estruturais no quadro da moto - no caso de uma queda violenta, em que as forças incidam sobre o depósito - foram feitas várias simulações.

As diferentes simulações tiveram como objetivo a análise, através de Métodos de Elementos Finitos, de diferentes situações que representam os casos mais críticos em uso real, necessárias para obter resultados fiáveis.

Por fim, em paralelo, foi feito um estudo dos elementos e os locais que condicionam a integridade do depósito e como se pode contornar essas limitações.

1.3 Estrutura da Tese

Descritos os principais objetivos desta tese, podemos explicar o raciocínio que esta apresenta.

Este primeiro capítulo serve para fazer um pequeno enquadramento da tese, os seus objetivos e motivações.

O segundo capítulo servirá para fazer uma introdução à empresa em questão, a AJP Motos; assim como aos seus produtos e ao protótipo na qual o depósito desta tese se insere.

O terceiro capítulo é a Revisão do Estado da Arte, que explica os processos de fabrico, os materiais e as diversas soluções de mercado de depósitos de gasolina para motas de todo-o-terreno.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos das simulações do depósito simplificado - que serviu para apresentar resultados à empresa dentro de um espaço de tempo imposto - e das simulações do depósito final, com todos os detalhes.

O quinto capítulo apresenta as conclusões desta tese e apresenta sugestões à empresa sobre como contornar os problemas existentes no depósito final.

Capítulo 2

A Empresa

2.1 AJP Motos

A AJP Motos, mais conhecida por AJP, é uma sigla formada pelos nomes dos fundadores da marca: os irmãos António e Jorge Pinto. A empresa foi fundada em 1987 como oficina de modificação de motas e, em 1990, foi lançada a primeira mota: a Ariana 125, de 125 cc (Figura 1). Neste momento a AJP Motos situa-se em Lousada, na rua Santana, 91.



Figura 1 AJP Ariana 125 (Source: AJP Motos)

Desde o lançamento da primeira mota, a AJP sempre se destacou como uma marca que apresenta soluções diferentes e inovadoras para os diversos problemas encontrados num ramo tão exigente como o todo-o-terreno.

Uma dessas inovações foi a inclusão do depósito debaixo do assento do piloto, ao invés de ser atrás da coluna de direção, como nas motas tradicionais. Mais tarde, a TM Racing passou a implementar esta solução em alguns dos seus modelos, neste segmento.

Desde então, a AJP tem evoluído muito como marca, lançando vários modelos de referência. É o caso da PR5, de 250cc, vocacionada para enduro; e da mais recente

PR7, vocacionada para trail (Figura 2). A PR7 claramente elevou a marca a outro nível, com a revitalização de um segmento que há algum tempo vinha a morrer.



Figura 2 AJP PR7 (Source: AJP Motos)

Na altura do lançamento da PR7, muitas marcas megalómanas produziam motos de trail, muito pouco vocacionadas para o todo-o-terreno, com peso acima dos 250 kg e com cilindradas acima dos 1000 cc. Nestes casos, o factor que sobressaía era o conforto e não a capacidade de fazer todo-o-terreno propriamente dita.

Com o seu novo modelo, a AJP rompeu com este padrão e trouxe para o mercado uma moto com um motor monocilíndrico com 600cc, com cerca de 170 kg e perfeitamente capaz de se aventurar em qualquer trilho.

A AJP sempre se focou no Enduro Lazer, ou seja, na produção de motos de todo-terreno/enduro feitas para o utilizador amador, que goste de fazer passeios tranquilos mas também aventurar-se em trilhos e testar os limites da sua perícia. Nunca foi o objectivo da marca fazer motos de competição, mas sim oferecer o melhor produto possível ao utilizador amador.

Pelo menos, até ao ano 2018.

2.2 AJP P310

Tendo noção que a competição também é importante, nomeadamente para uma marca de motos de todo-o-terreno, a AJP decidiu projectar o protótipo P310, equipado com uma nova geração de quadro cujo conceito é inspirado no modelo PR7 Rally bike da marca (Figuras 3 a 5).

A P310 será uma moto feita para o enduro de competição proporcionando um novo patamar de desempenho.

A AJP com o lançamento da P310 pretende mostrar ao mundo do todo-o-terreno que esta pequena empresa de Lousada é capaz de ser inovadora, até quando comparada com as marcas mais conceituadas.



Figura 3 AJP P310 Lado esquerdo (Source: AJP Motos)



Figura 4 AJP P310 Lado direito (Source: AJP Motos)

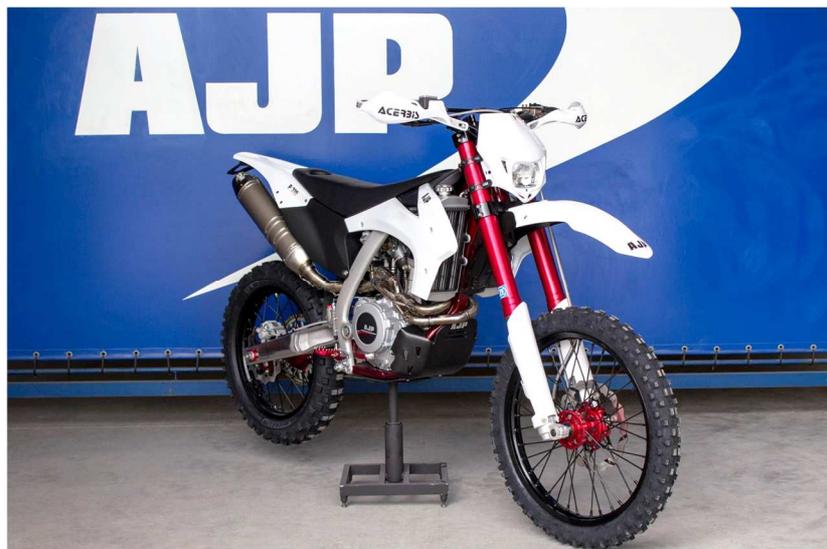


Figura 5 AJP P310 Frente (Source: AJP Motos)

A P310 é equipada com um motor Italiano da SWM a quatro tempos de 300cc com injeção de combustível da Delphi e embraiagem hidráulica (Figuras 6 e 7).

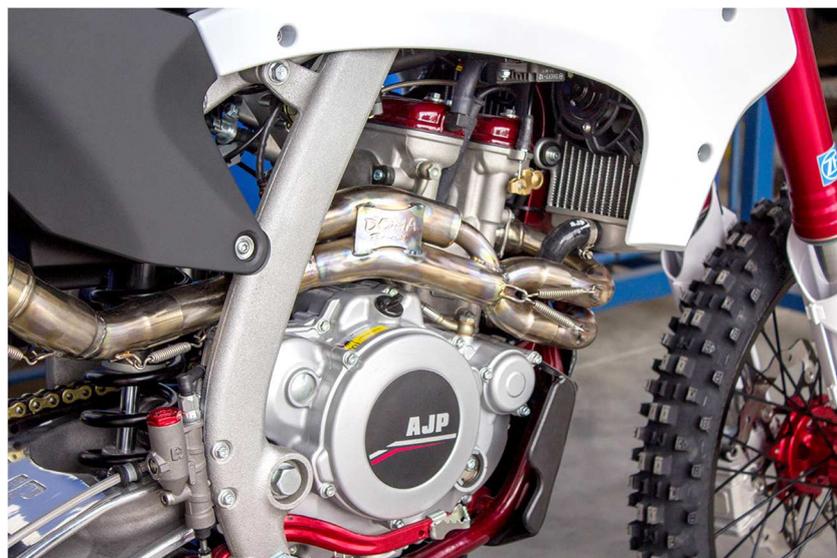


Figura 6 AJP P310 Motor (Source: AJP Motos)



Figura 7 AJP P310 Motor e Transmissão (Source: AJP Motos)

Uma das características mais relevantes neste protótipo é o depósito. Mantendo a filosofia inovadora da empresa relativamente à localização do depósito (ou seja, debaixo do assento do piloto), este será ainda mais inovador, no aspecto em que eliminará a necessidade de usar um sub-quadro (Figuras 8 a 10).

Isto faz com que o depósito passe a ter uma responsabilidade estrutural, servindo como reservatório de gasolina, fixação do assento do piloto, fixação do guarda-lamas traseiro e fixação da ponteira de escape.



Figura 8 Depósito inserido no protótipo P310 (Source: AJP Motos)



Figura 9 Depósito inserido no protótipo P310 (Fonte própria)



Figura 10 Depósito inserido no protótipo P310 (Fonte própria)

O meu trabalho no desenvolvimento e otimização do depósito de combustível do protótipo P310, teve início após a definição de todo o design e geometria exterior do depósito definida pelos técnicos da AJP. Foi-me fornecida a geometria do mesmo como um objecto sólido massiço, sendo necessário passar o design exterior do depósito para um depósito propriamente dito (elemento de casca). Após esse passo, será necessário simular e testar o depósito sob diferentes solicitações, de modo a poder validar e otimizar o depósito como elemento estrutural para as condições a que estará sujeito.

Capítulo 3

Revisão do Estado da Arte

3.1 A forma e a disposição dos depósitos nas motos de todo-o-terreno

a. No Enduro

A forma de cada depósito advém da sua localização na moto. Uma das soluções mais comuns no mercado do todo-o-terreno é, sem dúvida, a colocação do depósito em cima do quadro, atrás da coluna da direção da moto. Neste caso, o depósito assume uma forma em “U” (Figuras 11 e 12). Esta opção é usada por quase todos os fabricantes de motos de todo-o-terreno, nomeadamente nas motos de enduro e motocross.



Figura 11 Depósito de gasolina KTM (Source: Acerbis)



Figura 12 Depósito de gasolina Yamaha (Source: Acerbis)

A maior vantagem desta solução é a distribuição do peso, quando o depósito se encontra cheio. Com a maior parte do peso sobre a parte da frente, é possível maior adereência ao terreno na roda da frente. O inconveniente de ter o depósito desta forma, é que o centro de gravidade é elevado quando o depósito se encontra cheio.

Seguindo esta filosofia mas procurando uma solução alternativa, a Gas Gas, um fabricante espanhol, mudou a típica forma do depósito para o poder acomodar de forma diferente. Mantém-no à frente da mota e atrás da coluna da direção mas coloca-o no meio do quadro e não em cima (Figura 13).



Figura 11 Depósito de gasolina GasGas (Source: Greenlandmx.fr)

Esta modificação pode estar relacionada com a fabricação do depósito em si. Uma vez que isto permite que o depósito seja mais simples na sua forma, também a sua produção se torna mais barata.

Uma outra disposição alternativa do depósito de gasolina, implementada pela primeira vez no mundo do todo-o-terreno pela AJP, é o depósito localizado debaixo do assento do piloto. Esta solução implica uma maior concentração do peso na roda de trás quando o depósito está cheio de gasolina, permitindo maior tração. Para além disso, baixa significativamente o centro de gravidade da mota, tornando a mota mais ágil (Figuras 14 e 15) [1].

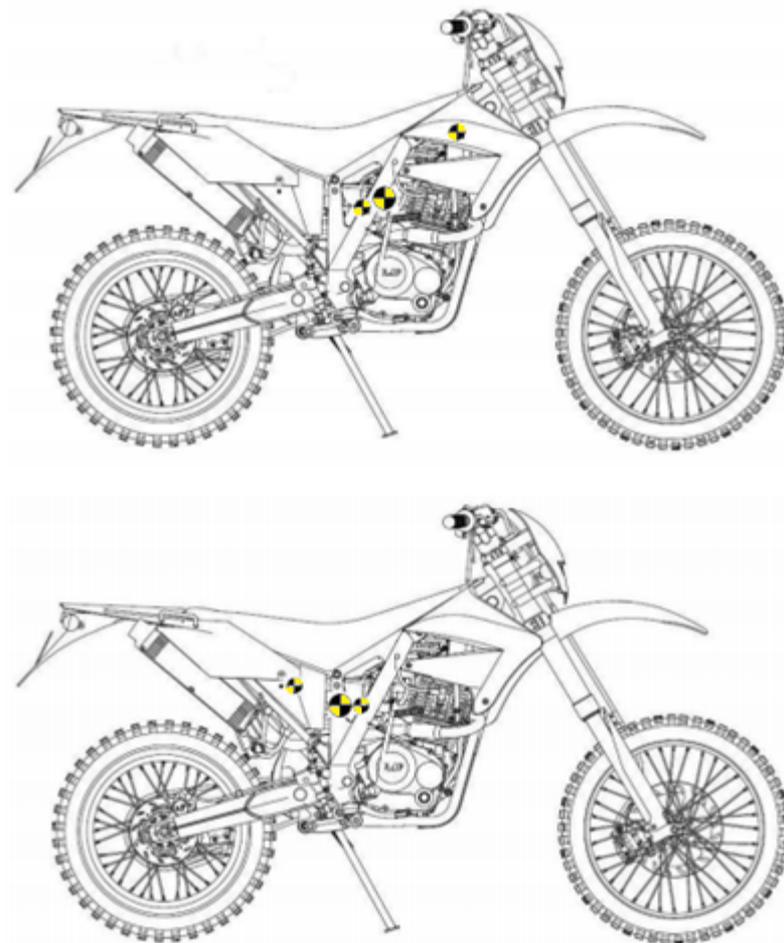


Figura 12 Diferença de Centro de Massa com depósito à frente ou debaixo do assento (Source: Oliveira, Miguel; 2008)

O fabricante TM Racing é neste momento a única marca no mundo da competição no Enduro que opta por ter o depósito debaixo do assento (Figura 16). Contudo, o depósito da TM Racing difere do da AJP na entrada de gasolina. Enquanto que a TM Racing opta por uma entrada lateral, a AJP opta por uma entrada no meio do assento (o assento tem um buraco para acomodar a entrada da gasolina).



Figura 13 AJP PR5 (Source: AJP Motos)



Figura 14 TM Racing EF 250i (Source: Tmracing.it)

b Nos Rallys

No mundo dos Rallys, o depósito - ou depósitos - de gasolina, tem uma importância acrescida, uma vez que as distâncias percorridas são muito maiores do que no Enduro. Assim sendo, a capacidade do depósito, por exemplo, é crítica. Este requisito obriga fabricantes e equipas de corrida a recorrerem a dois conjuntos de depósitos: um à frente, em cima do quadro; e outro atrás do assento do piloto.

No depósito da frente, todos os fabricantes seguem a mesma filosofia, recorrendo ao depósito em “U”. No depósito traseiro, as soluções vão mudando, mas são todos feitos em polímero.

A Honda opta por um depósito fixo a um sub-quadro. No entanto, em vez de estar envolvido pelo sub-quadro, o depósito está nas laterais do sub-quadro (Figura 17).



Figura 15 Mota da Honda para Rally (Source: Honda)

Já a Yamaha opta pela solução mais convencional: um depósito fixo a um sub-quadro em liga metálica (Figura 18).



Figura 16 Mota da Yamaha para Rally. (Source: dakar.com)

A KTM é a que investe mais na inovação: usa o próprio depósito como peça estrutural, dispensando o sub-quadro. O depósito serve como reservatório de gasolina e como fixação da ponteira de escape e do guarda-lamas traseiro (sendo esta peça relativamente pesada) (Figuras 19 e 20).



Figura 17 Mota da KTM para Rally lado esquerdo (Source: KTM)



Figura 18 Mota da KTM para Rally lado direito (Source: KTM)

3.2 Materiais tipicamente utilizados no fabrico dos depósitos

No mundo do todo-o-terreno, os polímeros são geralmente o material de eleição para tudo o que não é estrutural. No caso do depósito de gasolina, isso é especialmente verdade pelas seguintes razões [2]:

- É mais resistente ao impacto do que as ligas metálicas. Sendo feito como uma peça única, não possui qualquer tipo de junta de união, logo não tem concentração de tensões nessas mesmas zonas. Para além disso, os plásticos usados são flexíveis e elásticos, mantendo a sua forma original mais facilmente e evitando fugas, logo, são mais seguros;
- São resistentes à corrosão;
- É muito mais barato de produzir em pequenas ou médias séries um depósito em plástico do que um em liga metálica;
- É mais leve do que um depósito em metal, permitindo melhores consumos e menores emissões, assim como uma melhoria na performance da moto;
- A forma do depósito em plástico pode ser mais complexa do que em liga metálica, dando mais flexibilidade ao design geral da moto.

3.3 Processo de fabrico (Roto-Moldagem)

Os processos de fabrico mais usados na produção de depósitos de gasolina em materiais poliméricos são a roto-moldagem e a moldagem por sopro, sendo o primeiro o mais usado na indústria do todo-o-terreno [3].

O depósito de gasolina do protótipo P310 está a ser projetado e desenvolvido para ser fabricado pelo processo de roto-moldagem, processo já utilizado pela AJP nos modelos PR3, PR4, PR5 e PR7.

Em 1855, R. Peters, da Grã-Bretanha, documentou o primeiro uso da rotação biaxial e do calor. Este processo de moldagem rotacional ou roto-moldagem foi usado para criar projéteis de artilharia em metal e outros reservatórios ocos. O principal objetivo do uso de moldagem rotacional foi criar consistência na espessura e homogeneidade da parede. Em 1905 nos Estados Unidos a F.A. Voelke usou este método para o esvaziamento de objetos de cera (objetos de cera ocos). Isso levou a G.S. Baker e a G.W. Perks a desenvolver o processo de fazer ovos ocos de chocolate em 1910. A moldagem rotacional foi sofrendo desenvolvimentos e a R.J. Powell usou este processo para moldar gesso de Paris nos anos 1920. Estes métodos iniciais, usando diferentes materiais, direcionaram os avanços no modo como a moldagem rotacional é usada atualmente com materiais poliméricos [3].

Os plásticos (materiais poliméricos) foram introduzidos no processo de roto-moldagem no início dos anos 50. Uma das primeiras aplicações foi fabricar cabeças de bonecas. O equipamento era constituído por um forno em forma de caixa com um sistema de acionamento cinemático inspirado num eixo traseiro da General Motors, acionado por um motor elétrico externo e aquecido por queimadores a gás montados no piso. O molde era feito de níquel-cobre eletroformado e o plástico era um plastisol líquido de PVC. O método de arrefecimento consistia em colocar o molde em água fria. Este processo de roto-moldagem levou à criação de outros brinquedos de plástico. Como a procura e a popularidade deste processo aumentaram, ele foi usado para criar outros produtos, como cones de estradas, bóias marinhas e apoios de braço em bancos de carros. Essa popularidade levou ao desenvolvimento de máquinas maiores. Um novo sistema de aquecimento também foi criado, passando dos jatos de gás direto originais para o atual sistema de ar de alta velocidade indireta. Na Europa, na década de 1960, o processo Engel foi desenvolvido. Isso permitiu a criação de grandes recipientes ocos para serem criados em polietileno de baixa densidade. O método de arrefecimento consistiu em desligar os queimadores e permitir que o plástico endurecesse enquanto ainda estava sujeito aos movimentos de rotação do molde [3].

Em 1976, a Association of Rotational Moulders (ARM) foi fundada em Chicago como uma associação comercial mundial. O principal objetivo dessa associação é aumentar a conscientização sobre a tecnologia e o processo de roto-moldagem [3].

Na década de 1980, novos polímeros, como policarbonato, poliéster e nylon (poliamida), foram introduzidos na roto-moldagem. Isso levou ao aparecimento de novas aplicações para este processo, como a criação de tanques de combustível e moldagens industriais. A investigação que foi realizada desde o final dos anos 80 na Queen's University Belfast levou ao desenvolvimento de um monitoramento e controle mais precisos dos processos de arrefecimento com base no desenvolvimento do “sistema Rotolog” [4].

O processo de roto-moldagem é um processo de moldagem de polímeros de alta temperatura e baixa pressão, que utiliza calor e rotação biaxial (isto é, rotação angular em dois eixos) para produzir peças inteiriças ocas, consiste na obtenção de peças em polímeros através da rotação do molde exterior, introduzindo uma quantidade medida de polímero na forma de granulados ou em pó e aquecendo-o até ao ponto de fusão, ao mesmo tempo que o molde sofre rotação em dois ou mais eixos, rodando em velocidades diferentes, até que todo o polímero tenha derretido e aderido à parede do molde. O processo de rotação permite que a gravidade seja responsável pela dispersão do polímero e que este se agarre às paredes do molde. O molde é depois arrefecido e a peça é retirada (Figura 21 a 23) [5].

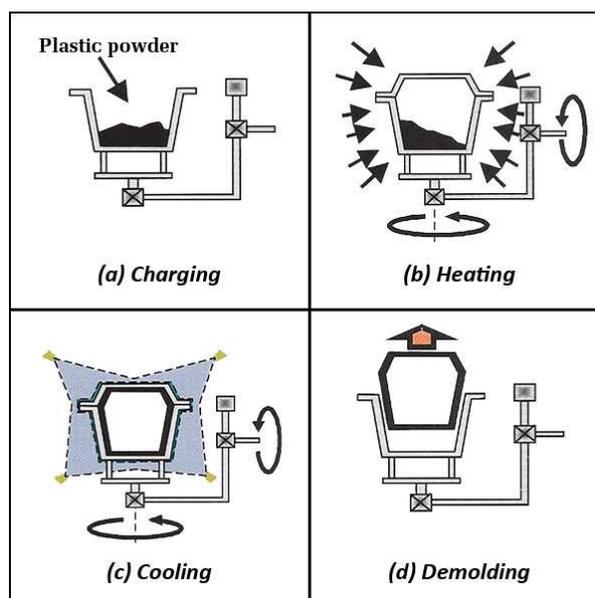


Figura 19 Etapas do processo de roto-moldagem (Source: Rotoworldmag.com)



Figura 20 Máquina de roto-moldagem (Source:design1st.com)



Figura 21 Máquina de roto-moldagem (Source: exportersindia.com)

Os moldes são fabricados normalmente em aço inoxidável ou alumínio, podendo ser em chapa soldada, fundidos ou maquinados. O método de fabricação é frequentemente orientado pelo tamanho e complexidade das peças. As partes mais complexas são normalmente feitas por fundição ou maquinagem. Moldes de alumínio são geralmente muito mais grossos do que um molde de aço equivalente, pois é um metal com menos rigidez. Essa espessura não afeta os tempos de ciclo de maneira significativa, uma vez que a condutividade térmica do alumínio é várias vezes maior do que a do aço. Devido à necessidade de desenvolver um modelo antes da fundição, os moldes fundidos tendem a ter custos adicionais associados à sua fabricação,

enquanto que os moldes de aço ou alumínio fabricados em chapa soldada, particularmente quando usados para peças menos complexas, são menos caros [6] [7].

a Vantagens

Os moldes de roto-moldagem são significativamente mais baratos do que outros tipos de moldes. Muito pouco material é desperdiçado com este processo, e o excesso de material pode ser reutilizado, tornando-se um processo de fabricação economicamente e ambientalmente viável.

A peça sai do molde com quase mais nenhuma etapa de fabrico necessária, o que implica uma redução de custos em processos de fabrico. Para além disso, a peça final não sofre qualquer tipo de alteração na sua forma, o que implica que não há concentrações de tensões residuais na peça (exceto casos particulares) [1].

Este processo também permite a inserção de componentes, tal como insertos metálicos, elementos roscados e até mesmo reforços estruturais durante o processo de moldagem, dando uma maior flexibilidade ao design da peça (Figuras 24 e 25) [1].



Figura 22 Insertos metálicos para roto-moldagem (Source: ameri-kart.com)



Figura 23 Reforço metálico para roto-moldagem (Source: accform-polymers.com)

b Limitações

Apesar das inúmeras vantagens que este processo apresenta, também tem algumas desvantagens, nomeadamente na fase de design da peça. Os designers têm que ter em consideração que as peças têm que ter raios de concordância mínimos, já que o polímero não é injectado sob pressão. Este problema pode ser menos limitador usando polímeros mais fluidos, que sejam capazes de aceder aos espaços mais pequenos, mas apresentará sempre certas limitações [5].

O segundo problema deste processo envolve o ciclo de aquecimento e arrefecimento do polímero. É necessário ter em consideração as propriedades do material a usar e prever a degradação do material para um ciclo de calor. É necessário um material estável durante o ciclo de calor [5].

Capítulo 4

Estudo do comportamento do depósito simplificado

O meu trabalho começou com a passagem do design do depósito, que me foi dado num bloco maciço, para o elemento de casca, ou seja, um reservatório oco.

O programa utilizado para trabalhar a geometria do depósito foi o *SolidWorks* [8], uma ferramenta bastante útil para qualquer engenheiro e um software muito fácil para aprender e desenvolver os conhecimentos na modelação e desenvolvimento do produto.

Contudo, e apesar do *SolidWorks* ter à disposição uma ferramenta para criar elementos de casca, esta não serviu. Sendo a geometria do depósito tão complexa como é, o software não consegue processar todas as faces da mesma maneira, entrando em conflito e acabando por não ser capaz de realizar a operação em simultâneo para toda a geometria do depósito.

Isto obrigou-me a ter que criar a superfície interior manualmente, a partir de cada face, com o comando *Offset* e de seguida criar os necessários raios de concordância entre faces contíguas.

A espessura do depósito foi previamente estabelecida pela AJP em 6 mm, como sendo uma espessura suficiente para os requisitos em causa função do material escolhido para a realização do depósito, o PA6MA24 Preto da Arcebis [9] um polímero de nylon próprio para roto-moldagem.

Esta fase do trabalho exigiu muitas horas visto que a cada comando de *Offset*, correspondia à criação de uma face igual, por translação ortogonal ao plano da face. Foi necessário adaptar cada superfície de modo a poder-se unir a todas as faces ao seu redor, tendo em consideração os recantos que ficariam “submersos” em material fundido devido ao efeito capilar do polímero em estado fluído e às recomendações técnicas relativamente à geometria das diferentes concordâncias entre faces obtidas pelo processo de roto-moldagem respeitando as especificações técnicas da Acerbis [9].

Nas figuras 26 e 27 podem ser observadas algumas das fases de criação das superfícies interiores do depósito.

