



**Universidade de  
Aveiro**  
2022

**João Pedro Silva  
Carvalho**

**Estudo da implementação de tanques em  
plástico reforçado com fibra de vidro em  
viaturas de combate a incêndios**





**Universidade de  
Aveiro**

**2022**

**João Pedro Silva  
Carvalho**

**Estudo da implementação de tanques em  
plástico reforçado com fibra de vidro em  
viaturas de combate a incêndios**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Alfredo Manuel Balacó de Morais, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e supervisão do Eng. Ricardo Machado da Jacinto Marques De Oliveira, Sucessores, Lda.



**o júri**

Presidente

**Professor Doutor António Manuel de Bastos Pereira**  
Professor Associado C/ Agregação, Universidade de Aveiro

Arguente

**Prof. Doutor José Luís Soares Esteves**  
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientador

**Prof. Doutor Alfredo Manuel Balacó de Morais**  
Professor Associado, Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Quero, desde já, agradecer à Universidade de Aveiro, pela qualidade de ensino proporcionada ao longo dos últimos anos, e a todos os professores que, de certa forma, contribuíram para um bom percurso académico.

Ao Prof. Alfredo Morais por todo o interesse que demonstrado e pelo acompanhamento, orientação e suporte dados ao longo do trabalho.

À Jacinto Marques De Oliveira, pela oportunidade de realizar este trabalho nas suas instalações e por fornecer os meios necessários ao cumprimento dos objetivos propostos.

Aos Engs. Ricardo Machado, Rafael Oliveira, André Castro e restantes e ao Sr. Óscar Resende pelo acolhimento na empresa, pela disponibilidade e por toda ajuda prestada no trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso por toda a ajuda e suporte que me deram ao longo do curso.

Um especial agradecimento ao meu pai, à minha irmã e à minha namorada por serem os grandes pilares da minha vida e pelo apoio incondicional que me deram ao longo do curso.

E por fim, à minha mãe que apesar de não estar presente fisicamente, estará sempre comigo e será sempre importante na minha vida.



**palavras-chave**

Aço inox AISI 316L; Compósitos de Matriz Polimérica; Veículos de combate a incêndio; Tanques de água; Compósitos reforçados com fibra de vidro; GRP

**resumo**

Este trabalho teve por enquadramento um Estágio realizado na empresa Jacinto Marques de Oliveira, que fabrica atualmente tanques de água de veículos de combate a incêndio em aço inoxidável. O principal objetivo proposto consistiu no estudo da substituição do aço inoxidável por um material compósito de matriz polimérica, solução que tem vindo a ser adotada por vários fabricantes internacionais no sentido de reduzir peso e custos.

Procedeu-se inicialmente a uma pesquisa bibliográfica sobre as normas relativas aos veículos de combate a incêndio, com ênfase nos requisitos impostos aos tanques de água. Seguidamente, identificaram-se os principais fabricantes nacionais e internacionais, as várias categorias de veículos usados, e as soluções existentes para tanques de água ao nível dos materiais, processos de fabrico e montagem nos veículos. A pesquisa realizada confirmou o uso crescente de polímeros e compósitos de matriz polimérica nos tanques de água, e permitiu saber quais os polímeros e fibras com as propriedades mecânicas e durabilidade mais adequadas a esta aplicação.

Seguidamente, selecionou-se o tanque de um veículo atualmente fabricado pela empresa Jacinto Marques de Oliveira em aço inoxidável para desenvolver e comparar um projeto alternativo em material compósito de matriz polimérica. Face à pesquisa efetuada, optou-se por um polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro para este projeto. A informação obtida junto de fabricantes indicou as espessuras das chapas a usar neste novo material, que são substancialmente superiores às das chapas de aço. Por outro lado, procurou-se preservar as restantes formas e dimensões externas.

Usando um software de modelação 3D, procedeu-se ao desenho do tanque, incluindo acessórios e ligações ao veículo. A resistência mecânica e rigidez foram avaliadas através de simulações por elementos finitos. Seguindo uma metodologia proposta em estudos publicados, consideraram-se vários casos de solicitação envolvendo as cargas associadas à movimentação da água no tanque provocada em diversas situações de circulação do veículo. Neste estudo tomaram-se por referências as tensões e deslocamentos no tanque de aço,

que foi também modelado, bem como alguns valores limite sugeridos em estudos publicados. As análises por elementos finitos mostraram serem necessários alguns reforços locais, mas, globalmente, permitiram confirmar uma diminuição de peso de cerca de 40% relativamente ao tanque de aço inoxidável.