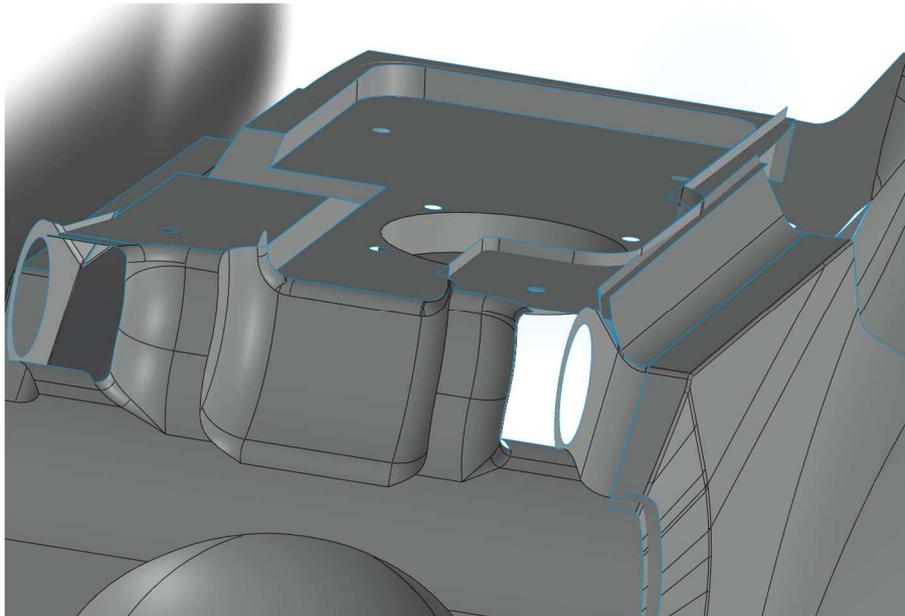


Figura 24 Superfícies após comando Offset (Fonte própria)

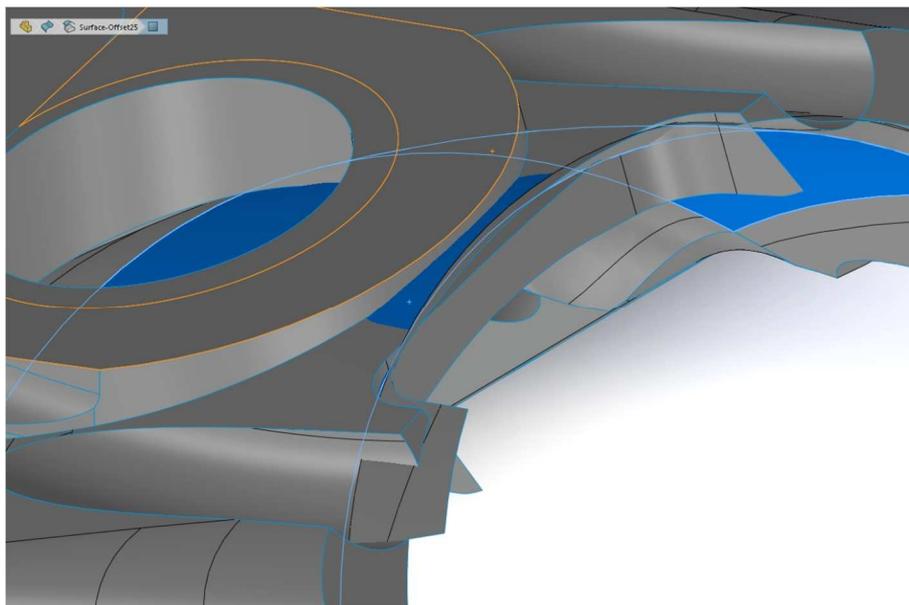


Figura 25 Superfícies após comando Offset (Fonte própria)

Após criar a superfície inteira a partir do comando Offset (Figura 28), é necessário fechar a superfície e “subtraí-la” ao maciço inicial.

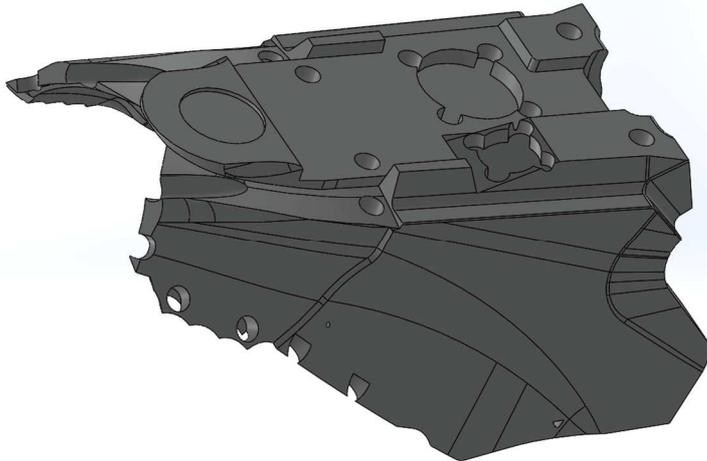


Figura 26 Superfície interior final do depósito (Fonte própria)

A primeira versão do depósito simulado foi simplificada devido a três motivos:

- O design do depósito ainda poderia sofrer algumas alterações por parte do departamento de Investigação e Desenvolvimento da AJP, tendo estado em discussão e mutação durante a realização da tese;
- Certos detalhes existentes no depósito, que não teriam qualquer efeito nos resultados finais, foram eliminado ou simplificados;
- Havia uma certa urgência na obtenção dos resultados das simulações devido a pedidos de orçamentos.

Na primeira versão foram eliminados:

- Os furos onde a bomba da gasolina e o medidor de nível estariam;
- Os furos dos insertos metálicos para a fixação de vários elementos;
- Ranhuras;
- Furo onde o abastecimento é feito;
- Arredondamentos de arestas interiores.

As figuras seguintes (29 a 32) mostram o resultado do design do depósito tendo em conta estas condições.

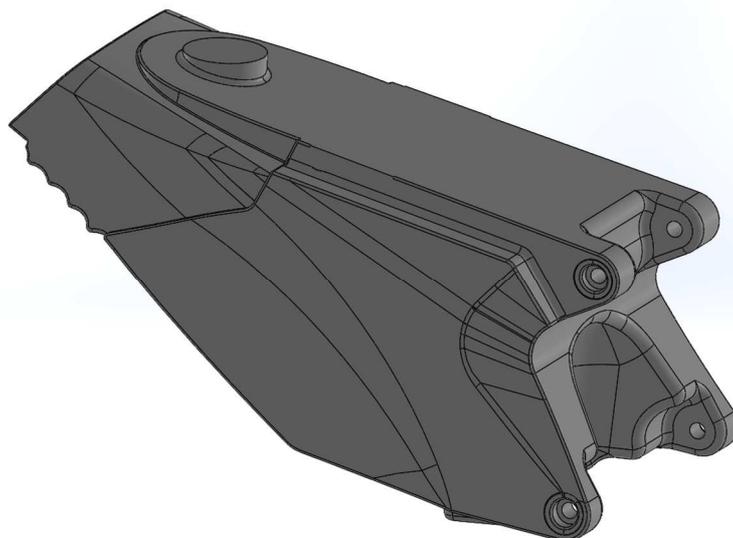


Figura 27 Vista geral do depósito simplificado (Fonte própria)

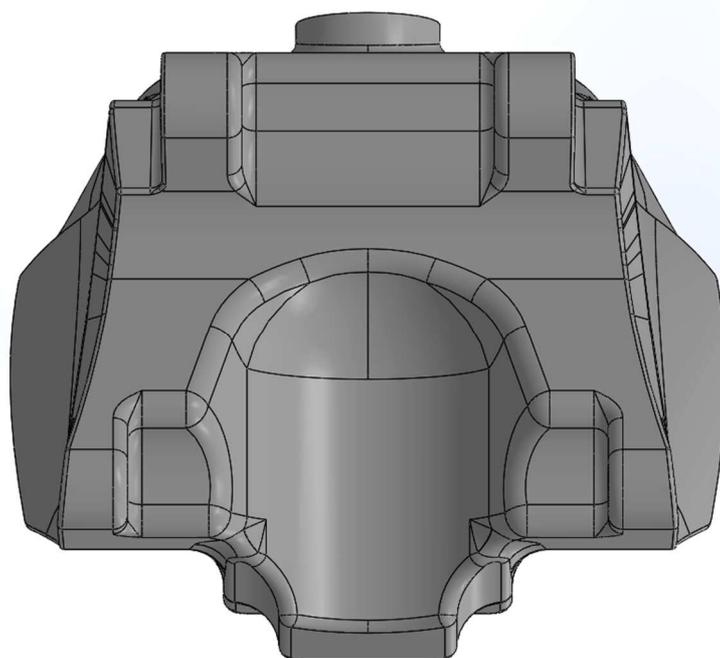


Figura 28 Vista de frente do depósito simplificado (Fonte própria)

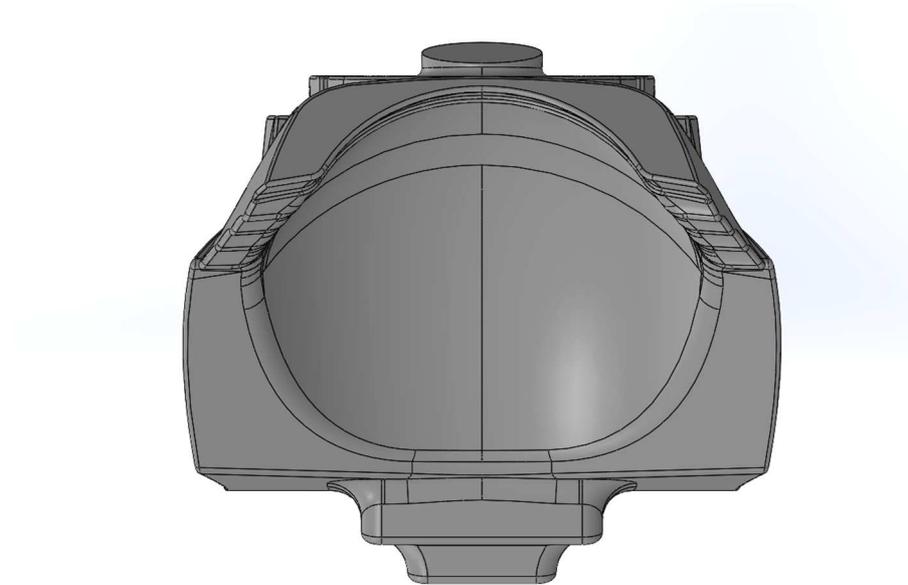


Figura 29 Vista de trás do depósito simplificado (Fonte própria)

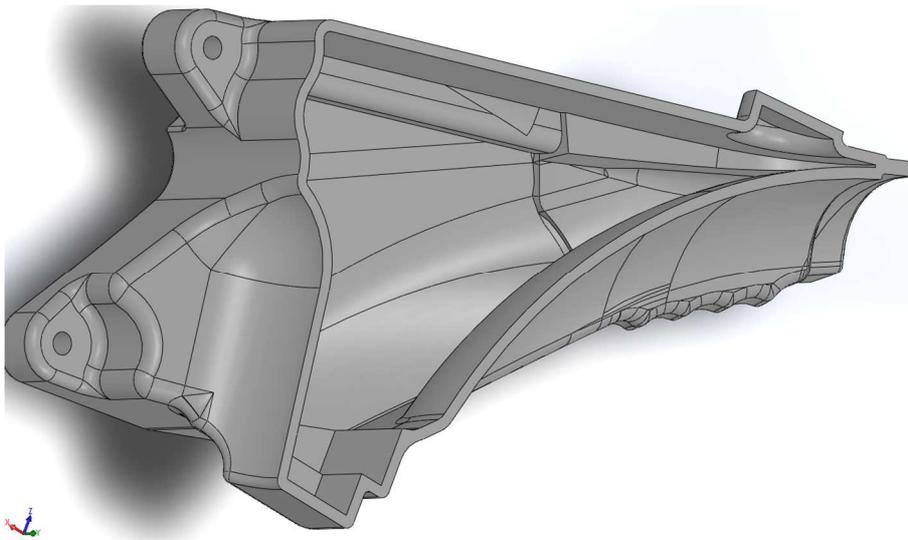


Figura 30 Vista com corte longitudinal do depósito simplificado (Fonte própria)

4.1 Simulações do depósito simplificado

Para todas as simulações estruturais das diferentes versões de depósito de combustível, foi usado o software de análise por elementos finitos *Abaqus* [10].

Perguntou-se à AJP se tinham algum tipo de simulação que queriam que fosse testada ou normas específicas sobre depósitos de combustível a serem verificadas. Foi dito que não havia nada em específico e que o que pretendiam saber era qual seria o limite de cargas do depósito em caso de queda, por exemplo. Ou seja, o objetivo era saber quando é que entrava em rotura.

Tendo em conta essas considerações, foram simuladas inicialmente diversas cargas, de modo a convergir para as cargas máximas admissíveis.

No final, chegaram-se aos valores de 7500 N como carga vertical e 5000 N como carga lateral.

Foram simuladas as duas situações, uma carga vertical (de 7500 N, que representa aproximadamente 750 kgf) e uma carga lateral (de 5000 N, que representa aproximadamente 500 kgf). Ambas as cargas foram aplicadas em superfícies o mais afastadas possível dos apoios de fixação.

Nas figuras 33 e 34 podemos observar as condições fronteira utilizadas assim como a localização da aplicação dos carregamentos vertical e lateral.

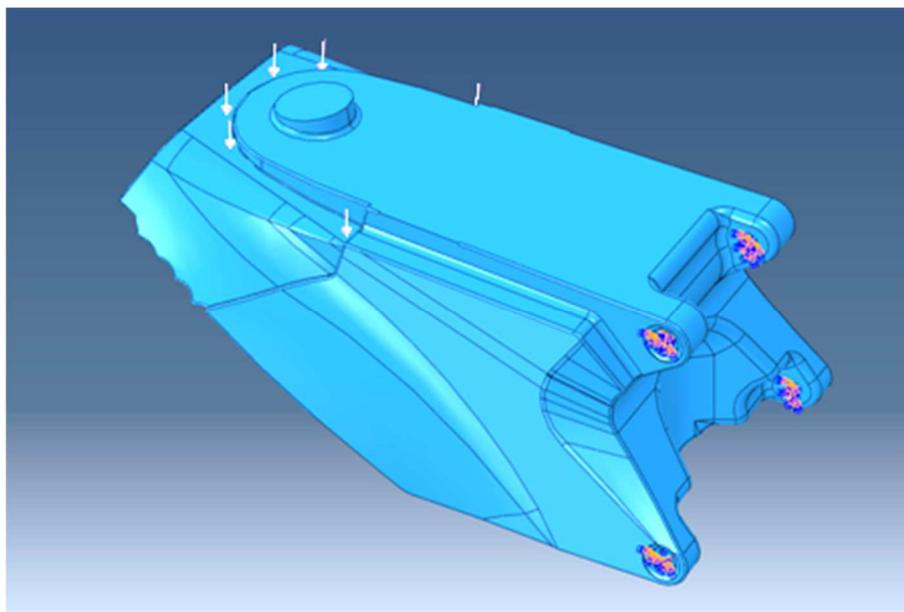


Figura 31 Carga vertical e condições de fronteira do depósito em *Abaqus* (Fonte própria)

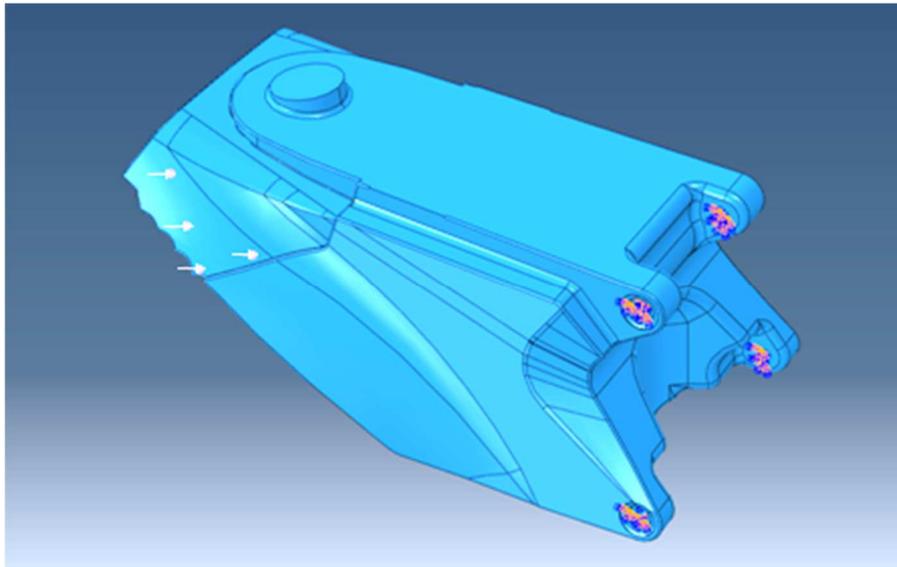


Figura 32 Carga lateral e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)

As condições fronteira foram aplicados nas superfícies cilíndricas internas das “orelhas” de fixação do depósito ao quadro da moto, não permitindo a rotação sobre o próprio eixo do parafuso de fixação. Esta consideração foi tomada tendo em conta que os casquilhos a usar poderão ter algum aperto em que, numa situação de impacto, restringe a rotação dos apoios (por muito pequena que seja, visto que o depósito está apoiado sobre quatro pontos de fixação).

Para as simulações em questão, usou-se o material PA6MA24 Preto da Acerbis, que tem propriedades mecânicas mais baixas do que o translúcido. O seu módulo de Young é de 1500 MPa e a tensão limite de elasticidade é de 48 MPa (Figura 35). Considerou-se um coeficiente de Poisson de 0,3.

MECHANICAL PROPERTIES			
PROPERTY	STANDARD	PA6 MA24 natural	PA6 MA24 black
Tensile strength at yield [MPa]	ISO 527:1993	72	48
Elongation at yield [%]	ISO 527:1993	4,2	/
Elongation at break [%]	ISO 527:1993	46	58
Young's modulus [MPa]	ISO 527:1993	2600	1500

Figura 33 Propriedades mecânicas do PA6MA24 [9]

No elemento de malha, foi usado um elemento de malha tetragonal quadrático de 10 nós para cálculo em regime linear elástico (Figuras 36 e 37).

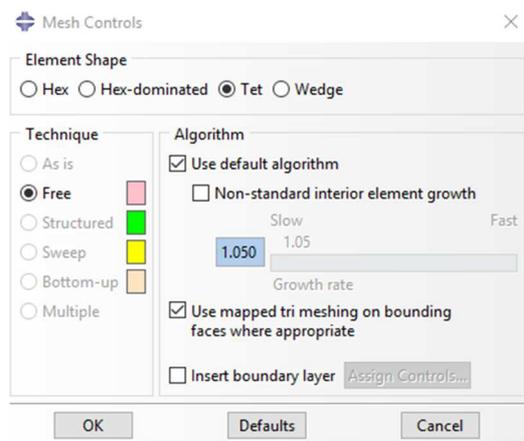


Figura 34 Definição de forma do elemento de malha

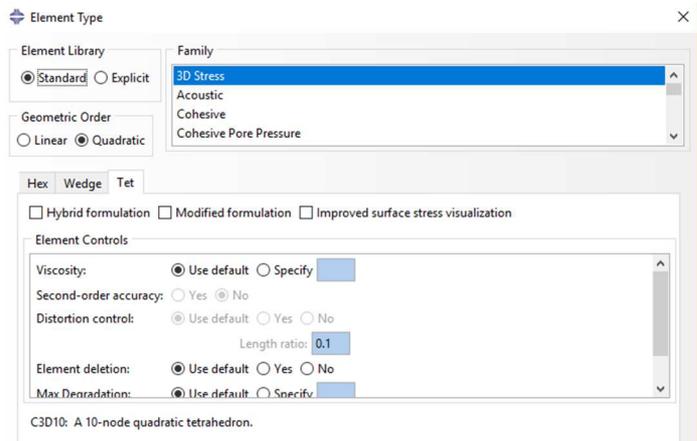


Figura 35 Definição do tipo de elemento de malha

Contudo, foi usado um tamanho não uniforme da malha por todo o depósito, visto que seria mais crítico em determinadas zonas, como os apoios do depósito na mota. foi usado um tamanho de elemento de malha de 1 mm nos apoios e 10 mm no resto do depósito (Figura 38).

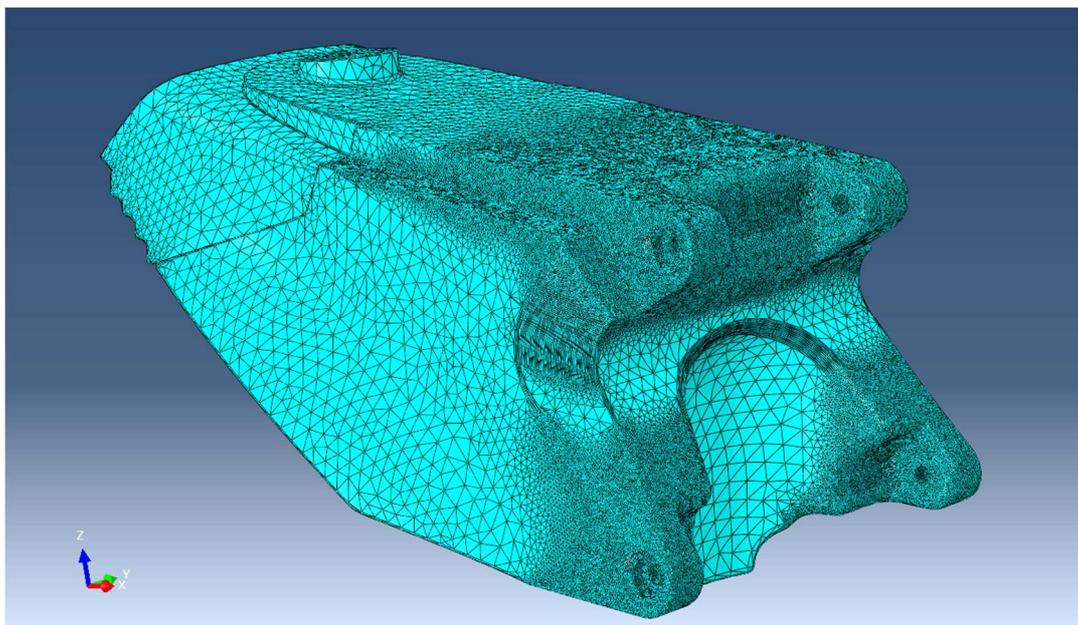


Figura 36 Vista geral da malha do depósito simplificado (Fonte própria)

4.2 Resultados da simulação com a carga vertical

Na análise da simulação efetuada para o carregamento vertical verifica-se que os pontos críticos dos apoios estão situados na transição do maciço para o elemento de casca. Pela escala, podemos contar com pelo menos uma pequena deformação plástica, já que os pontos afetados estão com valores compreendidos entre os 41 MPa e 55 MPa (Figuras 39 e 41).