Finalmente, fez-se uma análise comparativa a nível de custos, suportada por dados da empresa e por orçamentos obtidos de fornecedores. Face às incertezas nos custos de fabrico neste novo material, a comparação cingiu-se aos custos de materiais, tendo-se atingido uma redução de cerca de 15% nesta categoria.

Por conseguinte, este estudo confirma as vantagens da utilização de compósitos de matriz polimérica nos tanques de água de veículos de combate a incêndio. As vantagens poderão até ser mais significativas mediante melhorias no projeto e reduções dos custos de aquisição de materiais.



**keywords**

Stainless Steel AISI 316L; Polymer Matrix Composites; fire fighting vehicles; Water Tanks; Glass fiber-reinforced composites; GRP

**abstract**

This work was based on an internship carried out at Jacinto Marques de Oliveira, which currently manufactures stainlesssteel water tanks fire fighting vehicles. The main objective proposed was the study of the replacement of stainless steel by a polymer matrix composite material, a solution that has been adopted by several international manufacturers to reduce weight and costs. Bibliographical research was initially carried out on the rules on firefighting vehicles, with emphasis on the requirements imposed on water tanks. Next, the main national and international manufacturers, the various categories of used vehicles, and the existing solutions for water tanks in terms of materials, manufacturing processes and assembly in vehicles were identified. The research confirmed the growing use of polymers and polymer matrix composites in water tanks and allowed us to know which polymers and fibers have the most appropriate mechanical properties and durability for this application. Subsequently, the tank of a vehicle currently manufactured by Jacinto Marques de Oliveira in stainless steel was selected to develop and compare an alternative design in polymer matrix composite material. In view of the research, we opted for a polypropylene copolymer reinforced with fiberglass for this project. The information obtained from manufacturers indicated the thickness of the plates to be used in this new material, which are substantially higher than those of the steel plates. On the other hand, we tried to preserve the other external shapes and dimensions. Using 3D modeling software, the tank was designed, including accessories and connections to the vehicle. Mechanical strength and stiffness were evaluated by finite element simulations. Following a methodology proposed in published studies, several cases of request involving the loads associated with the movement of water in the tank caused in various situations of vehicle circulation were considered. In this study, the stresses and displacements in the steel tank, which was also modelled, as well as some limit values suggested in published studies were used. Finite element analyses showed that some local reinforcements were needed, but overall, they confirmed a weight reduction of about 40% compared to the stainless-steel tank. Finally, a comparative cost analysis was made, supported by company

data and budgets obtained from suppliers. In view of the uncertainties in the manufacturing costs of this new material, the comparison was based on material costs and a reduction of around 15% in this category was achieved. Therefore, this study confirms the advantages of using polymer matrix composites in water tanks of fire fighting vehicles. The advantages may even be more significant through design improvements and reductions in material acquisition costs.



# Índice

1. INTRODUÇÃO .....	3
1.1. Estrutura do documento .....	3
1.2. Motivação.....	3
1.3. Objetivos .....	3
2. Revisão do estado de desenvolvimento.....	7
2.1. Os veículos de combate a incêndio na indústria automóvel .....	7
2.2. Normas dos veículos de combate a incêndios .....	9
2.3. O mercado de veículos de combate a incêndio .....	9
2.3.1. A empresa Rosenbauer .....	10
2.3.2. A empresa Magirus .....	11
2.3.3. O Iturri Group .....	13
2.3.4. O Gimaex Group.....	13
2.3.5. A empresa Volkan .....	15
2.3.6. Estudo do Mercado Nacional .....	16
2.3.6.1. A empresa LUÍS FIGUEIREDO.....	16
2.4. O tanque de água – características gerais.....	18
2.5. Tanques de água em aço inoxidável .....	18
2.5.1. Aço AISI 316L .....	18
2.5.2. Processos de fabrico dos tanques em aço inoxidável AISI 316L .....	20
2.6. Tanques de água em materiais compósitos.....	23
2.6.1. Matrizes termoendurecíveis .....	24
2.6.2. Matrizes termoplásticas.....	25
2.6.2.1. Polipropileno (PP).....	26
2.6.2.2. Polietileno (PE) .....	27
2.6.3. As fibras .....	28
2.6.3.1. Fibras de vidro .....	29
2.6.3.2. Fibras de carbono.....	29
3. A Empresa Jacinto Marques de Oliveira, Sucrs. Lda.....	36
3.1. História e estrutura atual .....	36
3.2. Tipologias de veículos de combate a incêndio.....	37
4. Estudo de modelo do tanque de aço inoxidável produzido pela JMO .....	41
4.1. O modelo escolhido: características e detalhes construtivos.....	41
4.2. Cálculo dos custos de fabrico do tanque em aço inoxidável 316L.....	45

4.2.1.	Custos de mão-de-obra.....	45
4.2.2.	Custos de materiais.....	46
4.2.3.	Outros Custos.....	46
4.2.4.	Custo total.....	47
5.	Estudo de modelo do tanque em polímero reforçado com fibra de vidro.....	50
5.1.	Seleção do material.....	50
5.2.	Características do material escolhido.....	51
5.3.	Dimensionamento do tanque.....	53
5.4.	Análise de tensões e deformações do modelo inicial do tanque.....	54
5.4.1.	Aceleração repentina.....	59
5.4.2.	Travagem emergência.....	63
5.4.3.	Curva à direita.....	66
5.4.4.	Condução acidentada.....	70
5.5.	Montagem do tanque na superestrutura após as alterações efetuadas.....	76
5.6.	Cálculo dos custos de fabrico do tanque em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro.....	76
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
6.1.	Conclusões.....	80
6.2.	Desenvolvimentos futuros.....	81
	Referências Bibliográficas.....	83
	Anexos.....	89
	Anexo I – Identificação dos vários componentes do tanque em aço Inox 316L do VFCI de Silves da JMO.....	90
	Anexo II – Cálculo detalhado dos custos associados à mão-de-obra.....	95
	Anexo III – Custos das chapas de aço inoxidável 316L adquiridas mais recentemente pela JMO.....	96
	Anexo IV – Cálculo detalhado dos custos de materiais do tanque em aço inoxidável 316L do VFCI de Silves da JMO.....	97
	Anexo V – Modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro.....	101
	Anexo VI – Custos de aquisição e propriedades das chapas de polipropileno copolímero dos diferentes fornecedores consultados.....	103
	Anexo VII – Cálculo detalhado dos custos de materiais do do modelo do tanque em polipropileno copolímero do VFCI de Silves da JMO.....	105