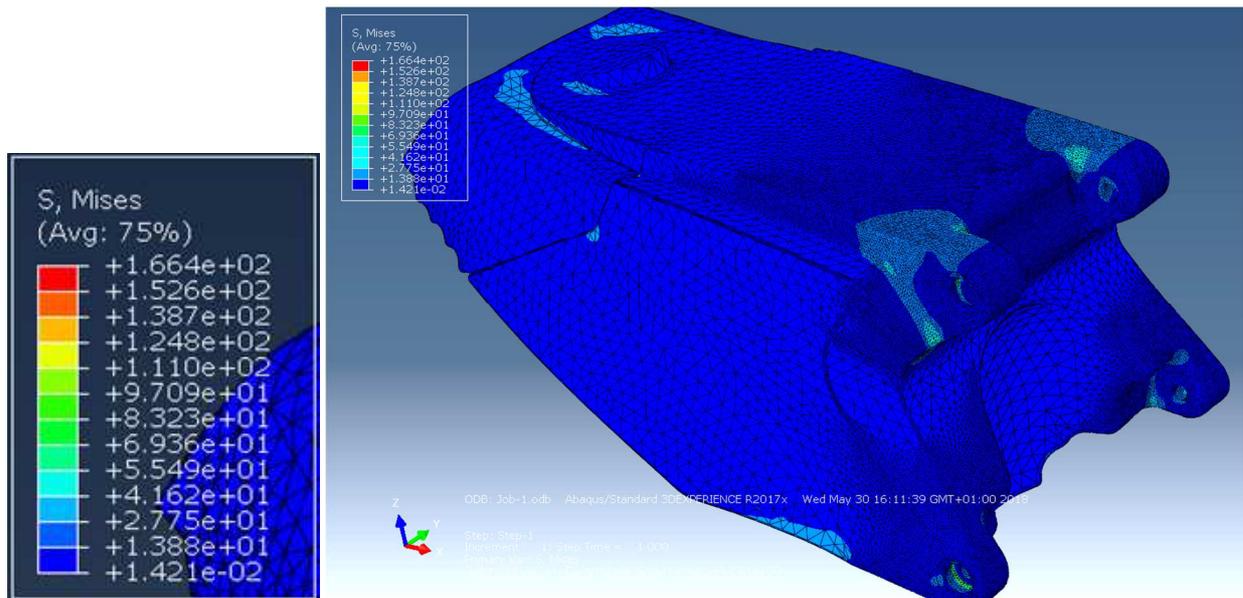


Figura 37 Vista geral do depósito após simulação da carga vertical (Fonte própria)

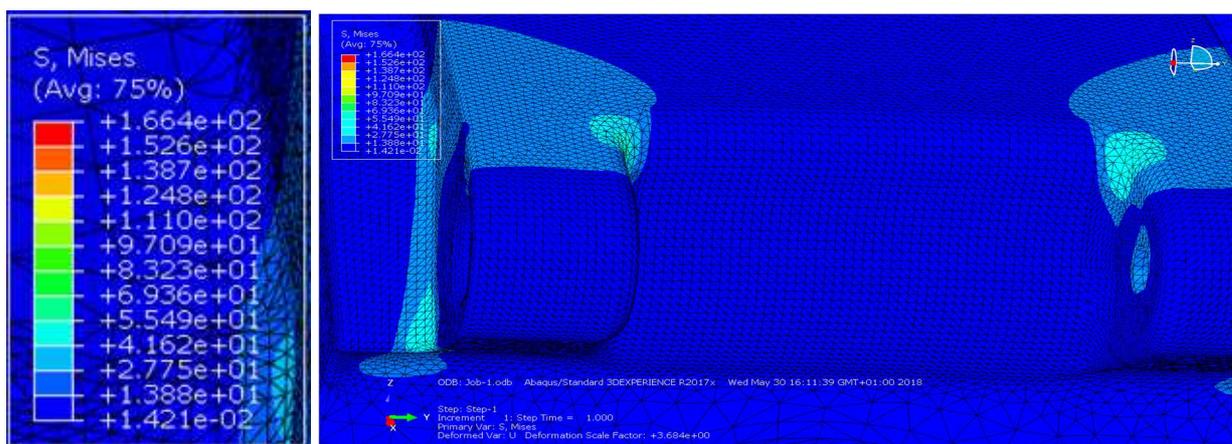


Figura 38 Vista dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)

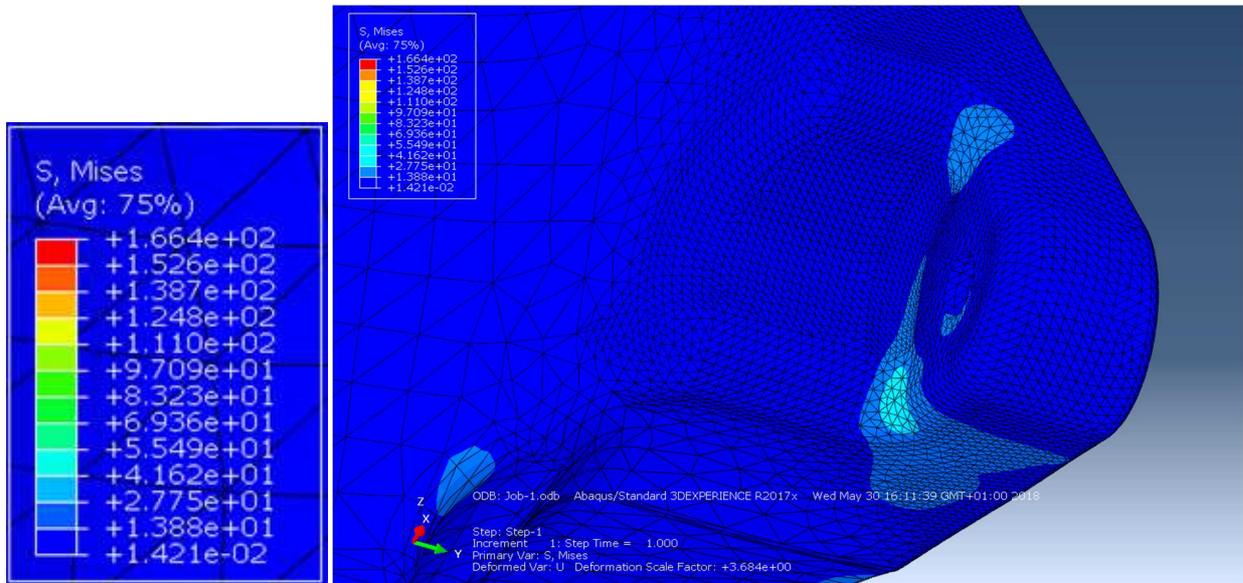


Figura 39 Vista do apoio esquerdo inferior do depósito (Fonte própria)

Atendendo aos resultados, na face interior do reservatório não haverá deformações plásticas nesta zona visto que o valor máximo obtido é de aproximadamente 41 MPa (Figura 42).

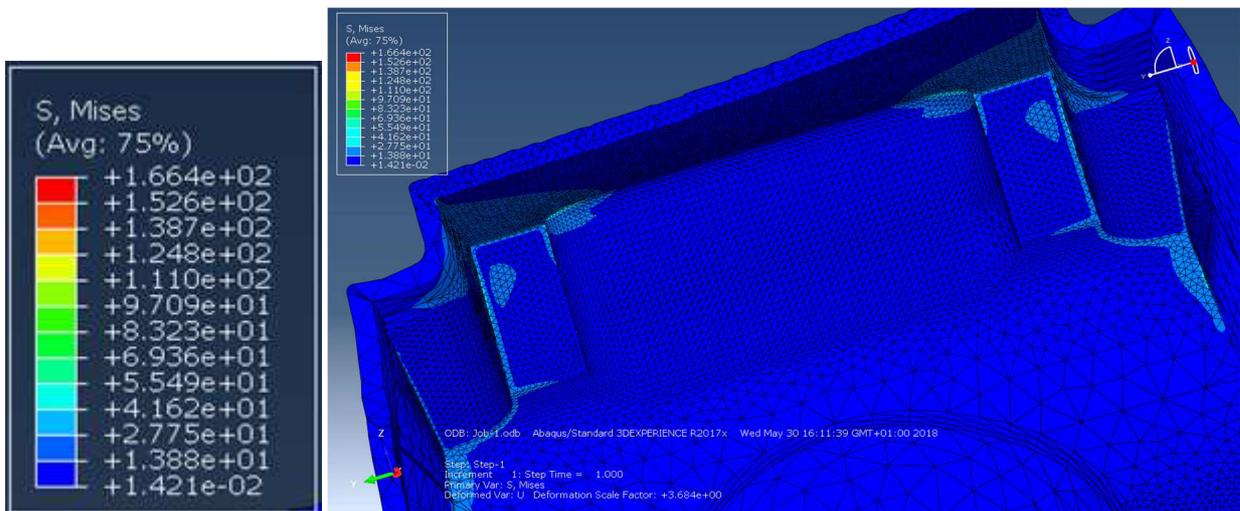


Figura 40 Vista para o interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)

A análise da maneira como o depósito se deforma sob a acção do carregamento vertical, permite verificar que o mesmo sofre um deslocamento vertical máximo de 14 mm na zona de aplicação do carregamento (Figura 43).

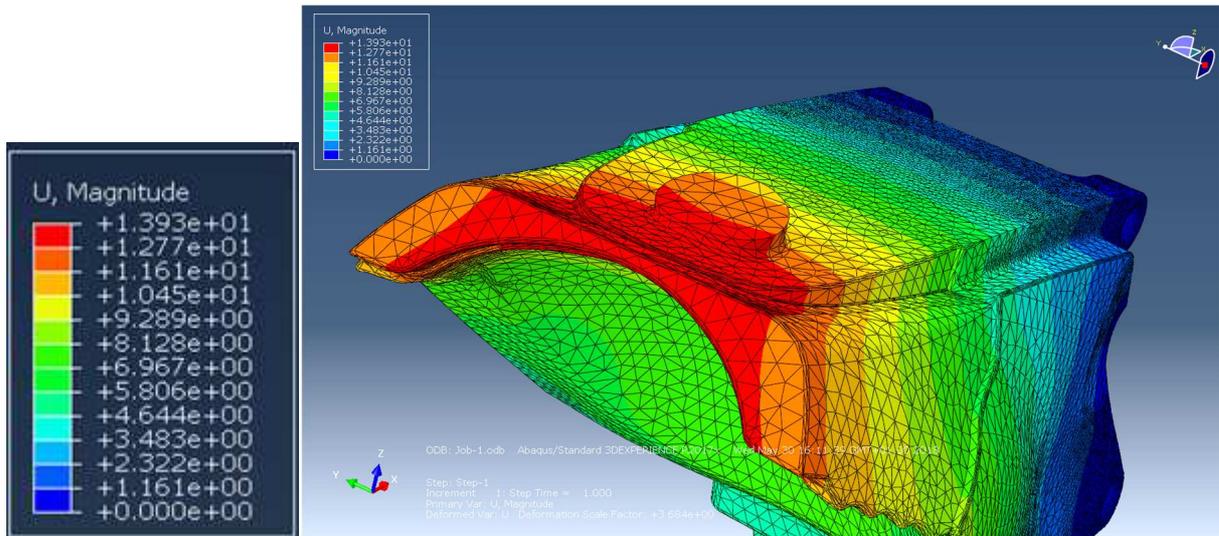


Figura 41 Deslocamento vertical do depósito com carga vertical (Fonte própria)

Podemos concluir que o depósito quando sujeito a um carregamento vertical, será na zona dos apoios que ocorrerá o aparecimento de deformações plásticas, caso se aplique uma carga maior do que os 750 kgf.

4.3 Resultados da simulação com a carga lateral

Na análise da simulação efetuada para o carregamento lateral verifica-se que os pontos críticos do apoio estão situados na transição entre o maciço e o elemento de casca. Pela escala, podemos concluir que uma força lateral de 500 kgf é o máximo que o apoio consegue aguentar, entrando provavelmente em regime plástico, visto que a tensão máxima obtida ronda os 50 MPa (Figuras 44 a 50).

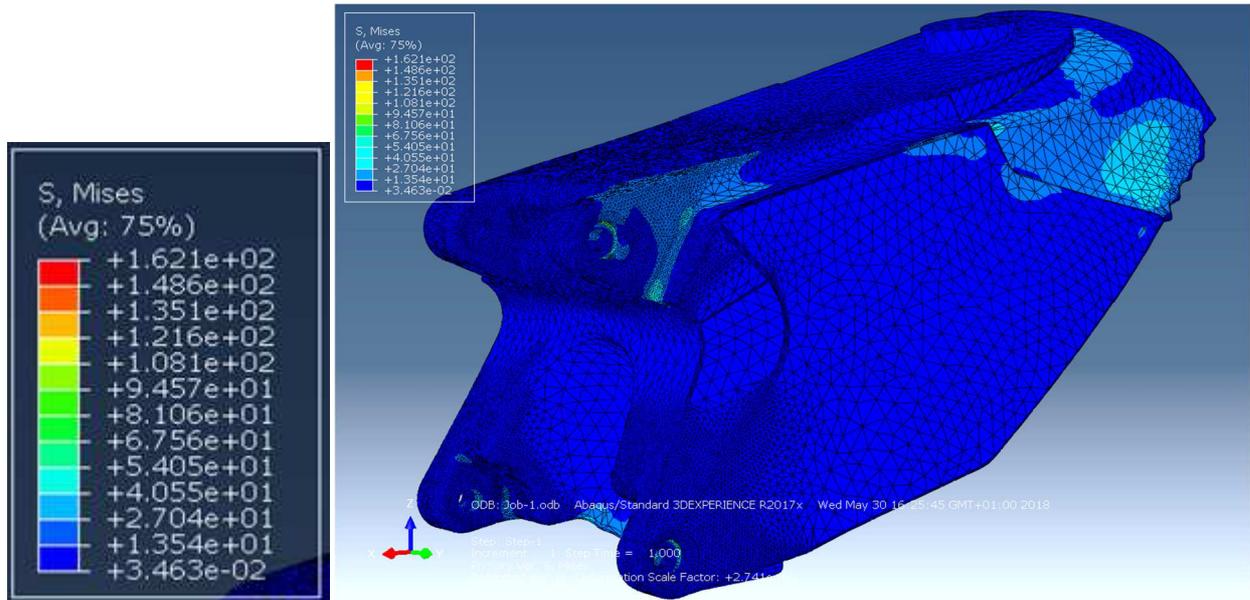


Figura 42 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral (Fonte própria)

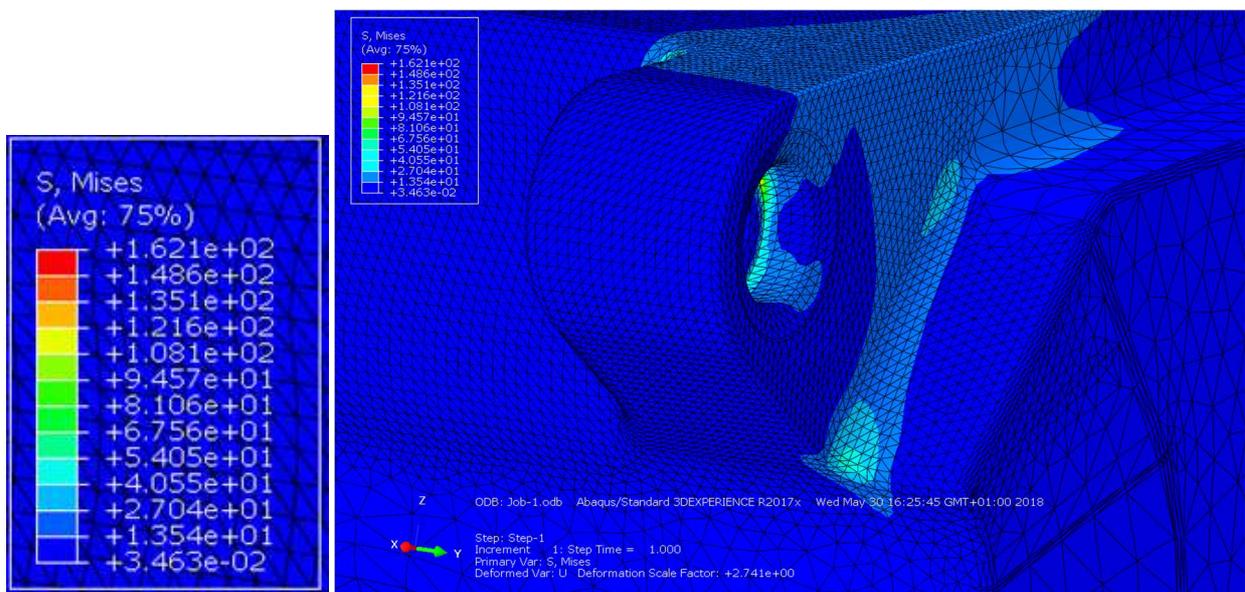


Figura 43 Vista do apoio superior esquerdo do depósito (Fonte própria)

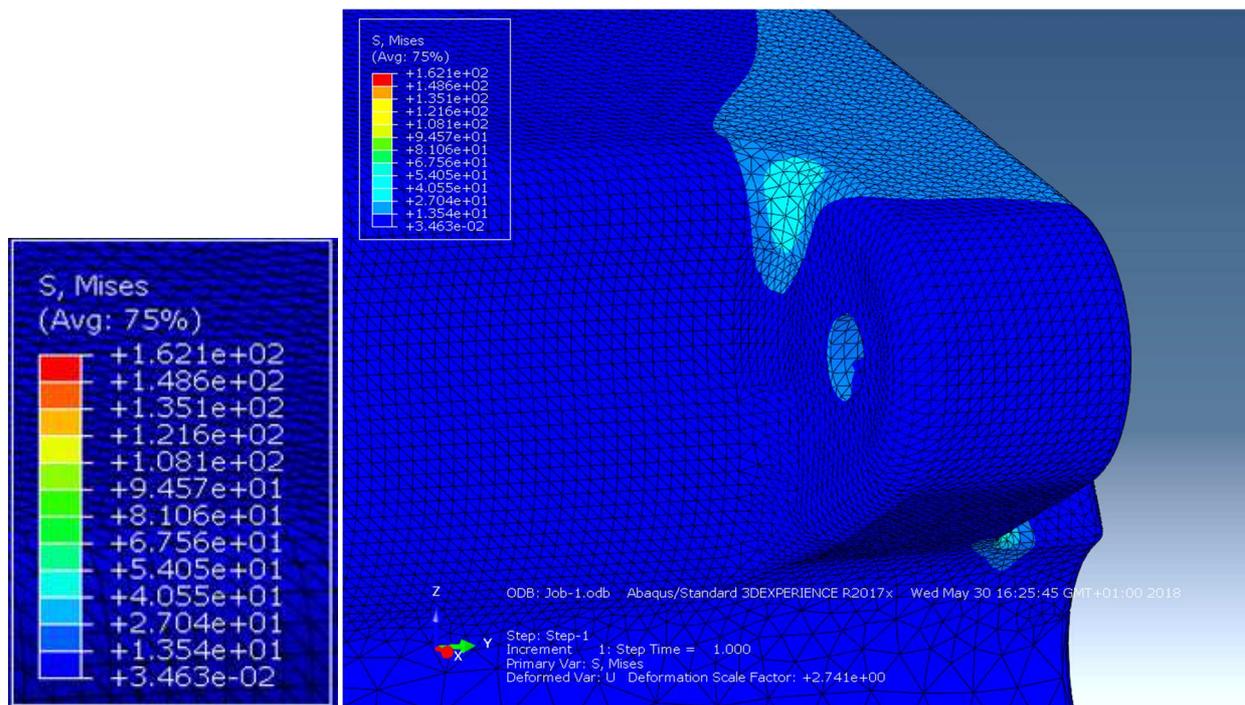


Figura 44 Vista do apoio superior esquerdo do depósito (lado oposto) (Fonte própria)

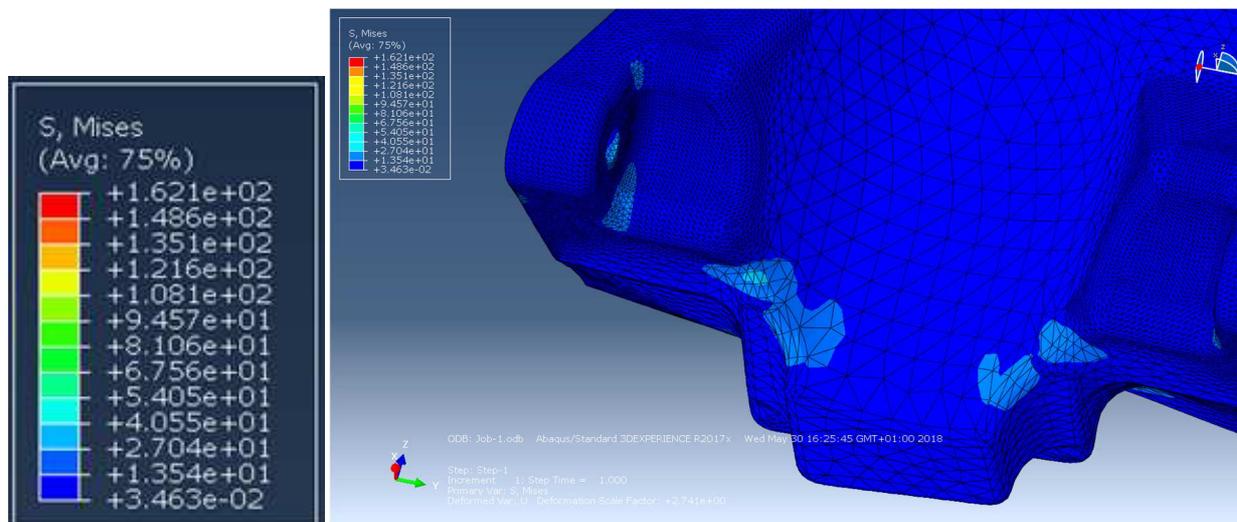


Figura 45 Vista dos apoios inferiores do depósito (Fonte própria)

Como se pode ver, os apoios inferiores não chegam a entrar em plasticidade, sendo o valor máximo da tensão de 40 MPa (Figura 47).

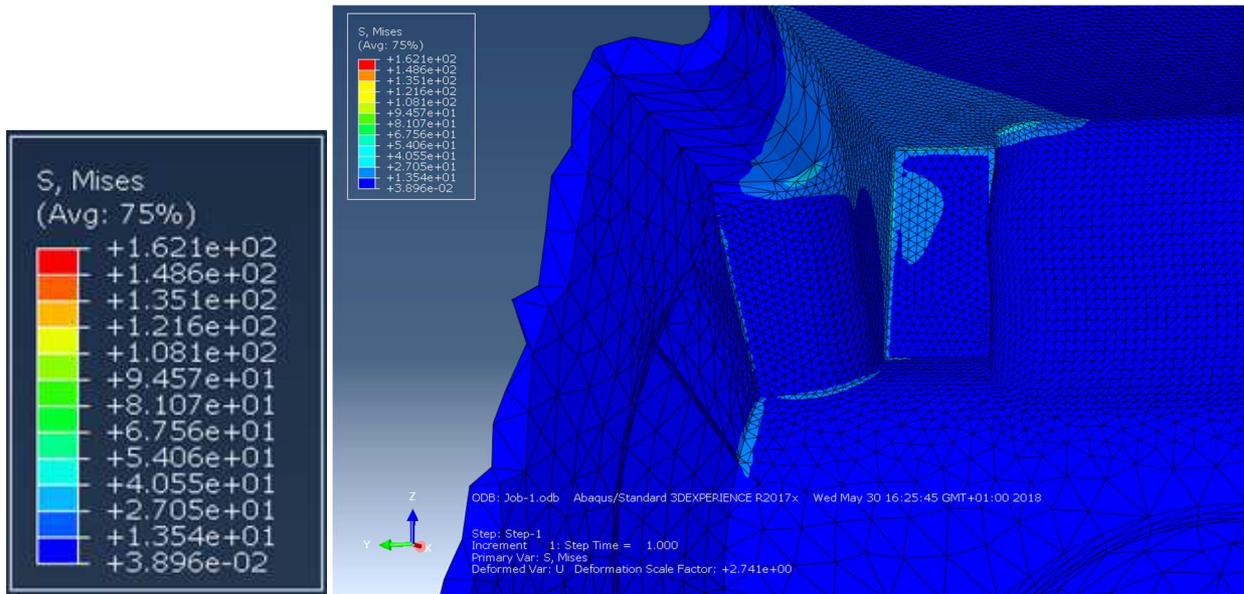


Figura 46 Vista para o interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)

O interior dos apoios não sofre plasticidade visto que o valor máximo obtido é de 40 MPa (Figura 48).

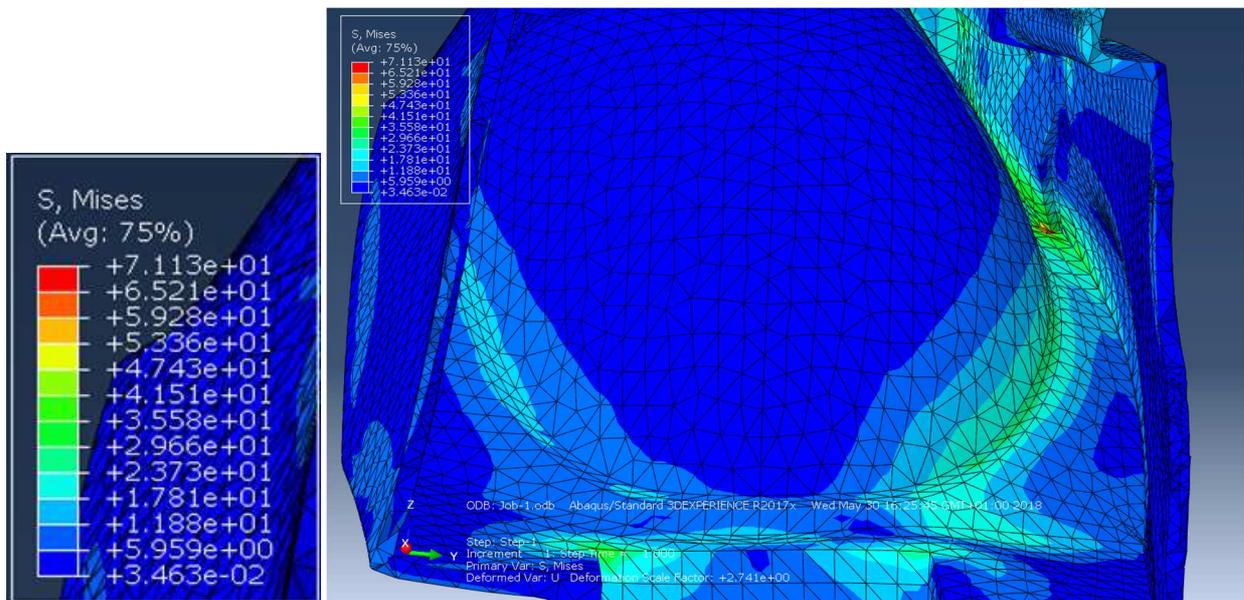


Figura 47 Vista para o interior do depósito (Fonte própria)

No interior, do lado da carga, podemos desprezar a zona a vermelho, com um valor máximo de 71 MPa (Figura 49), visto que se situa na interseção de 3 arestas vivas. Estas arestas vivas, como muitas outras, não foram arredondadas de modo a manter o ficheiro mais leve para a simulação. Este valor seria consideravelmente mais baixo se as arestas estivessem com os raios de concordância necessários.

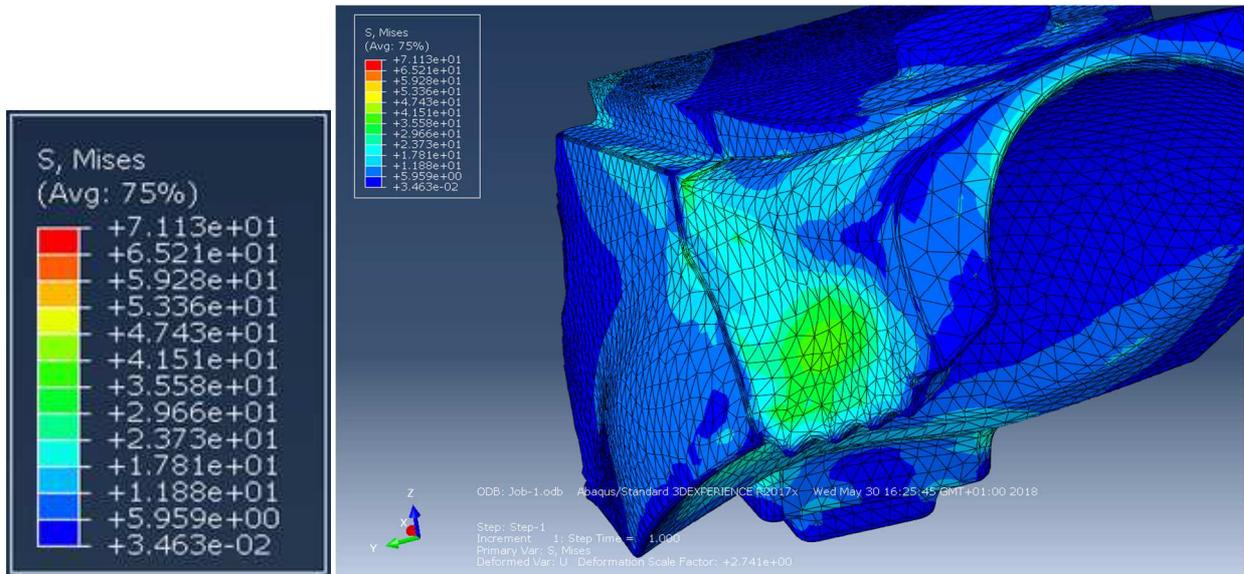


Figura 48 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)

Na zona de aplicação do carregamento lateral a tensão máxima obtida é de 47MPa, logo, está dentro do regime elástico (Figura 50).