# Índice de Figuras

Figura 1 - Materiais usados nos vários componentes da indústria automóvel e respetiva percentagem no peso do veículo (Mallick P. K., 2010). .....	7
Figura 2 - Alguns dos modelos de veículos de incêndio da JMO, entre os quais os VECl (Veículo Especial de Combate a Incêndios), VUCI, ARFF (Veículo de resgate e combate a incêndios em aeroportos) e VFCl respetivamente (Jacinto, Catálogo de veículos Jacinto, 2020). .....	8
Figura 3 - Modelo MT Industrial e Forest Firefighting Vehicles da categoria de veículos Industrial and Special. O primeiro está equipado com um tanque em polipropileno com capacidades que variam entre os 2000 e os 20000 litros e o segundo está equipado com um tanque de agente extintor, sistema de bomba e equipamentos de proteção (Rosenbauer, Industrial and Special Vehicles, 2020-b). .....	10
Figura 4 - Modelo AT (Advanced Technology) da categoria de veículos Municipais. Equipado com um tanque em polietileno com capacidades que variam entre os 500 e os 5500 litros (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d). .....	11
Figura 5 - Modelo MT Municipal (Modular Technology) da categoria de veículos Municipais. Equipado com um tanque em polipropileno com capacidades que variam entre os 2000 e os 20000 litros (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d). .....	11
Figura 6 - Exemplificação do conceito do tanque interno da Magirus (Magirus, Group Presentation, 2022-a).....	12
Figura 7 - Exemplificação do conceito do tanque externo da Magirus (Magirus, Group Presentation, 2022-a).....	12
Figura 8 - Estrutura ALUFIRE 3, em alumínio, da Magirus (Magirus, Fire-Fighting Vehicles and Tank Pumpers, 2022-b). .....	13
Figura 9 - Modelo Medium Range da categoria de veículos de incêndio da Iturra com a carroçaria em EcoPolyFire (EPF) (Iturri, Wildfire Vehicles, 2022-c). .....	13
Figura 10 - Veículo Renault de combate a incêndios da Gimaex, modelo veículo resgate rodoviário, com um tanque de água em polietileno com capacidade para 3050 litros (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b). .....	14
Figura 11 - Veículo de espuma de alta potência e veículo de intervenção de espuma da Gimaex, com tanques de água em resina de poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro com capacidade para 9500L e 2900 litros, respetivamente (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b). .....	14
Figura 12 - Veículo camião-tanque de incêndio florestal e veículo super-camião-tanque de incêndio florestal da Gimaex, com tanques de água em aço inoxidável com capacidade de 3900 litros e 11450 litros, respetivamente (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b).....	15
Figura 13 - Exemplo de um veículo Urbano da Volkan (Volkan, Vehicles - Urban Type, 2022-b)]. .....	16
Figura 14 - Exemplos de VFCl produzidos na Luís Figueiredo (Figueiredo, 2022).....	17
Figura 15 - Exemplos de VUCI produzidos na Luís Figueiredo (Figueiredo, 2022). .....	17
Figura 16 - Veículo VFCl 04, modelo Iveco ML 150 E28 WS e veículo VFCl 02, modelo Mercedes-Benz Atego 1330 AF da Tugafire. Equipados com um tanque em alumínio com capacidade de 3300 litros 3500 litros, respetivamente (Tugafire, Veículo Florestal de Combate a Incêndios, 2022-b). .....	17
Figura 17 - Esquema das várias fases de produção dos tanques de água em aço AISI 316L da empresa JMO. .....	20
Figura 18 - Exemplo de um veículo desenhado no Inventor na fase de projeto pela JMO. ....	20

Figura 19 - Serrote utilizado na JMO para cortar os tubos necessários à construção do tanque. .....	21
Figura 20 - Exemplo de algumas chapas antes e depois de serem cortadas e quinadas.....	21
Figura 21 - Guilhotina utilizada para o corte das chapas dos tanques de água da JMO.....	21
Figura 22 - Quinadora utilizada para dobragem das chapas dos tanques de água da JMO. ....	22
Figura 23 - Acessórios fornecidos pelo armazém necessários à construção dos tanques de água da JMO. ....	22
Figura 24 - Processo de furação das chapas necessárias aos tanques da JMO de água através de corte por plasma. ....	22
Figura 25 - Processo de soldadura das chapas, tubagens e respetivos acessórios de forma a concluir a construção dos tanques de água da JMO.....	22
Figura 26 - Fase de testagem, lavagem e decapagem dos tanques de água da JMO. ....	23
Figura 27 - Montagem dos tanques de água da JMO na superestrutura dos veículos a que se destinam.....	23
Figura 28 - Corte das placas de co-polímero de polipropileno ou polietileno na máquina CNC (Group, 2015). ....	31
Figura 29 - Desenho em CAD 3D do produto (Group, 2015).....	31
Figura 30 - Pintura do produto (Group, 2015). ....	31
Figura 31 - As peças cortadas são quinadas e/ou soldadas por extrusão (Group, 2015). ....	31
Figura 32 - Colagem de peças de inserção de aço inoxidável em painéis de parede em GRP usados num tanque de retenção de água de um veículo de bombeiros auto-portante (Limited, 2015). ....	33
Figura 33 - Sede da empresa JMO.....	36
Figura 34 - Estrutura organizacional da empresa. ....	37
Figura 35 - VFCl de Silves em fase de produção na JMO.....	41
Figura 36 - Desenho 3D do tanque principal e de refrigeração do VFCl de Silves da JMO. ....	42
Figura 37 - Vista em corte do tanque de água do VFCl de Silves da JMO, com especial incidência nos tubos de abastecimento e no tampão. ....	43
Figura 38 - Detalhe das flanges de refrigeração situadas no fundo do tanque de emergência. ....	43
Figura 39 - Detalhes associados à sucção da água do tanque principal do VFCl de Silves da JMO. ....	44
Figura 40 -. Respiros e entrada visita do VFCl de Silves da JMO. ....	44
Figura 41 - Exemplo de um tanque de água para veículos de combate a incêndio produzido na ZHT Group feito em polipropileno copolímero (Group, 2015). ....	53
Figura 42 - Comparação da forma obtida na modelação do tanque alternativo (parte acima da figura) com o tanque original do VFCl de Silves da JMO (parte abaixo da figura).....	53
Figura 43 - Ligações entre chapas no software Stress Analysis para simular as soldaduras que as unem. ....	57
Figura 44 - Superestrutura utilizada no VFCl de Silves pela JMO, na qual o tanque é fixado.....	57
Figura 45 - Montagem dos dois tanques (em aço e em polipropileno) na superestrutura desenhada para o VFCl de Silves da JMO.....	57
Figura 46 - Condições de fronteira relativas ao contacto entre superestrutura e tanque. ....	58
Figura 47 - Malha de elementos finitos gerada através da função Mesh disponível no software Stress Analysis do inventor. ....	58
Figura 48 - Montagem do tanque na parte da superestrutura considerada para a análise do cenário da condução acidentada. ....	59
Figura 49 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de aceleração repentina. ....	59