Em todo o resto do depósito, o valor máximo da tensão não ultrapassa os 41 MPa, logo não haverá a ocorrência de deformações plásticas.

A análise da maneira como o depósito se deforma sob a acção do carregamento lateral, permite verificar que o mesmo sofre um deslocamento vertical máximo de 21 mm na zona de aplicação do carregamento (Figuras 51 e 52).

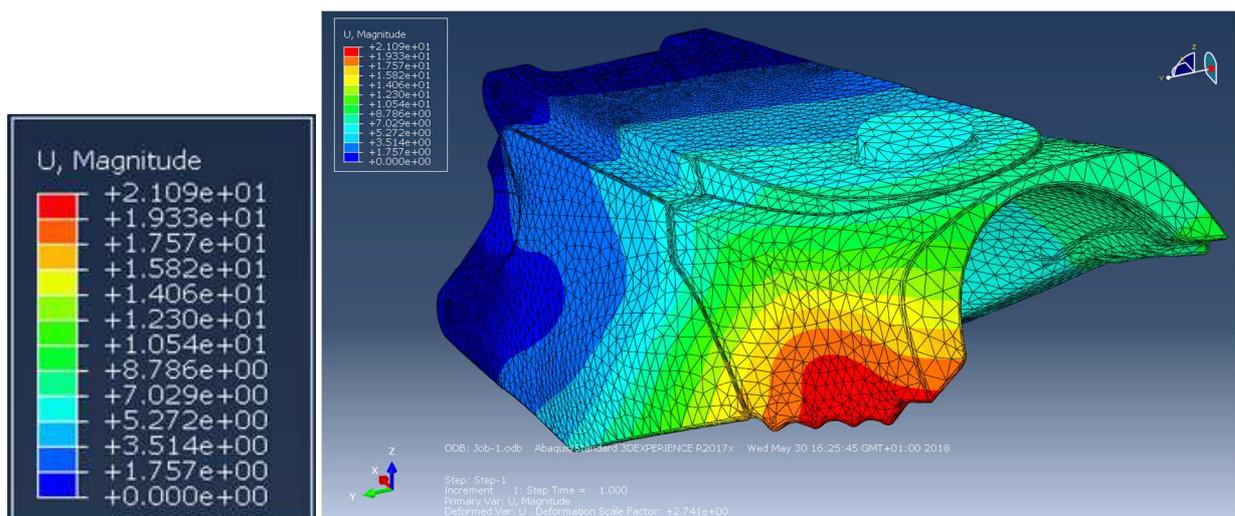


Figura 49 Deformação do depósito com carga lateral (Fonte própria)

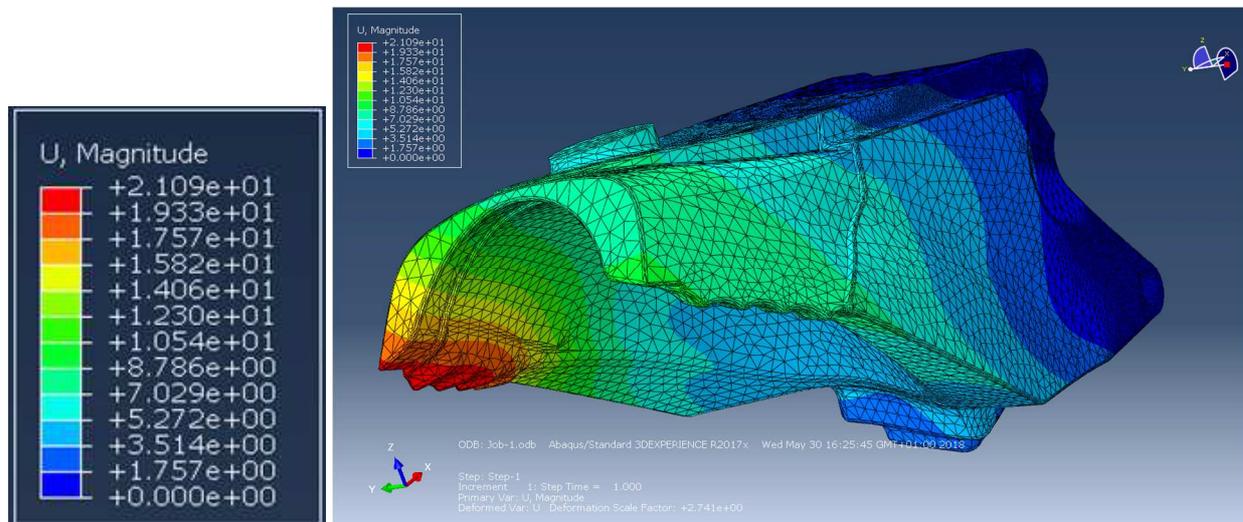


Figura 50 Deformação do depósito com carga lateral (Fonte própria)

4.4 Conclusões

Depois de analisar as simulações, pode concluir-se que, neste caso, seria nos apoios que iriam aparecer as maiores solicitações, nomeadamente na transição do maciço do apoio para o elemento de casca do depósito.

Estes resultados preliminares do depósito simplificado permitiram à AJP perceber se o depósito seria capaz de aguentar a ordem de grandeza das forças estimadas pela AJP correspondentes a uma situação de queda violenta.

Contudo, este depósito simplificado não garantia que os resultados do depósito final sejam 100% iguais.

A AJP validou os resultados obtidos do depósito simplificado.

Capítulo 5

Estudo do comportamento do depósito final

Havendo a necessidade de confirmar, agora com mais tempo, a validade do depósito final, a AJP enviou a última versão do depósito para nova simulação. Esta versão deveria ser testada sob as mesmas circunstâncias e com o mesmo objetivo: verificar se haveria algo que pudesse comprometer a integridade do depósito no caso de uma queda.

Foi solicitado pela AJP a determinação dos valores de carga máxima que o depósito poderia suportar quando sujeito a um carregamento vertical e a um carregamento lateral.

Esta última versão foi dada novamente sob a forma de um maciço, por isso todo o processo feito no primeiro depósito teve que ser repetido.

Nesta última versão, todos os detalhes foram incluídos, tais como:

- Os buracos onde a bomba da gasolina e o medidor de nível estariam;
- Os furos dos insertos metálicos para a fixação de vários elementos;
- Ranhuras de escoamento de fluidos;
- Buraco onde o abastecimento é feito;
- Arredondamentos de arestas interiores.

Nesta versão final, não são apresentados os valores dos raios de concordância interiores do depósito, uma vez que essa informação foi cedida por um dos fabricantes com quem a AJP está em contacto e é confidencial.

Nesta versão houve ainda uma alteração significativa nos apoios inferiores do depósito. Em vez de uma única “orelha” para cada lado, passou a haver duas, ou seja, o depósito vai “abraçar” o quadro em cada lado. A abundância de detalhes fazem com que o ficheiro do depósito seja muito mais pesado, já que implica que hajam muitas mais superfícies - o que implica repercursões no tempo de simulação.

Nas figuras 53 a 59 pode ser observado tanto a geometria exterior do depósito, como a geometria interior após todo o trabalho de modelação efetuado em SolidWorks.

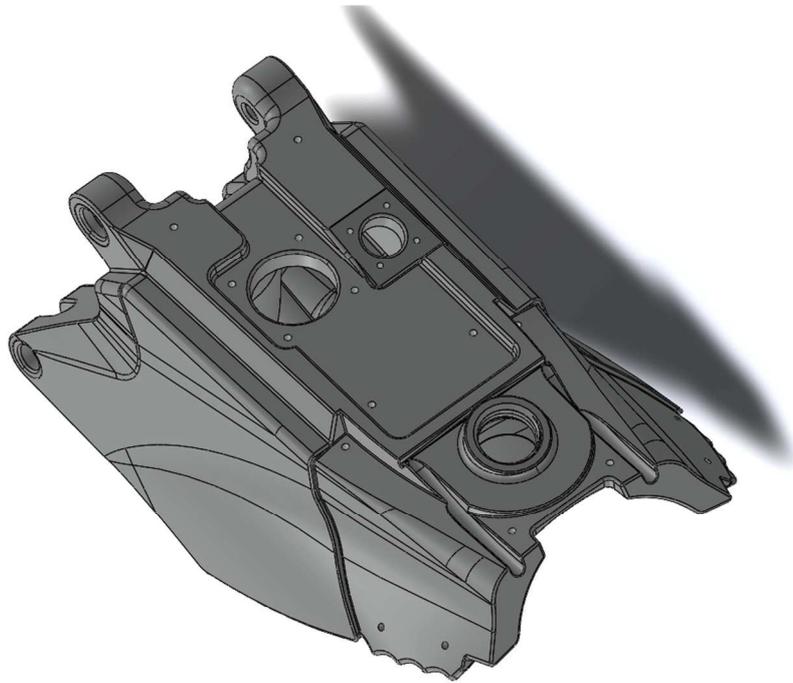


Figura 51 Vista geral do depósito mais detalhado (Fonte própria)

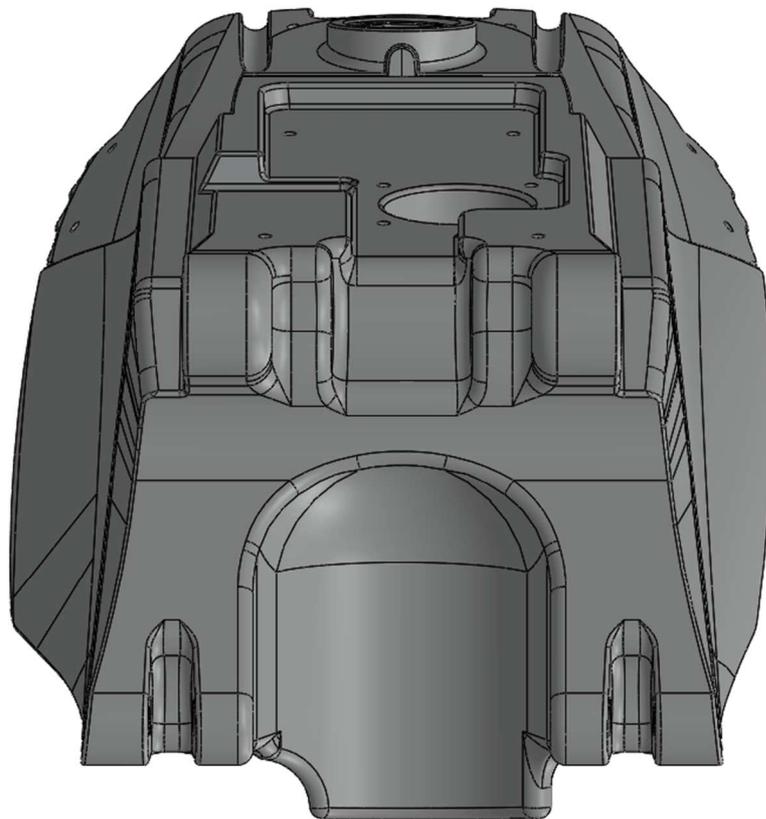


Figura 52 Vista de frente do depósito mais detalhado (Fonte própria)

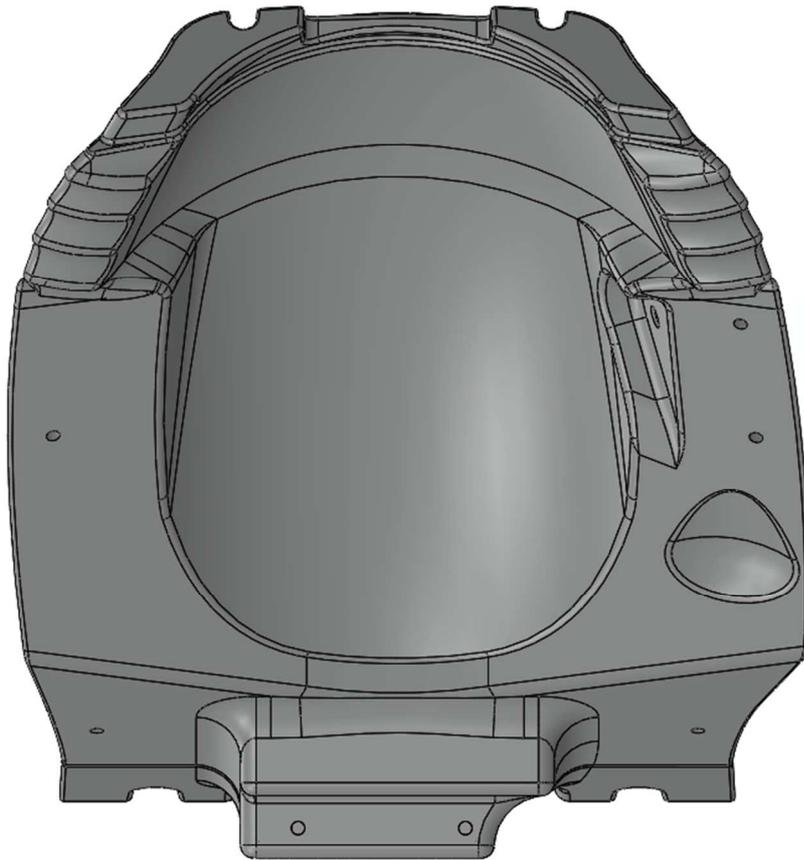


Figura 53 Vista de trás do depósito mais detalhado (Fonte própria)

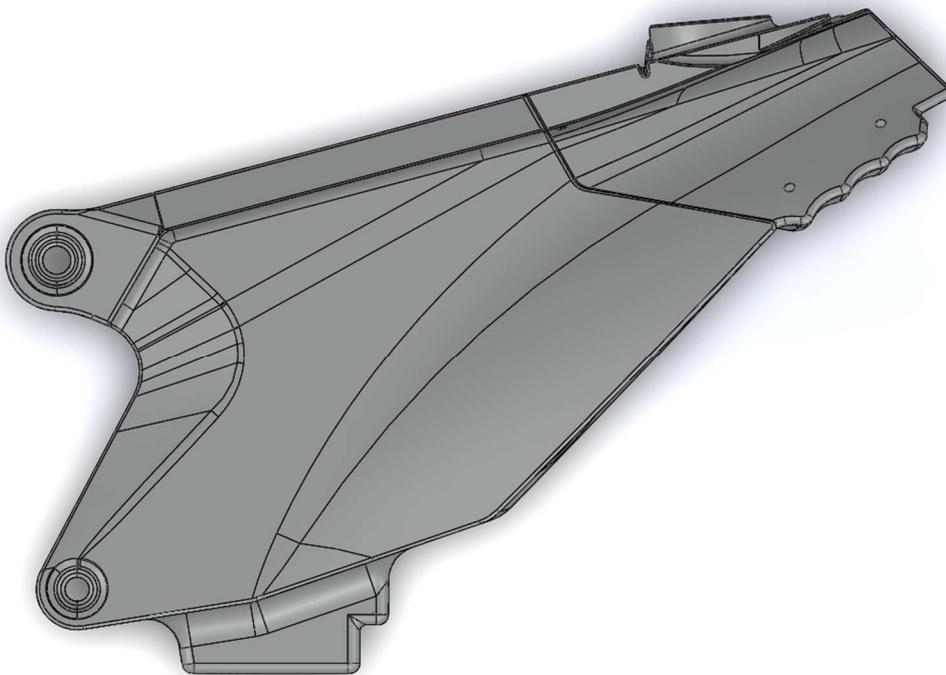


Figura 54 Vista do lado esquerda do depósito mais detalhado (Fonte própria)

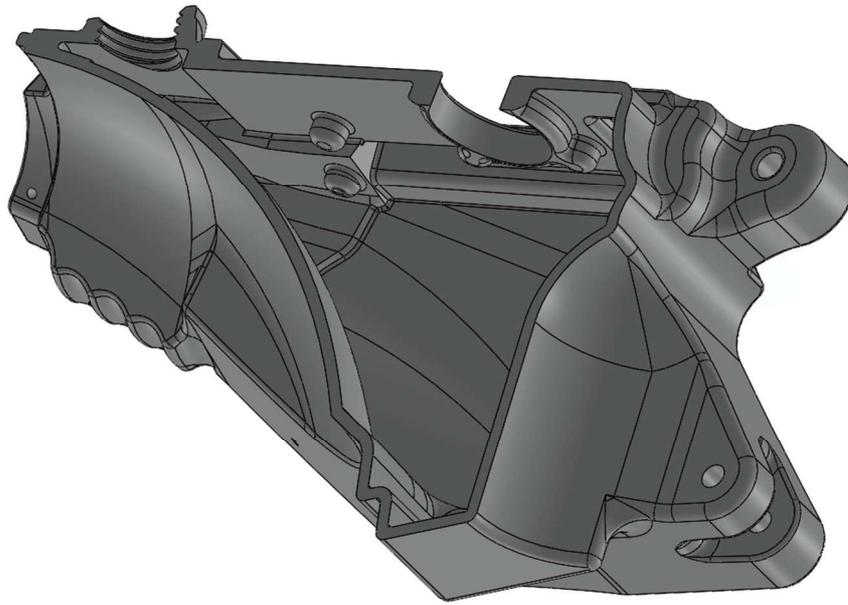


Figura 55 Vista lateral direita com corte longitudinal do depósito mais detalhado (Fonte própria)

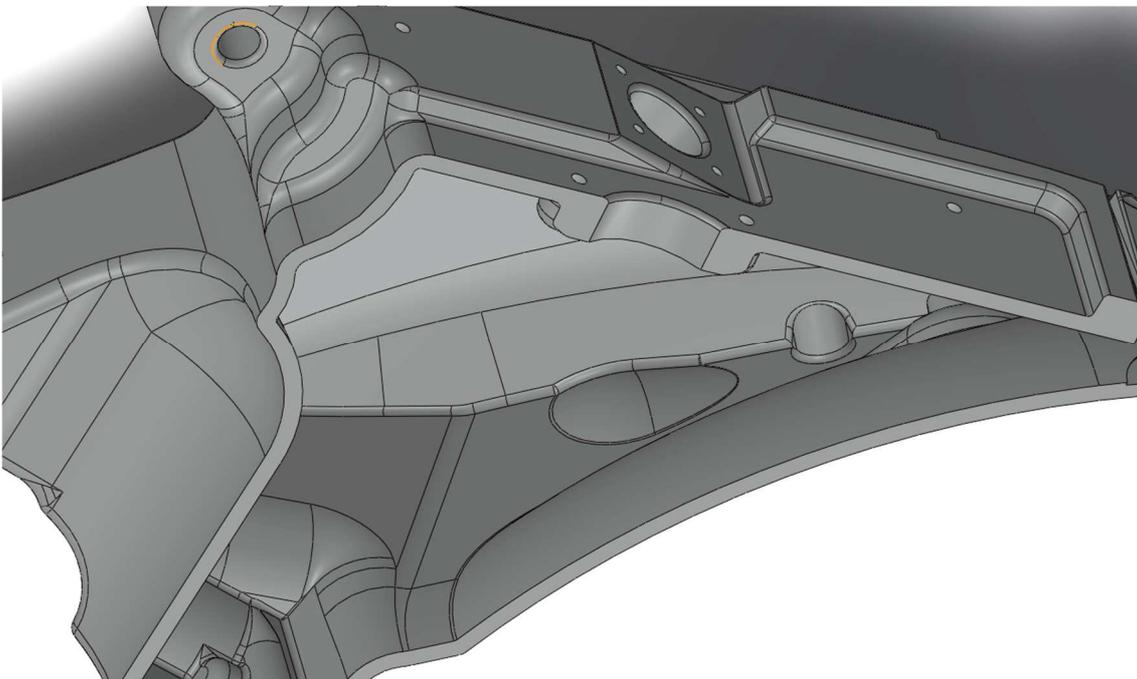


Figura 56 Vista lateral esquerda com corte longitudinal do depósito mais detalhado (Fonte própria)

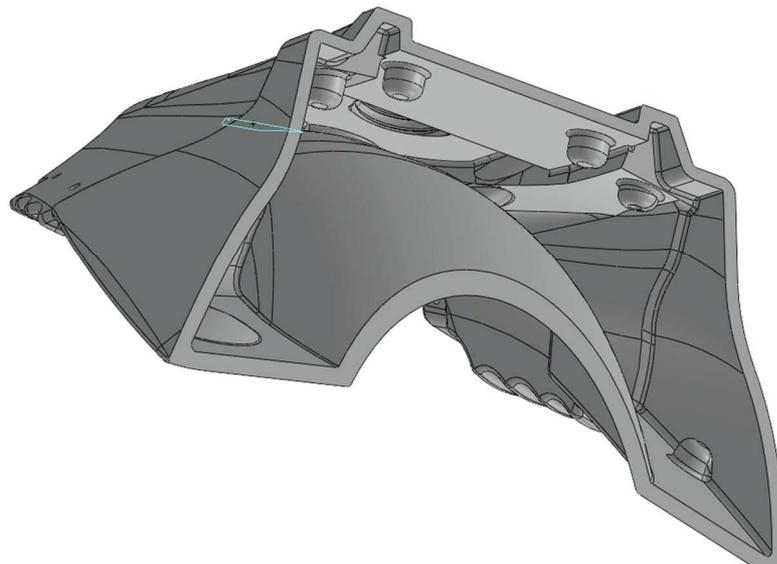


Figura 57 Vista com corte transversal do depósito mais detalhado (Fonte própria)

No *Abaqus*, foi necessário redefinir alguns parâmetros, nomeadamente a malha, devido à complexidade que agora o depósito apresenta (Figura 60).

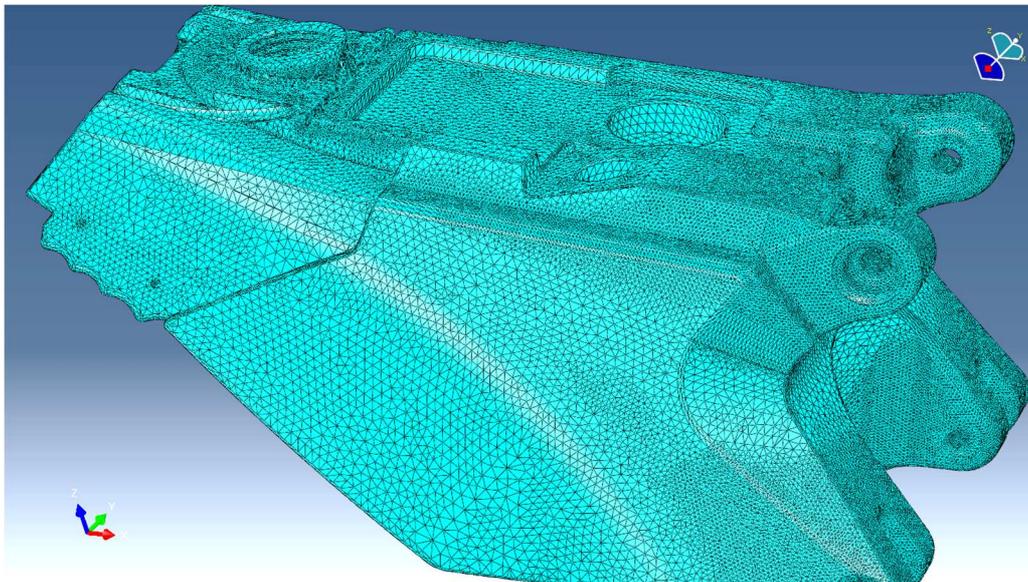


Figura 58 Vista geral da malha do depósito mais detalhado (Fonte própria)

Nas zonas dos apoios e na ranhura transversal, ao lado da entrada da gasolina, foi utilizado um tamanho de malha de 2 mm e no resto do depósito um tamanho de 5 mm. O tipo de elemento de malha usado foi o mesmo elemento tetragonal quadrático para cálculo em regime linear elástico, usado no primeiro depósito.

5.1 Resultados da simulação com a carga vertical

Chegou-se à conclusão que o mesmo valor da carga vertical aplicada ao depósito simplificado levaria ao aparecimento evidente de zonas deformadas plásticamente em vários pontos do depósito. Logo, após algumas iterações, definiu-se como carga vertical máxima admissível o valor de 4000 N (~400 kgf) em vez de 7500 N (~750 kgf).

Nas figura 61 pode ser observado a aplicação do carregamento e as condições fronteira utilizadas para as simulações.

Nas figuras 62 a 70 pode ser observada a distribuição de tensões existente no depósito para a aplicação da carga vertical.

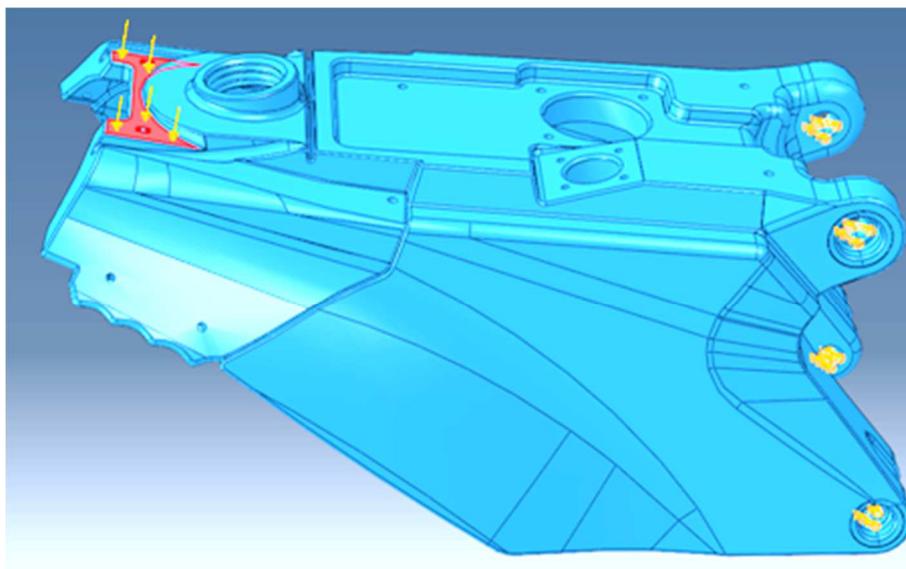


Figura 59 Carga vertical e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)

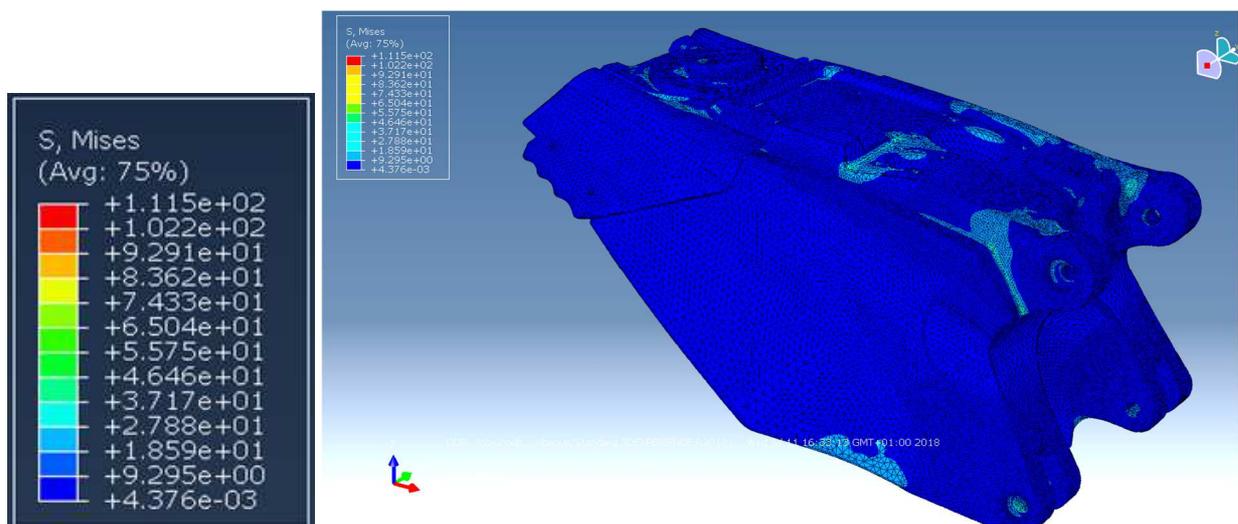


Figura 60 Vista geral do depósito após simulação da carga vertical (Fonte própria)

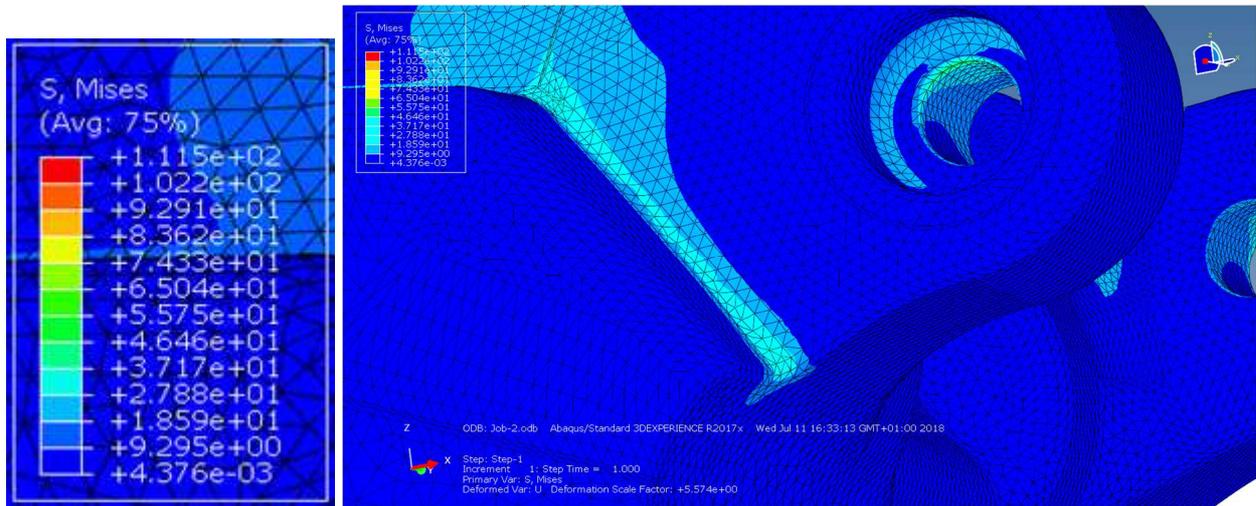


Figura 61 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)

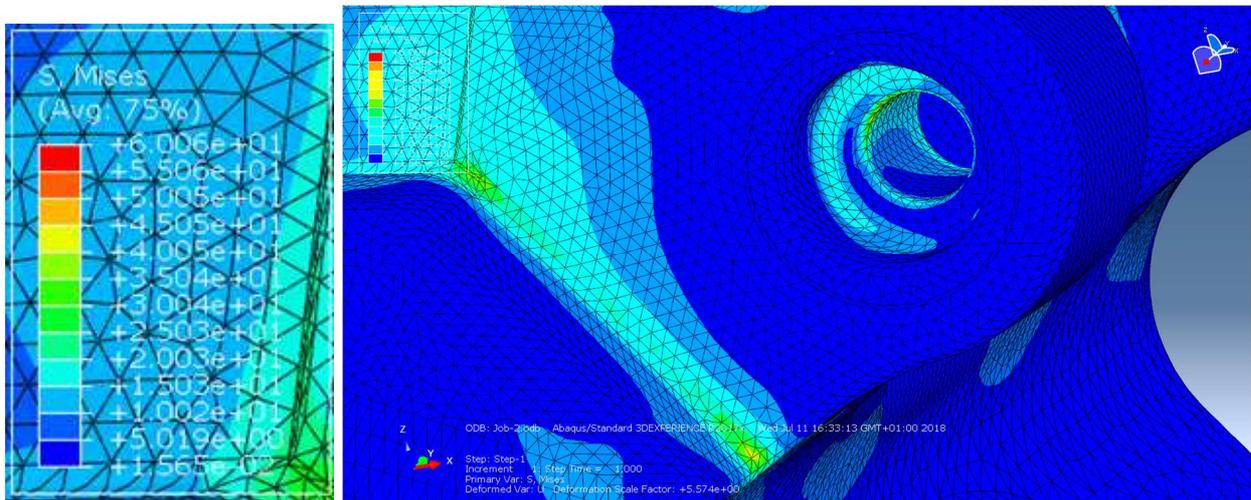


Figura 62 Vista do apoio superior direito (Fonte própria)

Da observação da distribuição de tensões obtida verifica-se que o valor mais alto, de 60 MPa é observado no interior dos apoios superiores (Figura 64), sendo este desprezável porque é resultado do efeito da concentrações de tensões, provocado pela geometria do apoio, associado à aplicação das condições fronteira nessa zona. O mais provável a acontecer, mesmo que esses valores sejam atingidos, é apenas uma pequena plastificação local, já que a zona afetada é muito pequena.

Contudo, na aresta que resulta de uma descontinuidade do próprio design do depósito (apresentado a verde), é alcançado um valor máximo de 45 MPa, ou seja, dentro dos limites do material, de 48 MPa (Figura 64).

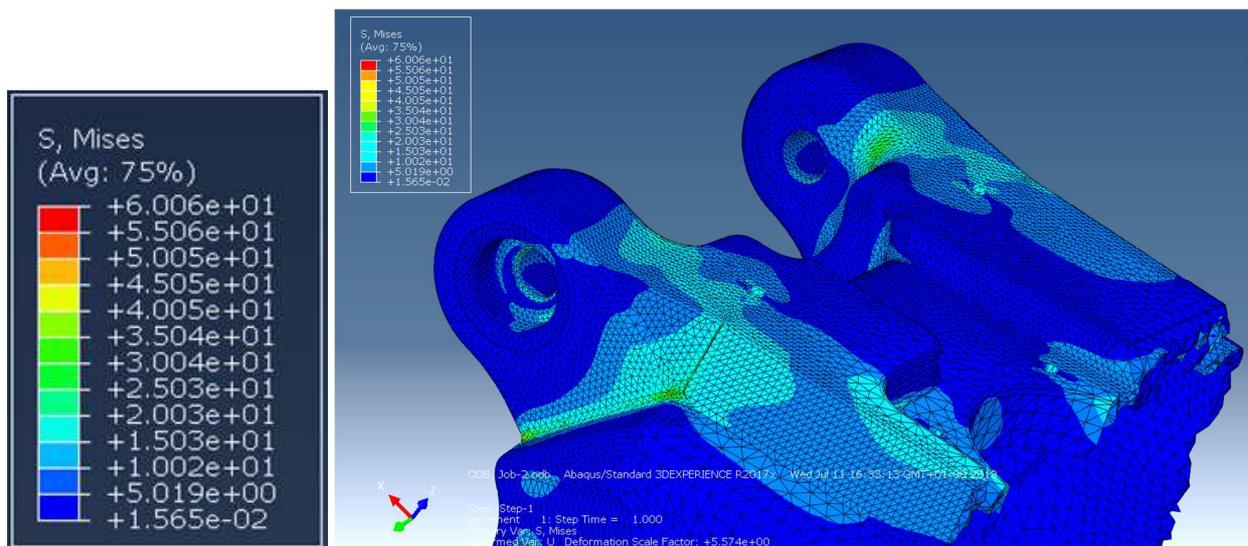


Figura 63 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)

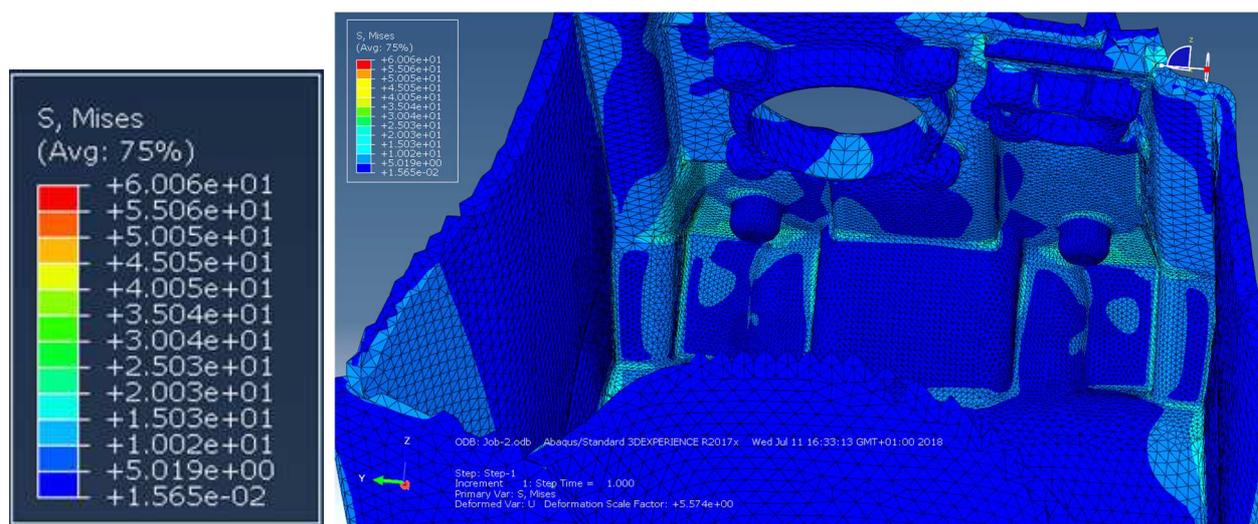


Figura 64 Vista do interior dos apoios superiores do depósito (Fonte própria)

Nem no exterior, nem no interior, existem locais onde se verifiquem deformações plásticas, visto que as tensões estão todas dentro do limite da tensão limite elástica do material (Figuras 65 e 66).

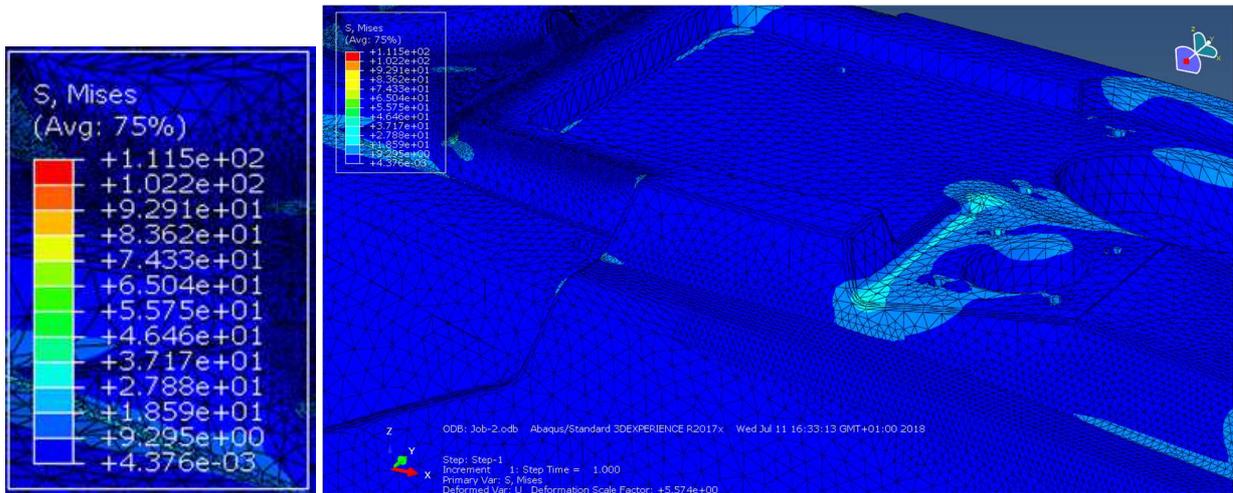


Figura 65 Vista da parte superior do depósito (Fonte própria)

Um elemento que pudesse trazer alguma limitação à capacidade de absorção de energia ao depósito, a zona do medidor de nível da gasolina, acabou por não impôr nenhum problema no caso da carga vertical (Figura 67).

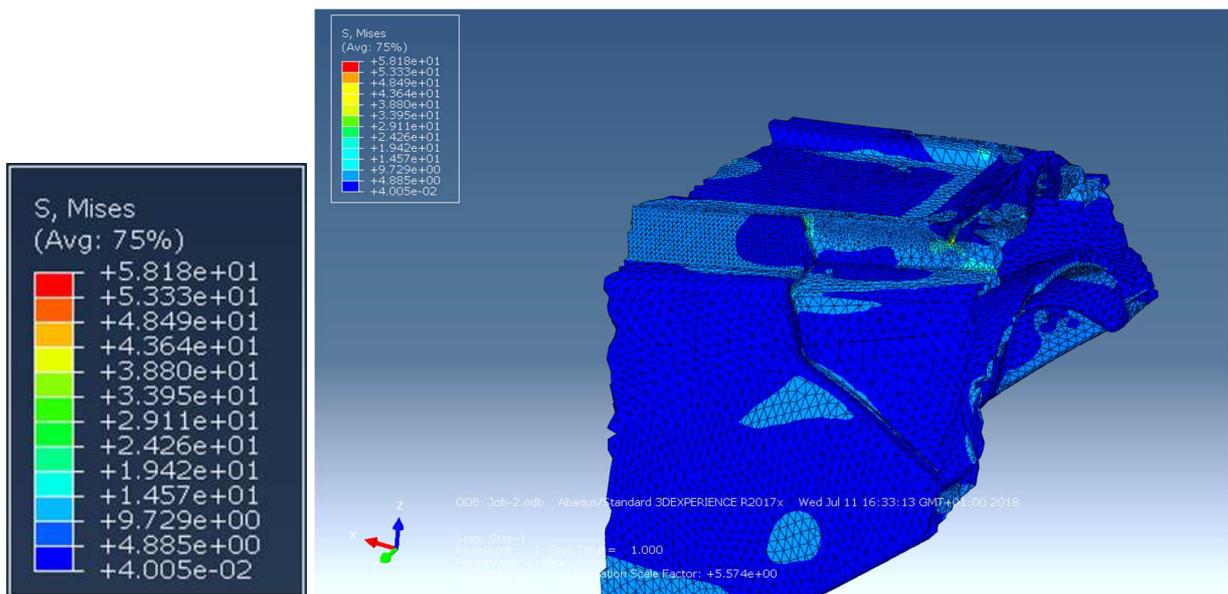


Figura 66 vista da parte central do depósito (Fonte própria)

Contudo, não são os apoios os elementos limitadores do depósito, mas sim as ranhuras para escoamento de fluidos. Nomeadamente a ranhura transversal no caso da carga vertical (figuras 68 a 70).

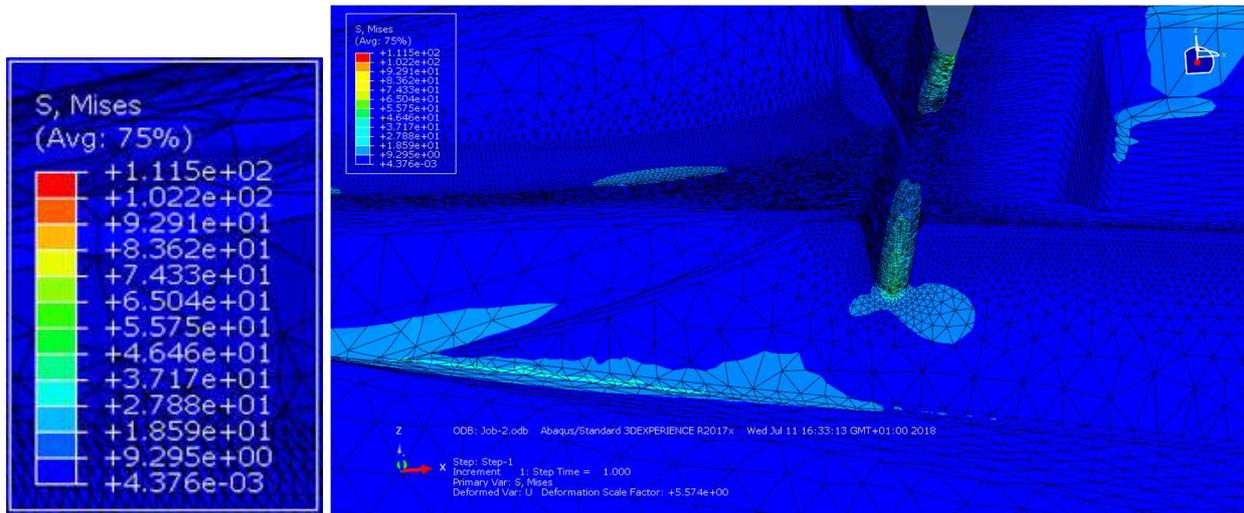


Figura 67 Vista da ranhura transversal do depósito (Fonte própria)

O facto da geometria da ranhura ser funda, estreita e comprida, promove a que haja uma enorme concentração de tensões, podendo levar a grandes deformações plásticas e consequentes danos estruturais no depósito.

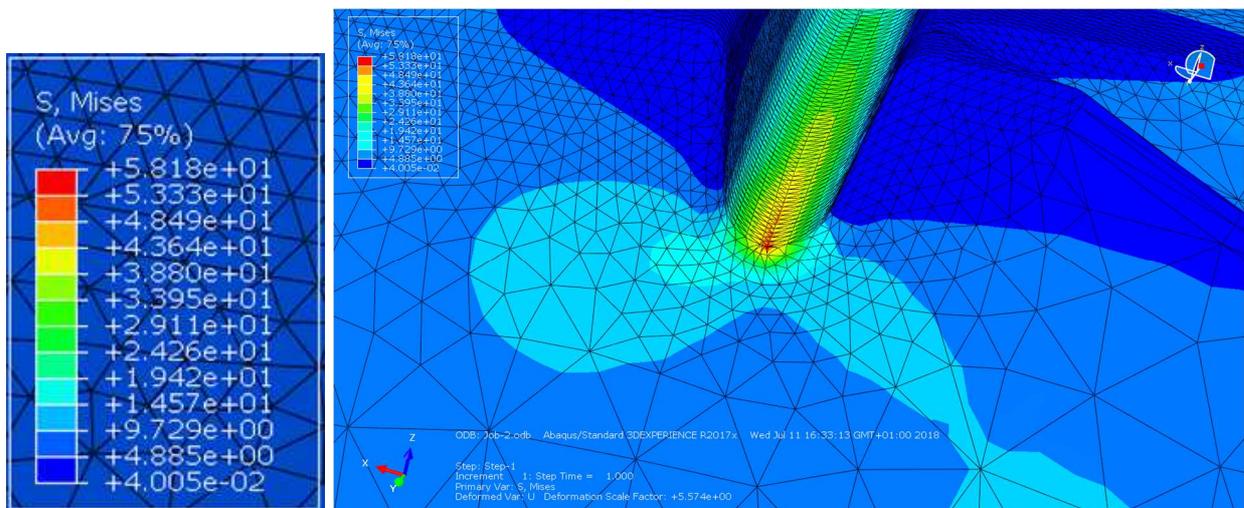


Figura 68 Vista da ranhura transversal do depósito (Fonte própria)

Na zona da ranhura transversal é atingido um valor de tensão máxima de 58 MPa, logo não podemos excluir a existência de deformações plásticas consideráveis (Figura 70).

5.2 Resultados da simulação com a carga lateral

Chegou-se à conclusão que o mesmo valor da carga lateral aplicada ao depósito simplificado, também seria demasiado. Logo, após algumas iterações, definiu-se como carga lateral máxima admissível um valor de 300 kgf em vez de 500 kgf.

Nas figura 71 pode ser observado a aplicação do carregamento e as condições fronteira utilizadas para as simulações.

Nas figuras 72 a 86 pode ser observada a distribuição de tensões existente no depósito para a aplicação da carga lateral.

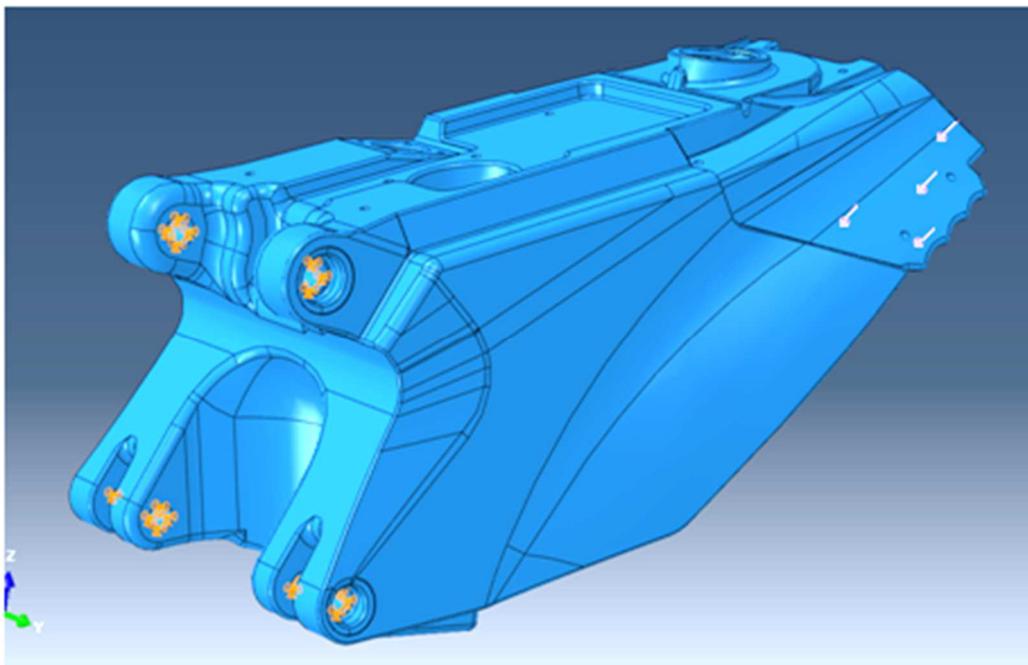


Figura 69 Carga lateral esquerda e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)

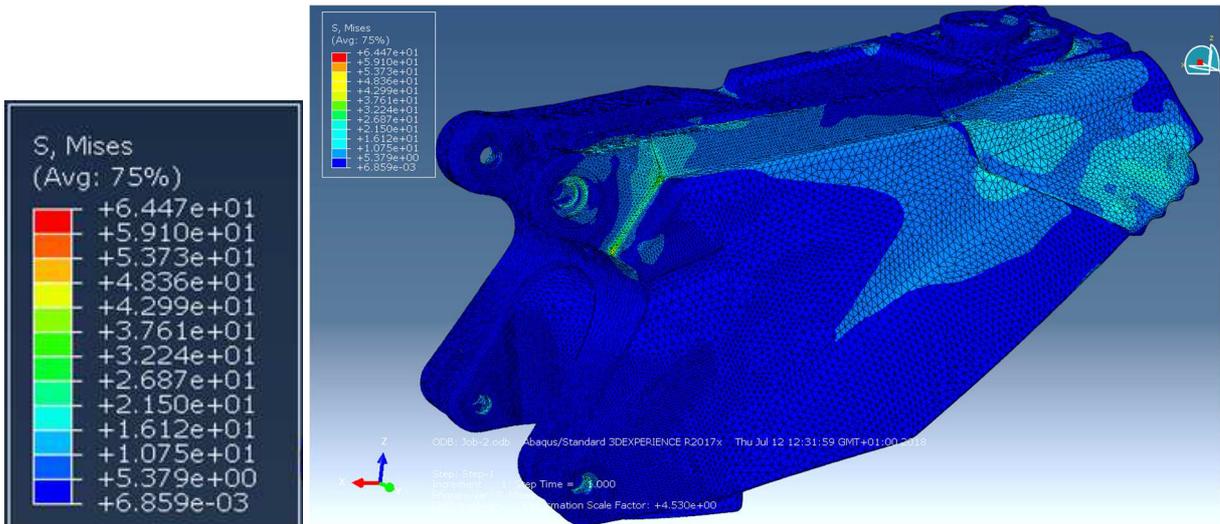


Figura 70 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral esquerda (Fonte própria)

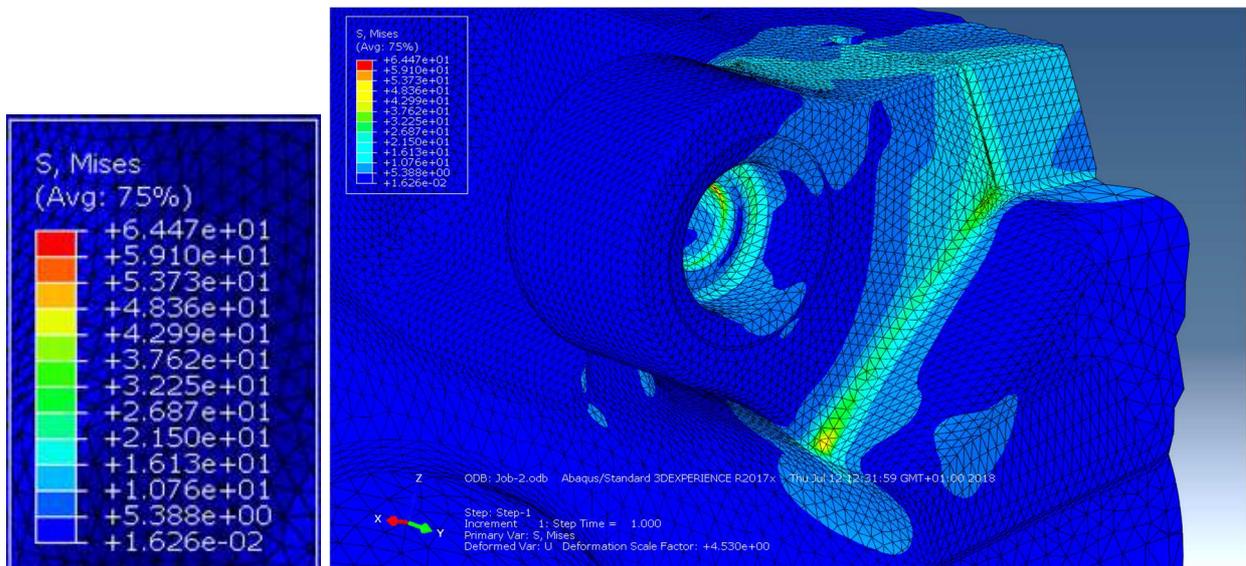


Figura 71 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)

O valor mais alto observado, de 64,47 MPa, é desprezável porque é resultado das condições fronteira dos apoios (Figura 73). O mais provável a acontecer, mesmo que esses valor sejam atingidos, é apenas uma pequena plastificação local, já que a zona afectada é muito pequena.

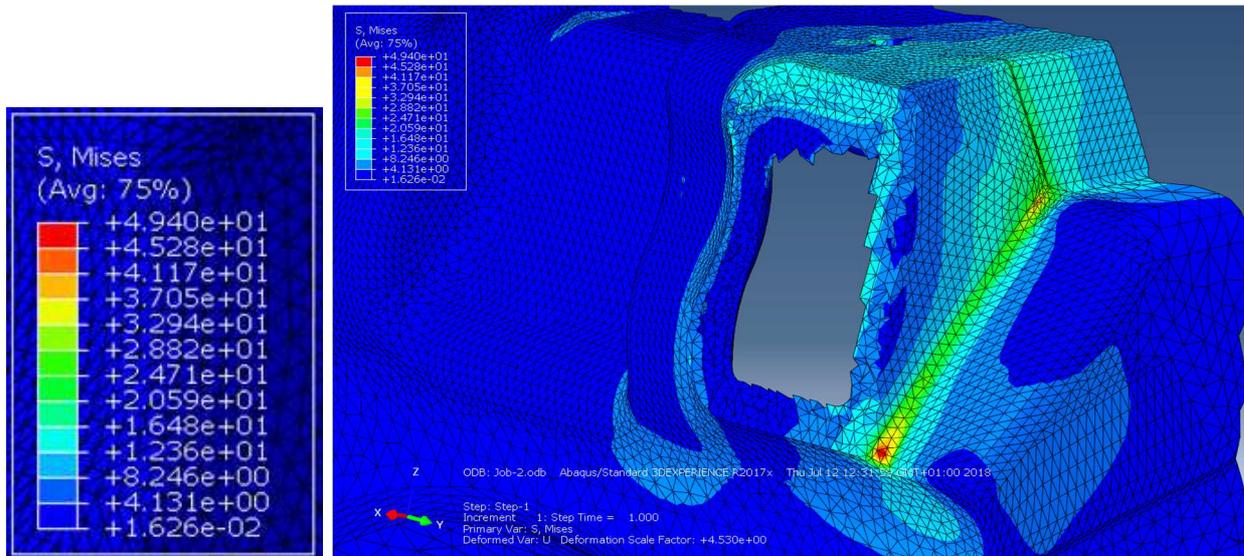


Figura 72 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)

Retirando aquele valor máximo de tensão no interior do apoio, as partes críticas são claramente na transição do maciço para o elemento de casca, aliado à descontinuidade do design. Havendo uma transição de superfícies tão brusca, faz com que haja uma grande concentração de tensões.

Contudo, não é suficiente para causar uma eventual rotura local. O valor máximo obtido é de 49 MPa, num ponto relativamente pequeno, por isso pode-se esperar uma plastificação local (Figura 74).

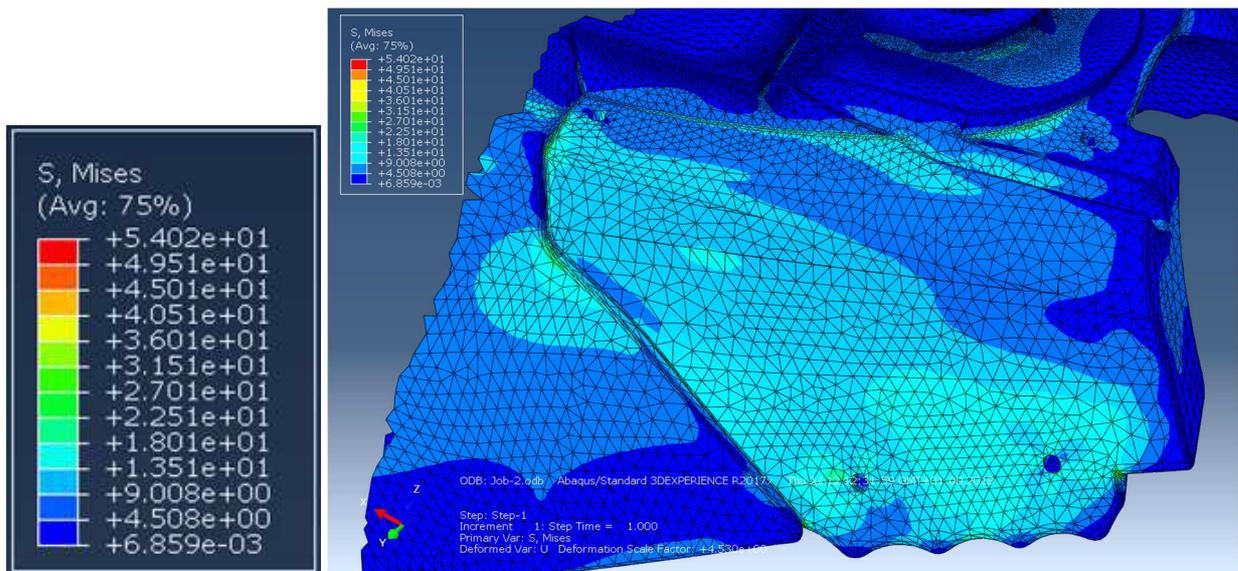


Figura 73 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)

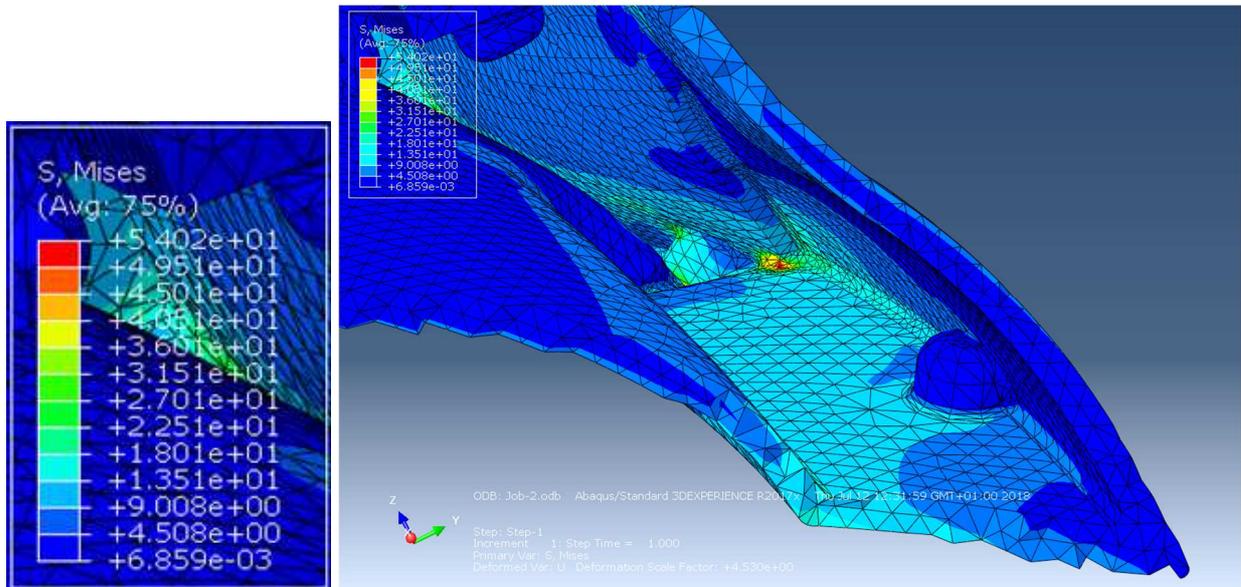


Figura 74 Vista para interior do depósito, no local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)

No local de aplicação do carregamento lateral na zona interior do depósito, verifica-se a existência de um valor máximo de 54MPa que pode ser desprezado por ser na confluência de três arestas, na qual uma delas é uma aresta viva (Figuras 75 e 76). Apesar do SolidWorks possuir um comando para arredondar arestas, nalgumas delas não foi possível arredondar a aresta, por incapacidade de se conseguir que o software efetua-se a operação quando as geometrias se mostraram mais complexas.

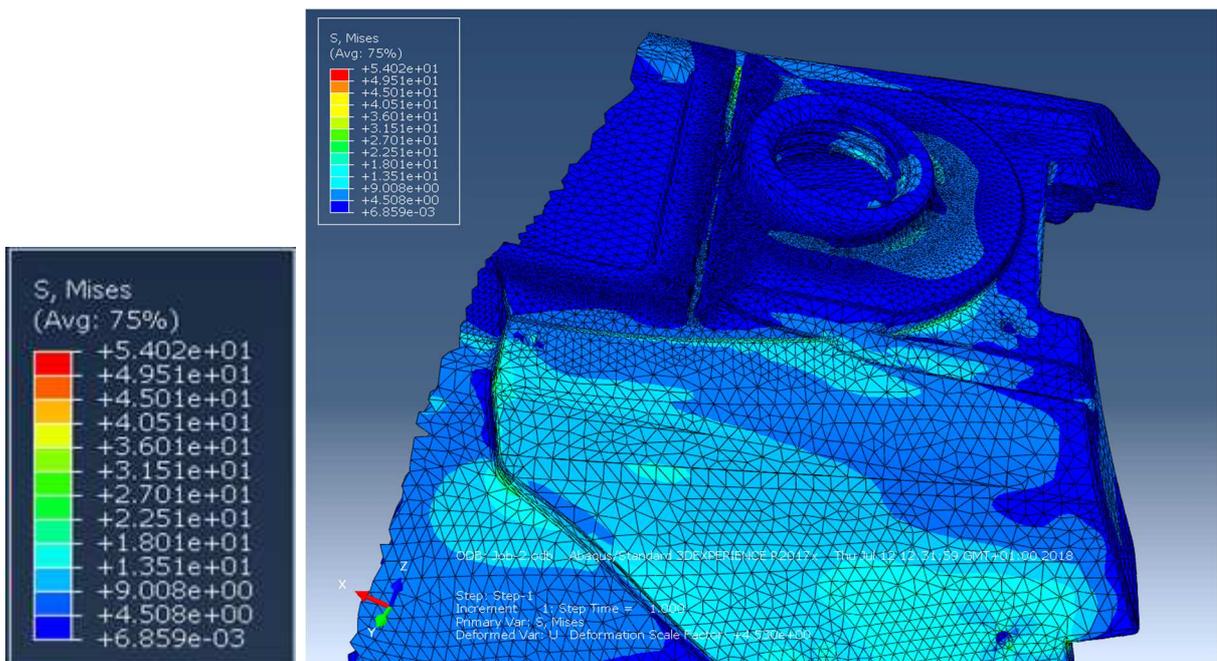


Figura 75 Vista superior para a parte de trás do depósito (Fonte própria)

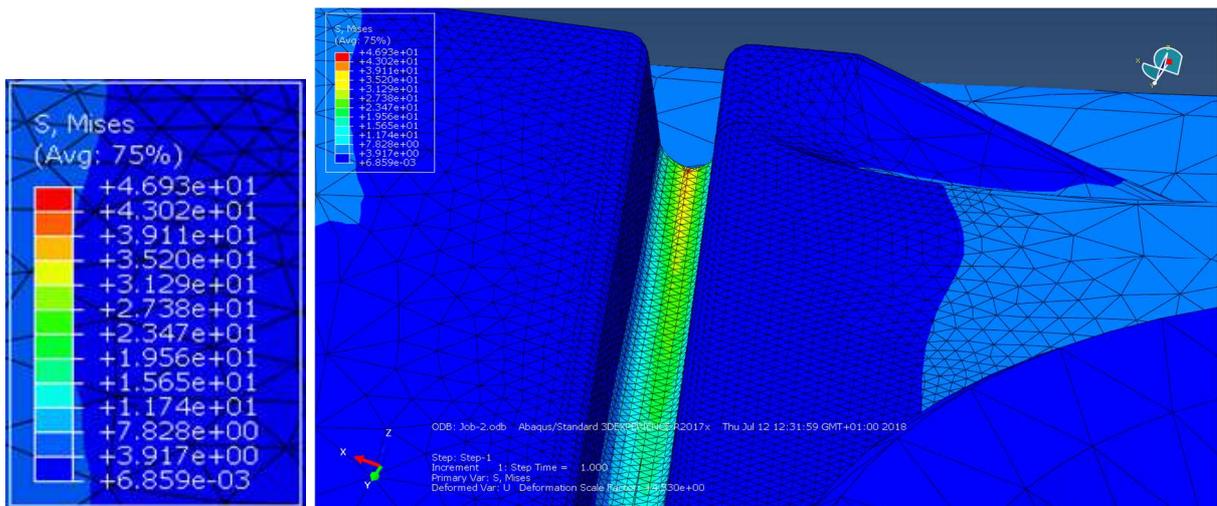


Figura 76 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)

A ranhura transversal é claramente um dos elementos que traz uma descontinuidade à absorção de energia numa queda. Possui um valor máximo de 46 MPa, logo está bastante próximo do limite de cedência (Figuras 77 e 78).

De modo a ter a certeza que não escapam nenhuma diferença de resultados devida a uma falta de simetria geral do depósito, foi simulada exactamente a mesma carga para o lado oposto do depósito.

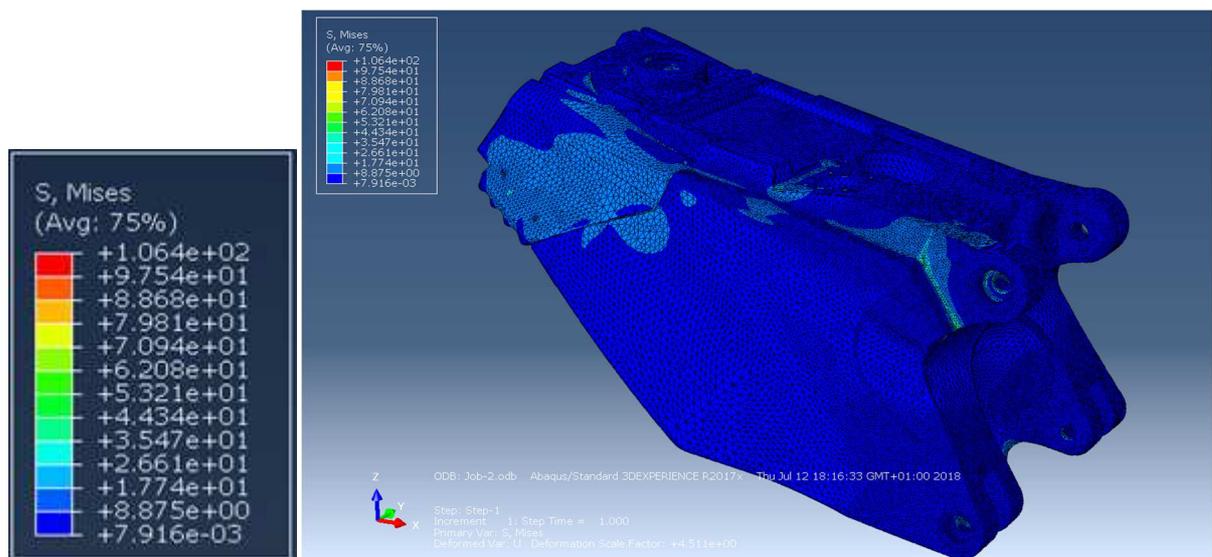


Figura 77 Vista geral do depósito após simulação da carga lateral direita (Fonte própria)

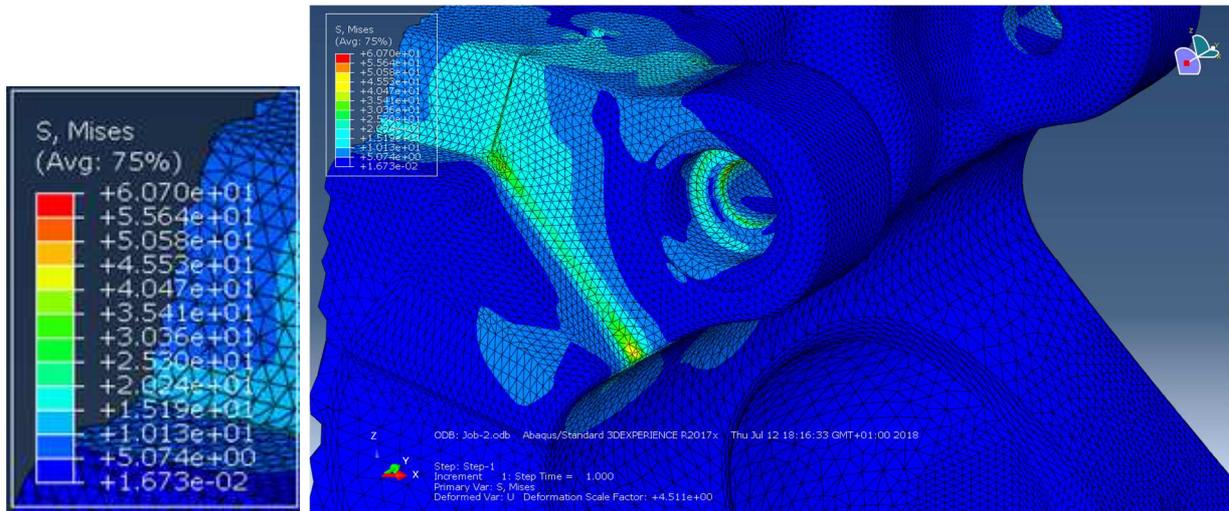


Figura 78 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)

No lado oposto acontece o mesmo. Há uma concentração de tensões na parte interior do olhal do apoio, que consideramos desprezável, e uma concentração de tensões na aresta no apoio (Figuras 79 e 80).

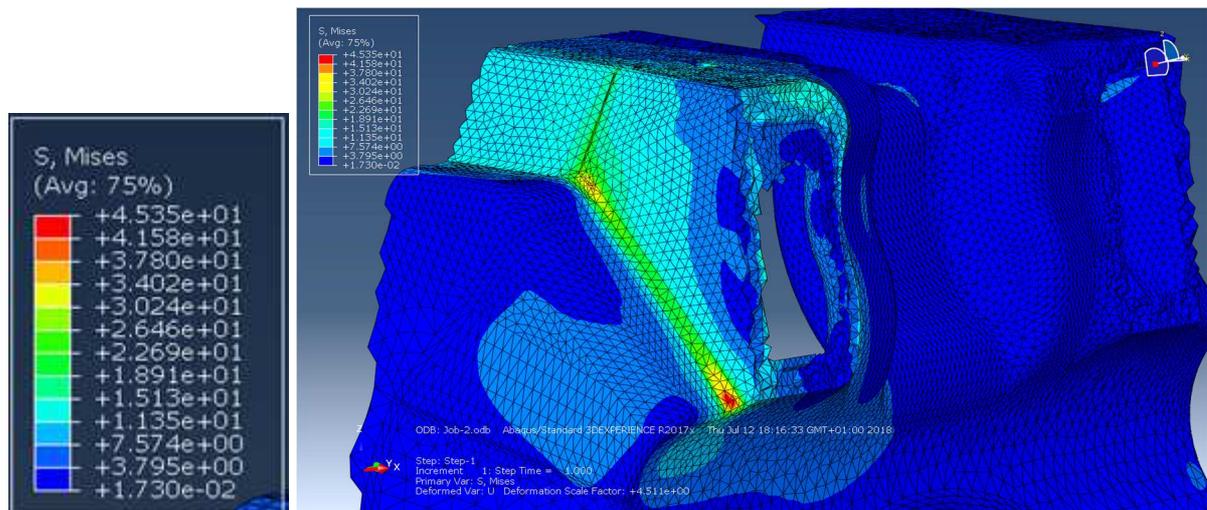


Figura 79 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)

Podemos constatar que deste lado a tensão máxima não ultrapassa a tensão limite de cedência de 48 MPa (Figura 81).

Esta diferença é justificada pela descontinuidade do depósito neste lado, devido ao medidor de nível (em baixo). A descontinuidade provoca uma concentração de tensões e consequentemente, os apoios não absorvem toda a energia de deformação (Figura 82).

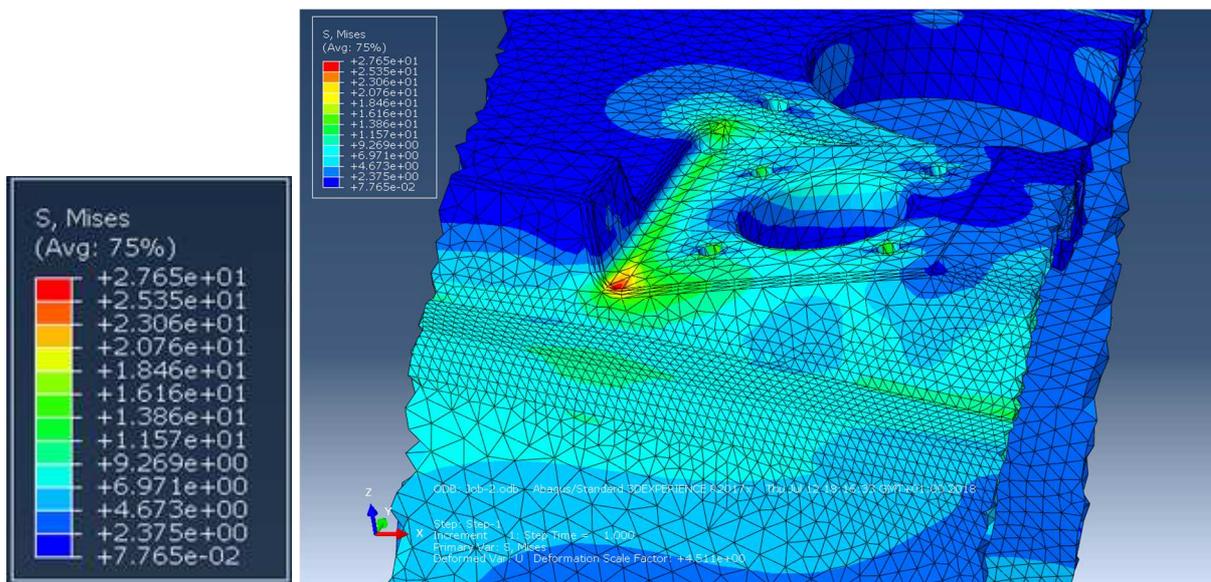


Figura 80 Vista da zona do medidor de nível (Fonte própria)

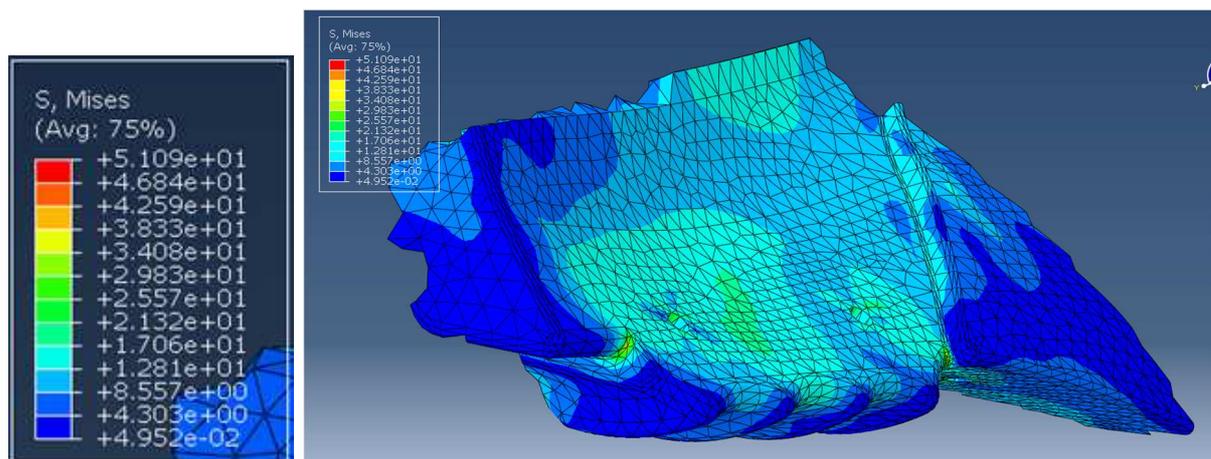


Figura 81 Vista para o local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)

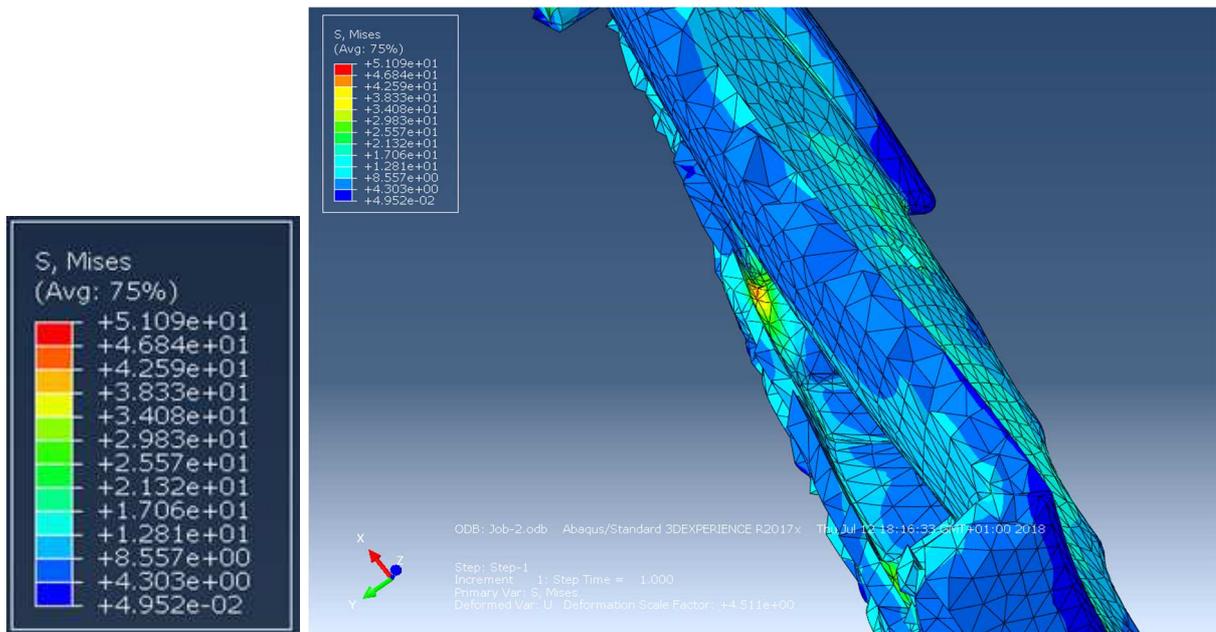


Figura 82 Vista para interior do depósito, no local da aplicação da força no depósito (Fonte própria)

As duas figuras em cima (Figuras 83 e 84) são referentes a um valor máximo alcançado, maior do que a tensão limite de elasticidade, na superfície interior do depósito.

Devido à espessura imposta e ao próprio design do depósito, há alguns locais onde o efeito capilar do polímero fundido tem que ser considerado. Neste caso, um dos insertos para a fixação do guarda-lamas traseiro faz com que haja material de um lado ao outro do depósito. Isso faz com que no caso de haver uma força aplicada, como é o caso desta simulação, as paredes do depósito não se possam deformar de modo a absorver o impacto. Isso faz com que a energia seja transmitida totalmente para a própria geometria do depósito e assim criar uma concentração de tensões elevada.

Como o valor da tensão não passa dos 51 MPa, podemos considerar que haveria apenas uma plastificação local e que não levaria à rotura do depósito.

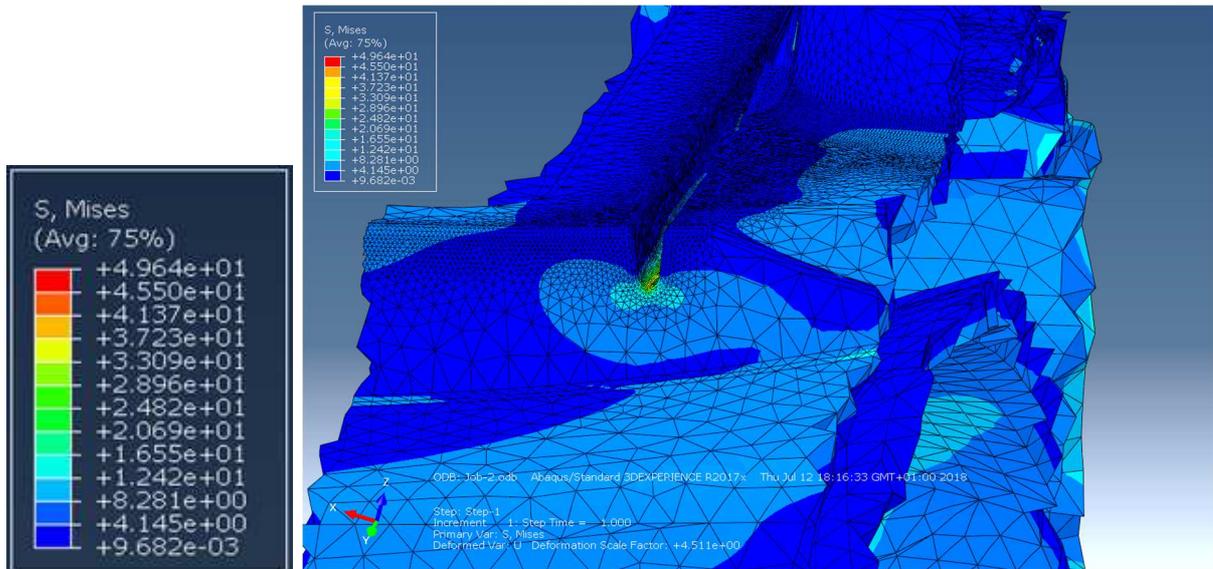


Figura 83 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)

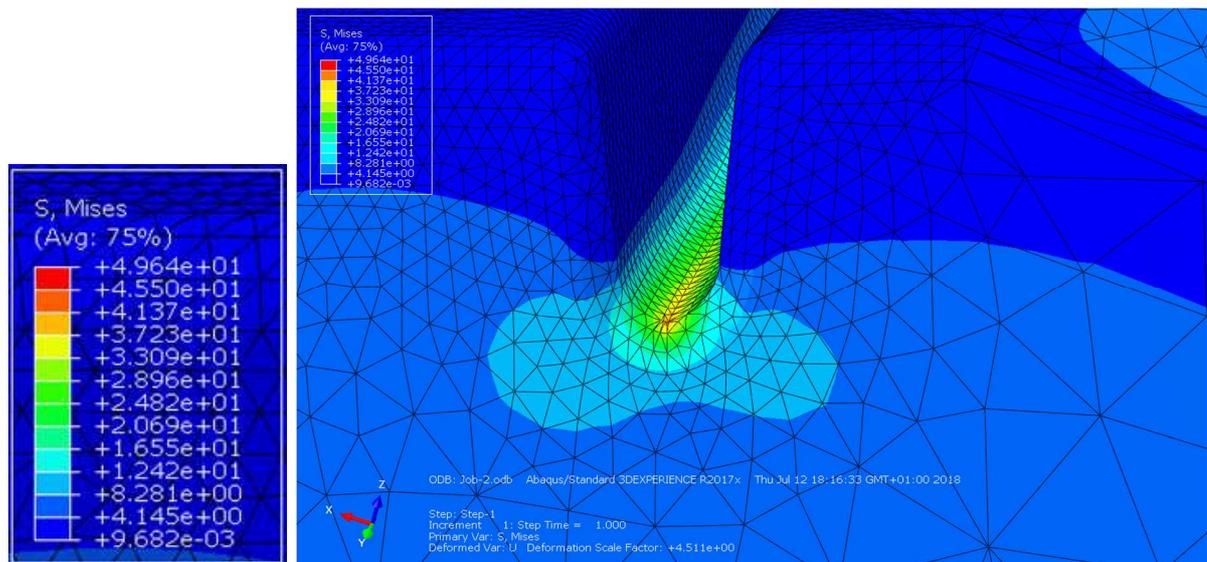


Figura 84 Vista para a ranhura transversal (Fonte própria)

Apesar de no caso contrário, na ranhura, não se atingir a tensão limite de elasticidade, deste lado é ultrapassada. Na ranhura é alcançado um valor de tensão máxima de 49,6 MPa (Figuras 85 e 86).

Caso a força aplicada fosse maior, certamente seria nesta ranhura que se observaria a iniciação do processo de rotura do depósito.

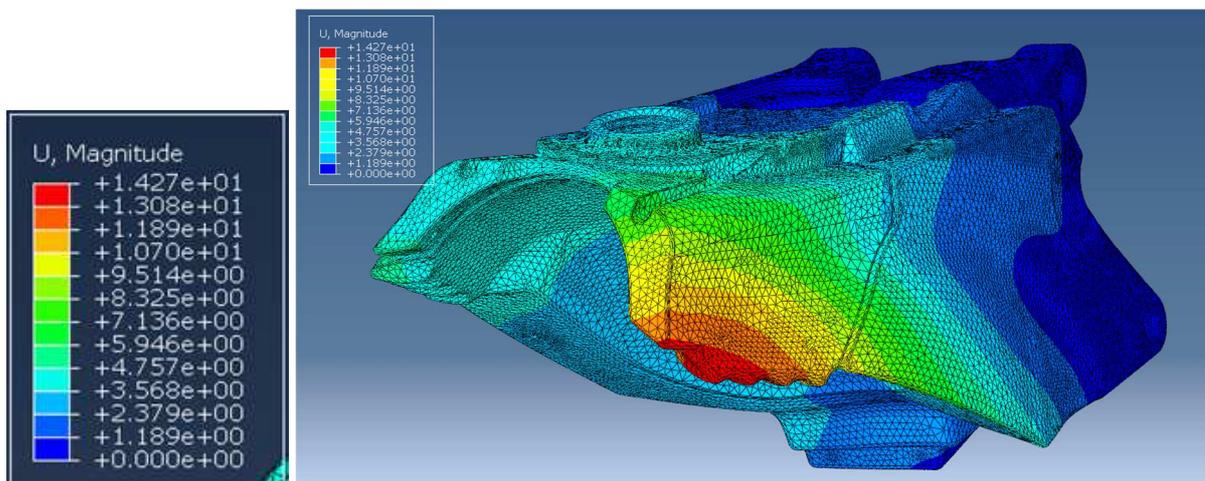


Figura 85 Deformação resultante da carga lateral (Fonte própria)

O valor dos deslocamentos verticais é dos únicos que se mantêm relativamente perto das simulações com o primeiro depósito, de cerca de 14 mm (Figura 87).

5.3 Resultados da simulação com a carga composta

Visto que os resultados das cargas laterais e vertical foram consideravelmente inferiores devido aos últimos elementos adicionados ao depósito, decidiu-se simular também com uma carga composta.

Esta carga composta representa um impacto numa superfície do depósito que seja simultaneamente uma carga lateral e vertical. Este resultado só irá validar os valores obtidos dos limites do depósito.

O valor da força aplicada foi de 350 kgf (Figura 88).

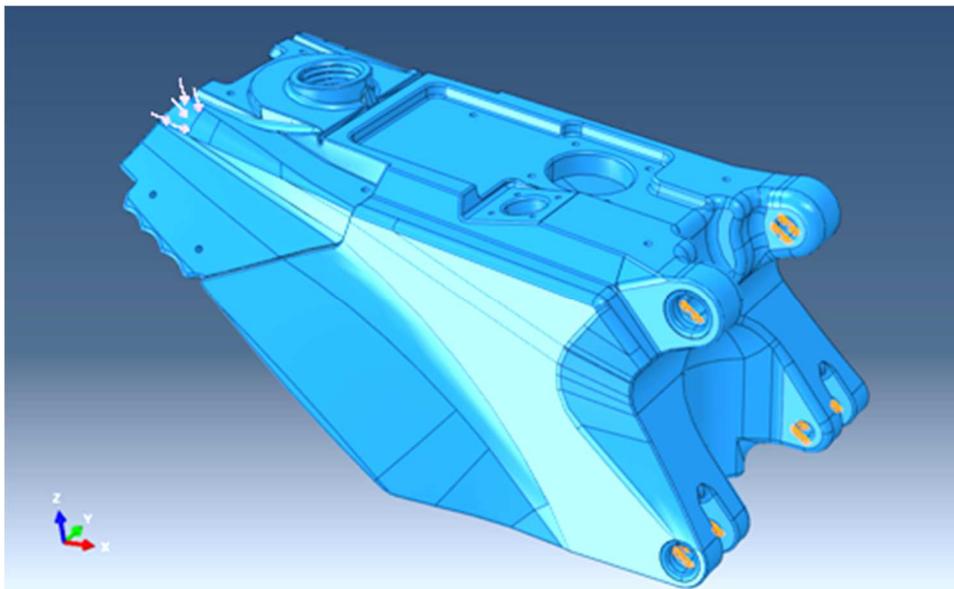


Figura 86 Carga composta direita e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)

Nas figuras 89 a 94 pode ser observada a distribuição de tensões existente no depósito para a aplicação da carga composta, quando esta é aplicada na extremidade traseira do lado direito do depósito.

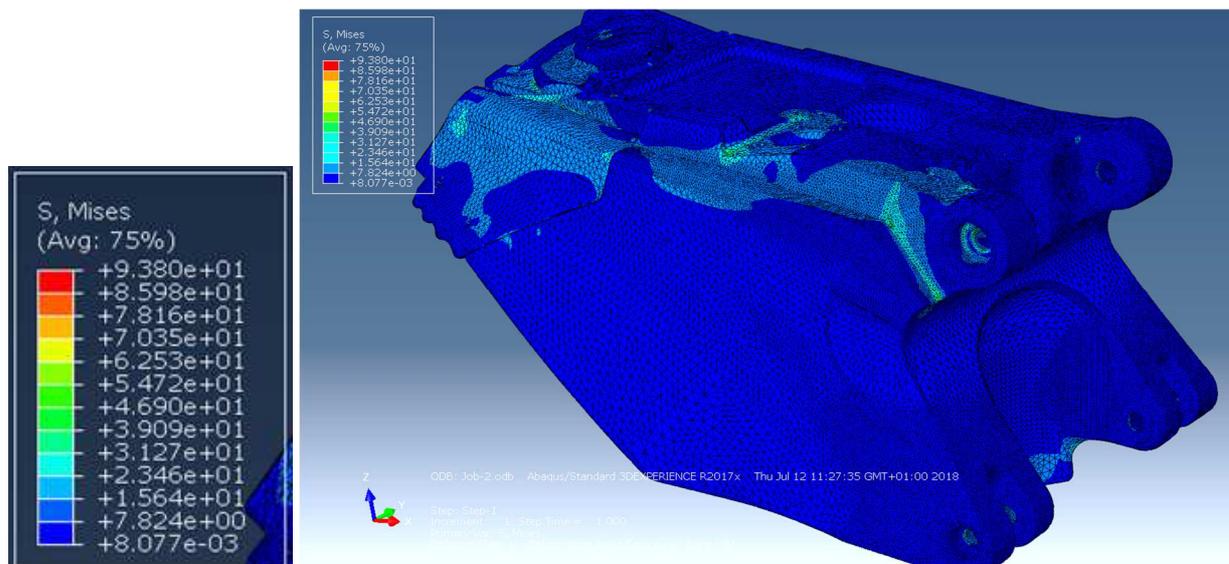


Figura 87 Vista geral do depósito após simulação da carga composta direita (Fonte própria)

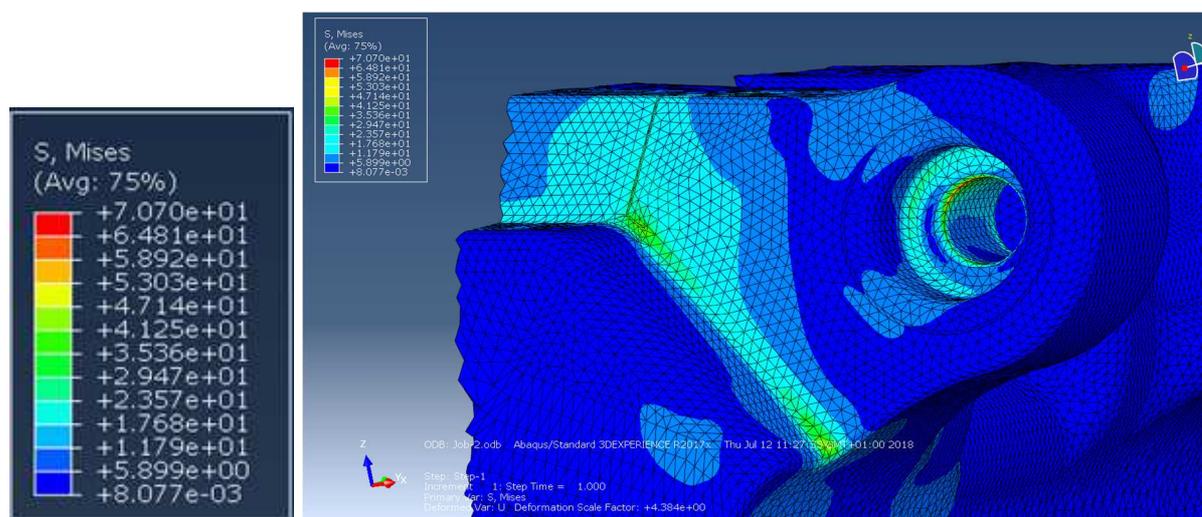


Figura 88 Vista do apoio superior direita (Fonte própria)

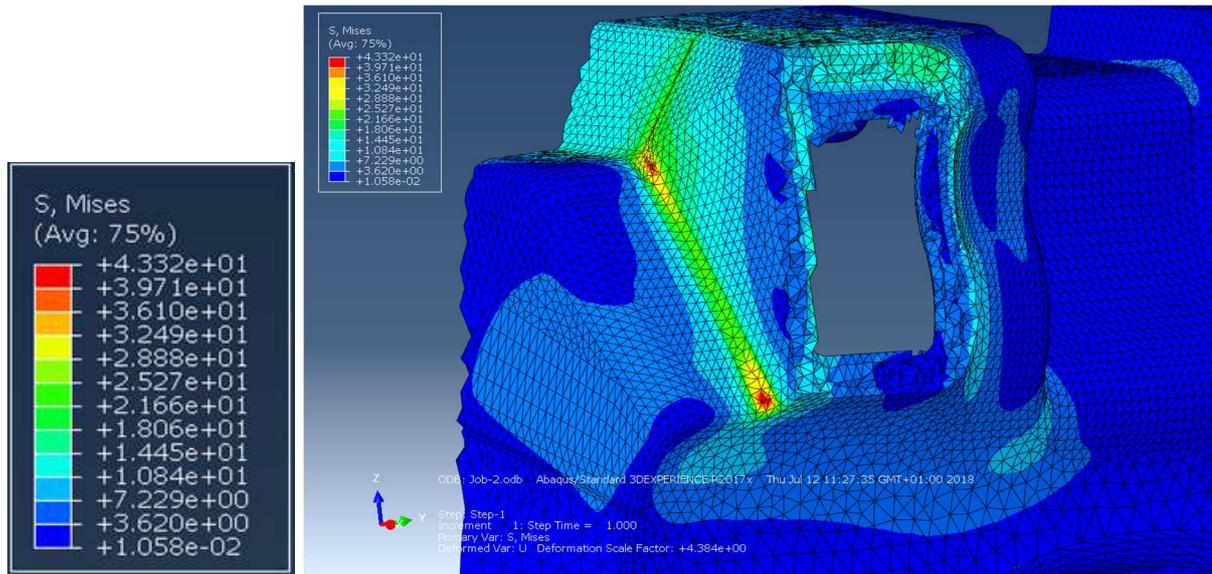


Figura 89 Vista do apoio superior direito (Fonte própria)

Numa análise global da distribuição de tensões obtida verifica-se que o valor máximo obtido é de 43 MPa, ou seja, ainda dentro do limite do material (Figuras 89 a 91).

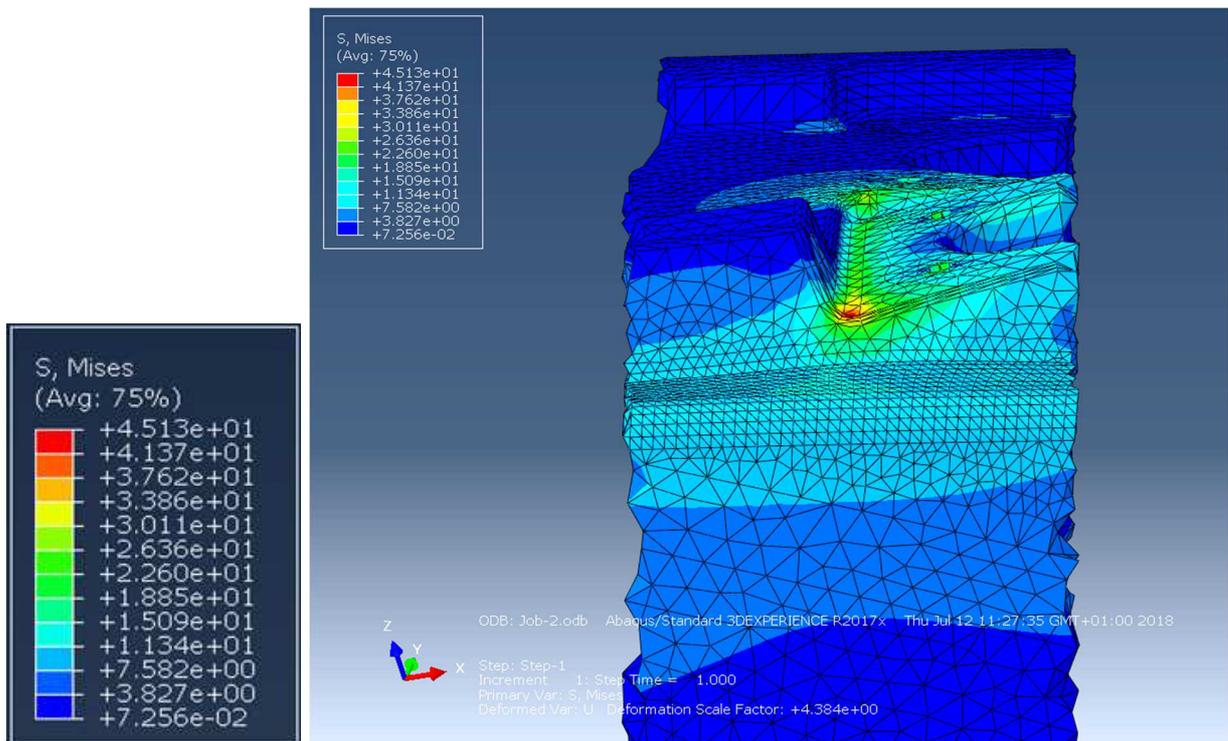


Figura 90 Vista do medidor de nível (Fonte própria)

Na descontinuidade do medidor de nível, o valor máximo alcançado é de 45 MPa, por isso ainda está dentro do limite de 48 MPa do material (Figura 92).

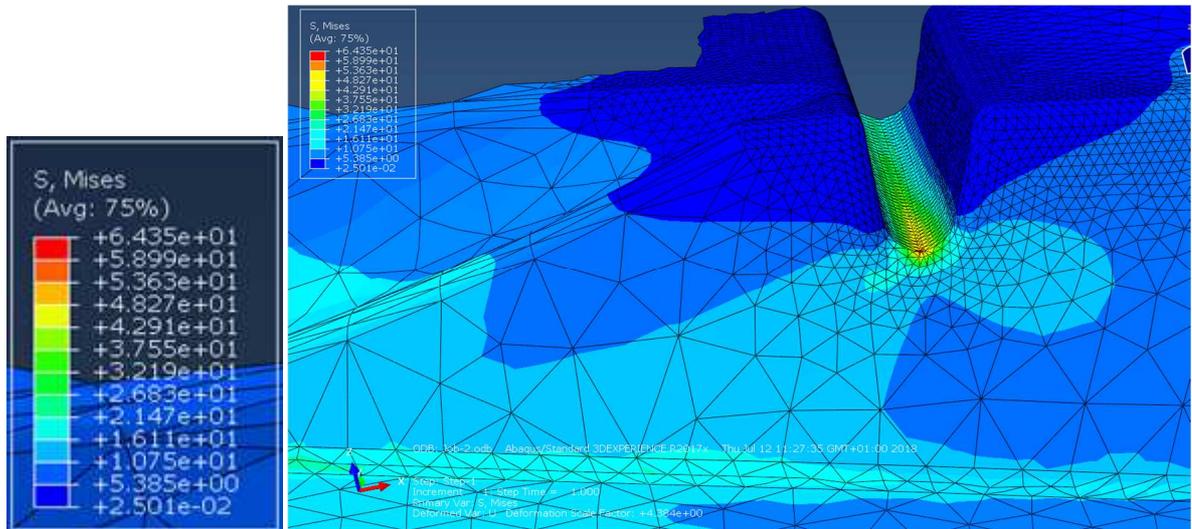


Figura 91 Vista da ranhura transversal (Fonte própria)

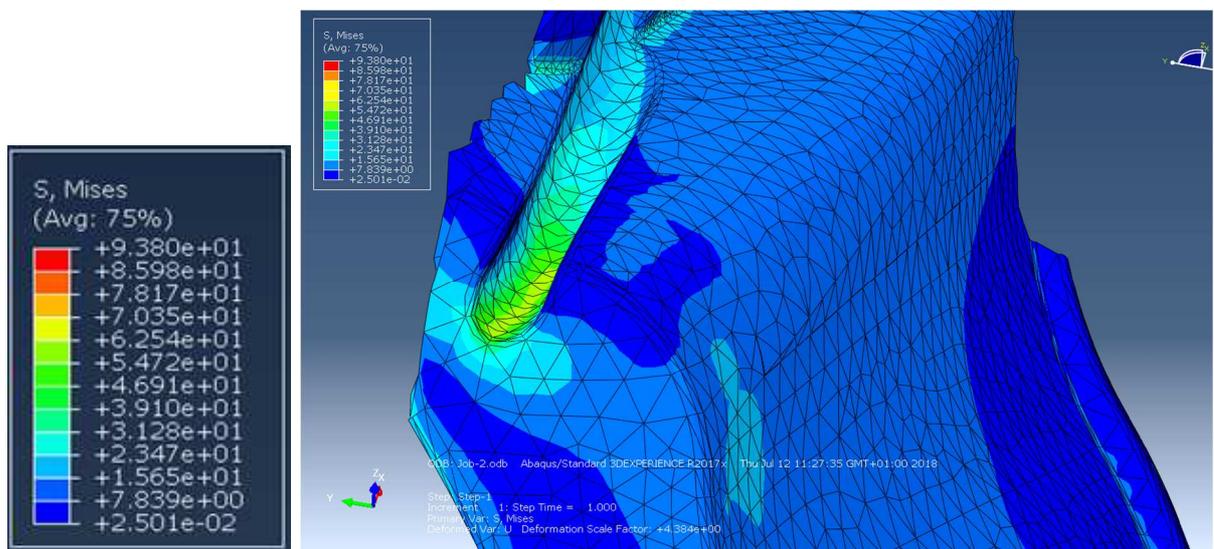


Figura 92 Vista da ranhura longitudinal direita (Fonte própria)

Só através dos resultados da carga composta é que concluímos que as ranhuras, para o escoamento de fluidos, quer seja de gasolina ou de água, são os elementos limitadores do depósito. Tanto as ranhuras longitudinais como a transversal, apresentam valores de tensão máxima bem além da tensão limite de elasticidade de 48 MPa.

Na transversal apresenta um valor de tensão máxima na ordem dos 64 MPa e a ranhura longitudinal apresenta uma tensão máxima de pelo menos 55 MPa (Figuras 93 e 94).

Da mesma maneira que foi feito para a carga lateral, simulou-se também para uma carga composta mas do lado oposto do depósito, na extremidade traseira do lado esquerdo (Figura 95).

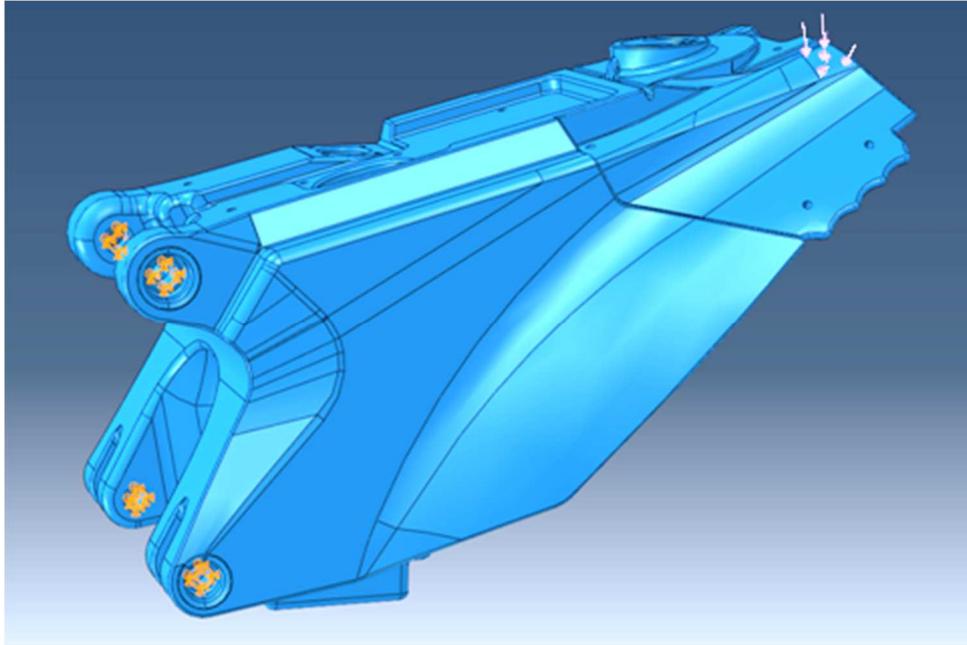


Figura 93 Carga composta esquerda e condições de fronteira do depósito em Abaqus (Fonte própria)

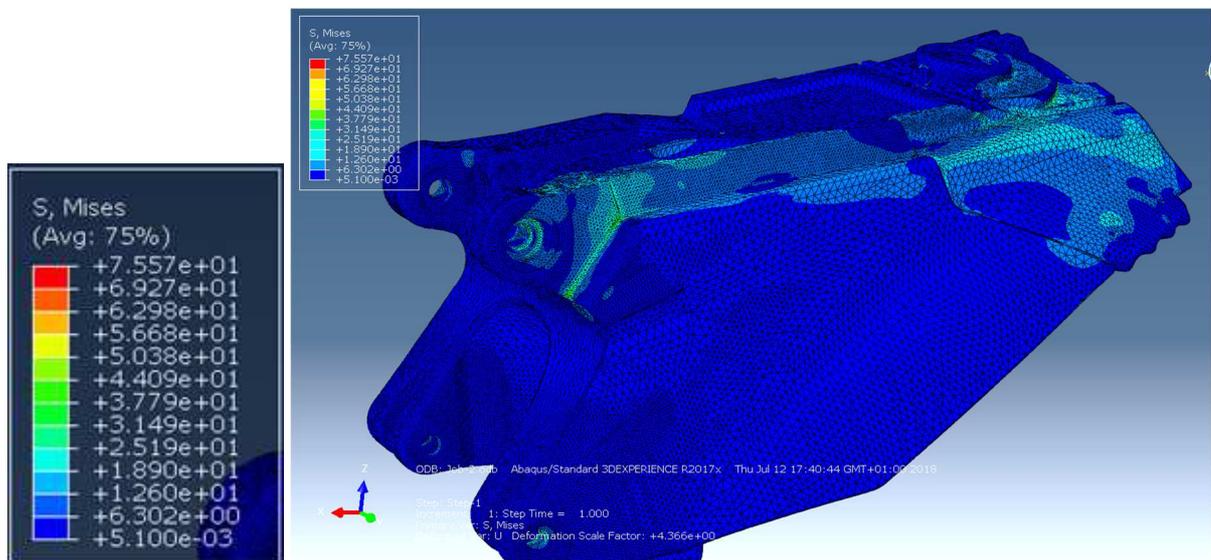


Figura 94 Vista geral do depósito após simulação da carga composta esquerda (Fonte própria)

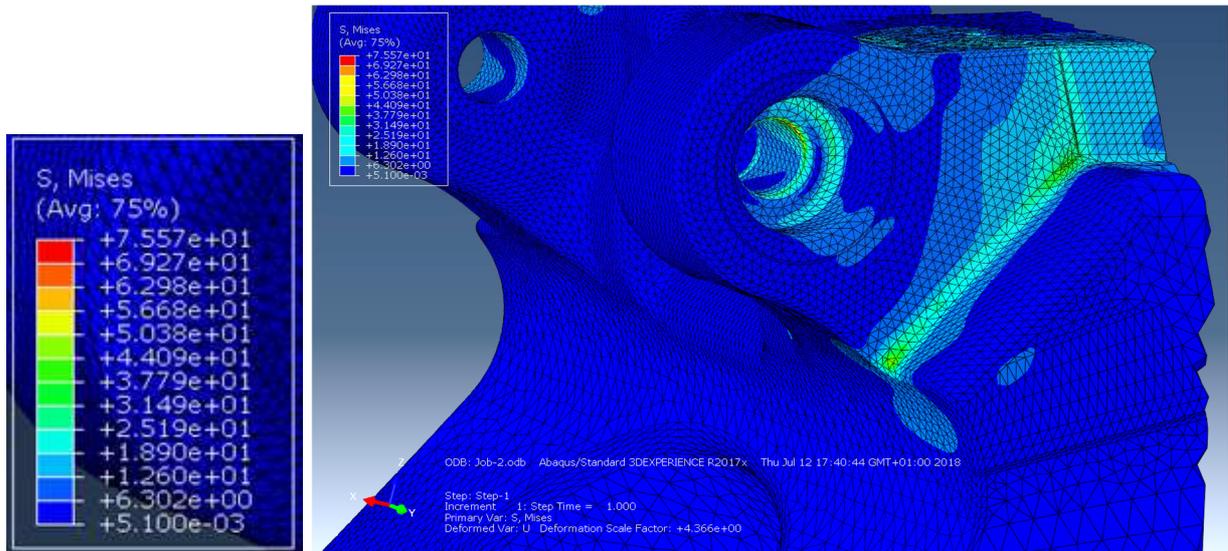


Figura 95 Vista dos apoios superiores (Fonte própria)

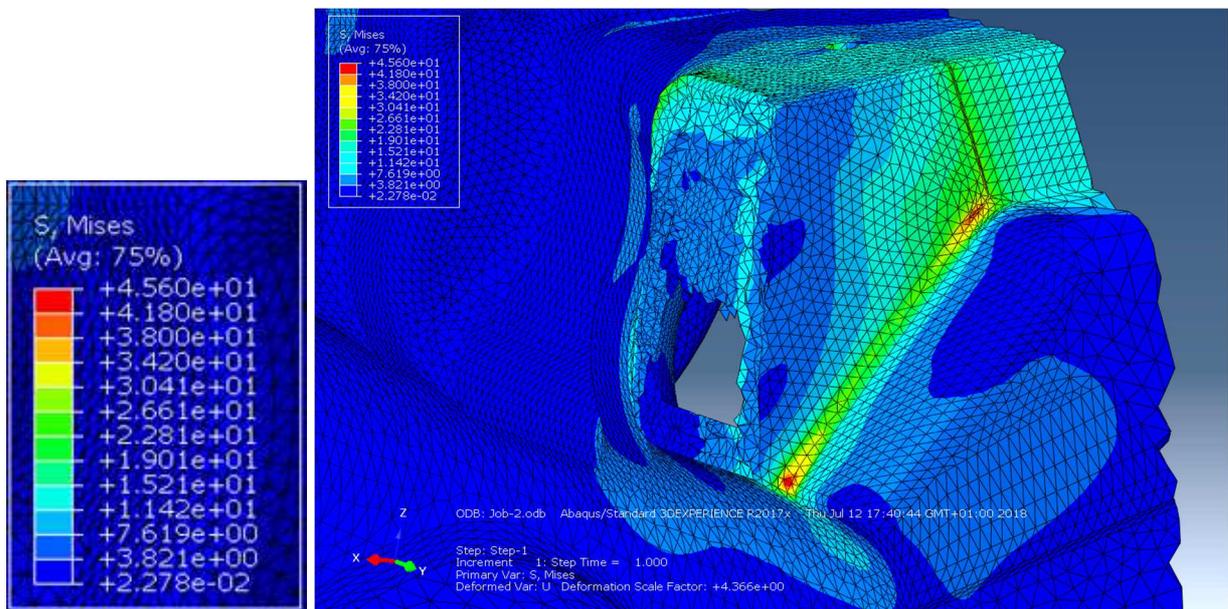


Figura 96 Vista do apoio superior esquerdo (Fonte própria)

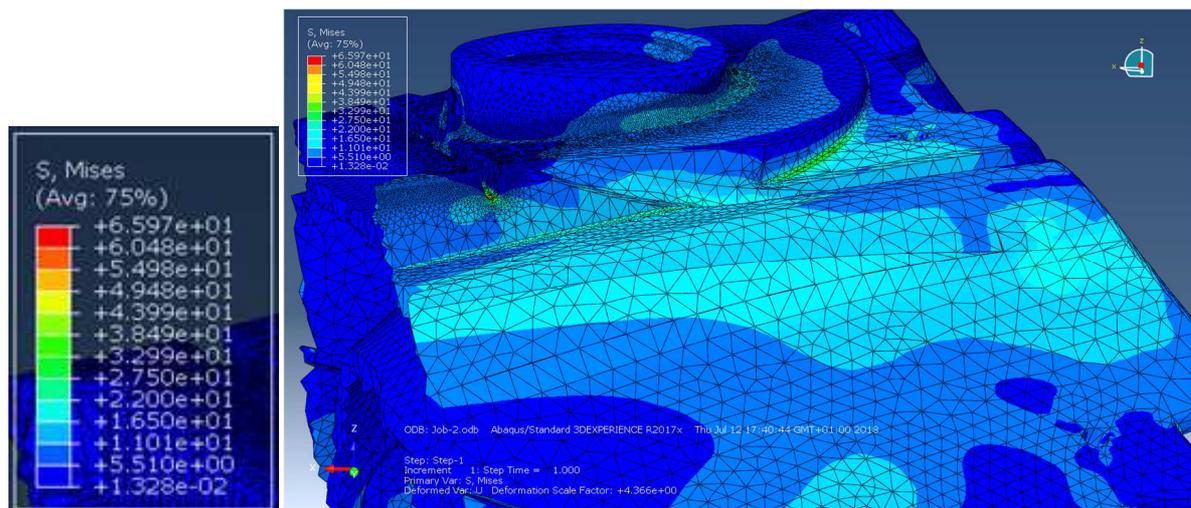


Figura 97 Vista da parte de trás do depósito, no local da aplicação da força (Fonte própria)

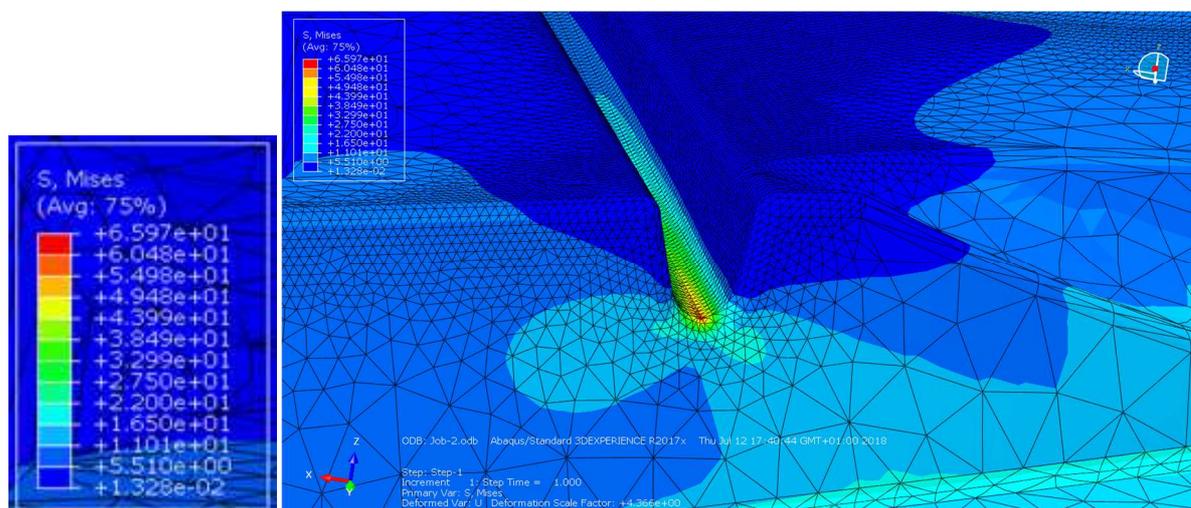


Figura 98 Vista da ranhura transversal (Fonte própria)

Os valores das tensões desta simulação não se alteraram significativamente para alterar a conclusão feita após a primeira simulação da carga composta (Figuras 96 a 100).

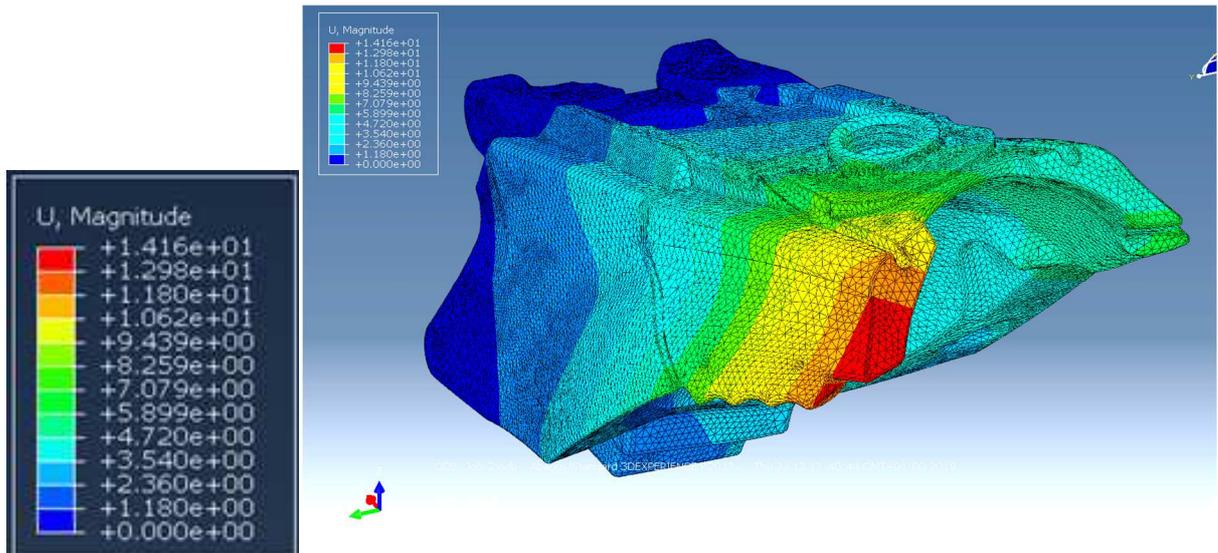


Figura 99 Deformações resultantes da carga composta esquerda (Fonte própria)

O valor do deslocamento vertical no caso da carga composta não ultrapassa o valor da carga lateral, sendo também de 14 mm (Figura 101).

5.4 Conclusões

As alterações introduzidas no segundo depósito, comparativamente com o primeiro, foram claramente significativas e tiveram uma grande influência na resistência mecânica.

Para além de reduzir em 47% no caso da carga vertical e em 40% no caso da carga lateral, os valores de carga máxima suportada, alterou também os locais onde os valores das tensões máximas eram atingidas.

Podemos concluir que o que limita a capacidade do depósito aguentar cargas de ordens de grandeza maiores, são as ranhuras para o escoamento de fluidos.

Capítulo 6

Conclusão e Recomendações

6.1 Conclusão

Os passos executados relativamente às simulações, tiveram sempre uma aplicação real, em contexto empresarial e com todas as implicações inerentes ao processo de desenvolvimento de um produto, que nem sempre coincide com a fundamentação teórica (prazos impostos à empresa devido a fornecedores ou atrasos causados por factores externos à empresa).

Relativamente ao depósito, podemos concluir que as ranhuras inseridas, com o propósito de escoar fluidos que se possam acumular na zona debaixo do assento, são os factores limitadores do comportamento mecânico no caso de solicitações de carga provocadas por uma queda violenta sofrida pelo motociclo. As ranhuras promovem a concentração de tensões indesejadas, que limitam em demasia a resistência mecânica do depósito.

6.2 Recomendações

Se as ranhuras forem totalmente imprescindíveis para a integração do depósito na mota, podem-se considerar as seguintes alterações:

- Alterar a forma geométrica da ranhura transversal, reduzindo a profundidade e aumentando a largura, e, se possível, reduzir o comprimento da ranhura;
- Alterar a orientação da ranhura transversal, de modo a não promover uma concentração de tensões tão elevada. Em vez de introduzir uma ranhura de lado a lado, introduzir duas ranhuras, com um ângulo entre elas (Figura 102);
- Alterar a forma geométrica das ranhuras longitudinais, reduzindo a profundidade, visto serem relativamente largas, e, se possível, reduzir ao comprimento.

Caso as ranhuras deixem de ser o factor limitador do depósito após estas alterações terem sido implementadas, muito provavelmente passarão a ser os apoios superiores do depósito.

Nesse caso podem-se considerar as seguintes alterações:

- Eliminar a transição tão acentuada entre a parte do depósito e os apoios, no qual é criado um raio de concordância muito pequeno;
- Aumentar o raio de concordância da transição dos apoios para o depósito.

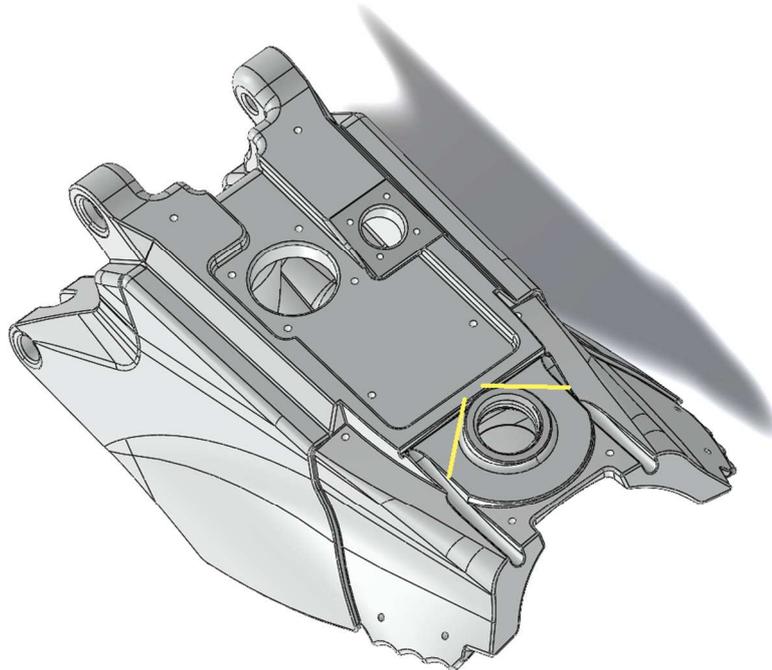


Figura 100 Sugestão de nova orientação das novas ranhuras a laranja (Fonte própria)

Com base nas simulações efetuadas da versão dita final do depósito foi possível em conjunto com a AJP otimizar a geometria do depósito, eliminando a ranhura transversal de escoamento de líquidos, e trabalhar a zona dos apoios superiores do depósito, criando uma concordância mais suave na transição dos apoios para o depósito (Figuras 103 e 104).

Esta nova geometria do depósito encontra-se em trabalho de validação estrutural utilizando o software Abaqus, não sendo á data de escrita desta tese possível apresentar os respetivos resultados.



Figura 103 Vista da zona das ranhuras de escoamento de líquidos do depósito otimizado (Source: AJP Motos)

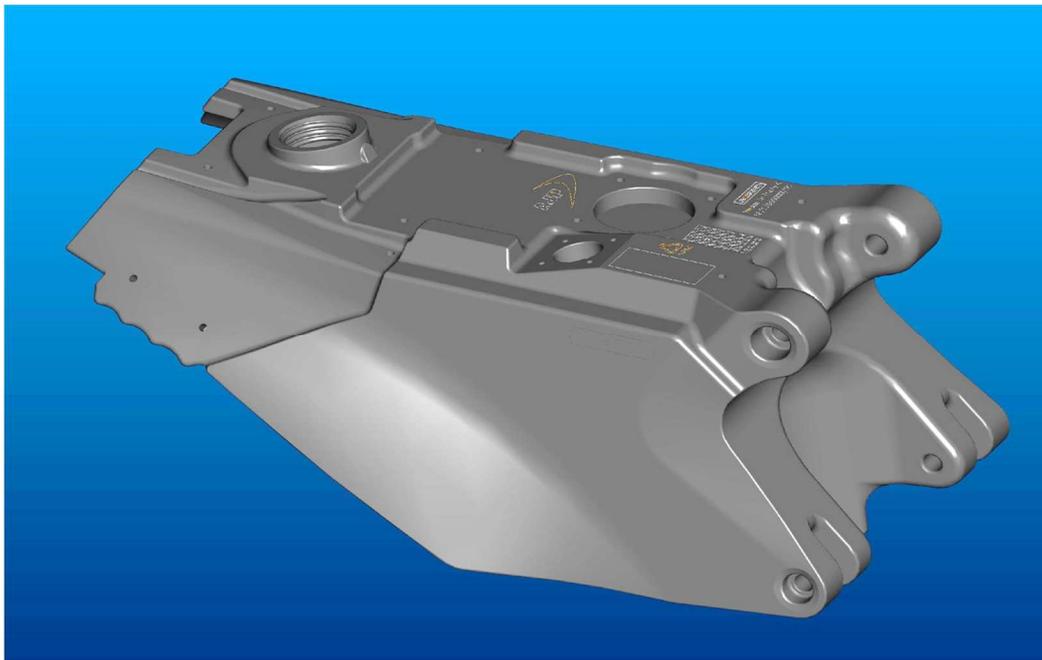


Figura 101 Vista geral do depósito otimizado (Source: AJP Motos)

Referências

- [1] Oliveira, Miguel “Validação Estrutural de um novo conceito de chassis de motocicleta”, Tese de Mestrado, FEUP 2008, Porto
- [2] <https://www.theplasticprofessionals.com/rotational-molding>, Acesso em 30 de Abril de 2018.
- [3] Ward, Noel M. (Winter 1997). “A History of Rotational Moulding”
- [4] <http://tanksuk.co.uk/2-history-rotomoulding>, Acesso em 30 e Abril de 2018.
- [5] John Vogler (1984). “Small Scale Recycling of Plastics”. Intermediate Technology Publication, ISBN-13:978-9994172795.
- [6] <https://rotoworldmag.com/about-rotomolding>, Acesso em 30 e Abril de 2018.
- [7] Beall, Glenn (1998). “Rotational Molding: Design, Materials, Tooling, and Processing”. Hanser Gardner Publications, ISBN:1569902607, 9781569902608.
- [8] SolidWorks, 3D CAD design software, Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp.
- [9] ACERBIS: 5ATE004 - PA6 ARamid Technical Specifications (16/02/2016)
- [10] Abaqus FEA Software, Dassault Systèmes.
- [11] F. Teixeira-Dias, J. Pinho-da-Cruz, R.A. Fontes Valente, R.J. Alves de Sousa (2010). “Método dos Elementos Finitos. Técnicas de Simulação Numérica em Engenharia”, ETEP, 2010. ISBN: 978-972-8480-25-7