Figura 50 - Tensões de Von Mises no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 21,57 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 11,52 MPa.....	60
Figura 51 - Primeira tensão principal no cenário da aceleração repentina: Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 9,671 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 4,80 MPa.....	60
Figura 52 - Terceira tensão principal no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 1,13 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,03 MPa. ....	60
Figura 53 - Deslocamentos no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,054 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 1,706 mm. ....	61
Figura 54 - Fator de segurança no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 14,89; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15. ....	61
Figura 55 - Exemplo de peças em aço inoxidável aparafusadas e, posteriormente, coladas com resina a uma placa de fibra de vidro utilizada noutra obra da JMO. ....	62
Figura 56 - Reforço das zonas críticas identificadas no cenário de aceleração repentina por forma a diminuir os deslocamentos obtidos.....	62
Figura 57 - Resultados obtidos no cenário de aceleração repentina após a aplicação dos reforços nas zonas de passagem da água entre as anteparas para o tanque em polipropileno copolímero. Tensão máxima de Von Mises de 10,05 MPa; primeira tensão máxima principal de 3,483 MPa; terceira tensão máxima principal de 0,86 MPa; deslocamento máximo de 0,615 mm; fator de segurança aumentou para 15. ....	63
Figura 58 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de travagem de emergência. ....	63
Figura 59 - Tensões de Von Mises no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 88,46 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 7,753 MPa.....	64
Figura 60 - Primeira tensão principal no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 31,85 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 8,155 MPa.....	64
Figura 61 - Terceira tensão principal no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 4,67 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,857 MPa. ....	65
Figura 62 - Deslocamentos no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,2445 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 2,94 mm. ....	65
Figura 63 - Fator de segurança no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 3,59; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 8,8. ....	65
Figura 64 - Resultados obtidos no cenário de travagem emergência com a aplicação dos reforços nas zonas de passagem da água entre as anteparas para o tanque em polipropileno copolímero. tensão máxima de Von Mises de 3,812 MPa; primeira tensão máxima principal de 4,332 MPa; terceira tensão máxima principal de 1,497 MPa; deslocamento máximo de 0,921 mm; fator de segurança aumentou para 15. ....	66
Figura 65 - Cargas distribuídas aplicadas nas chapas dos tanques no cenário de curva à direita. ....	66

Figura 66 - Tensões de Von Mises no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 22,09 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 2,295 MPa. ....	67
Figura 67 - Primeira tensão principal no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima 5,102 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 2,746 MPa. ....	67
Figura 68 - Terceira tensão principal no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 1,01 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 0,696 MPa. ....	68
Figura 69 - Deslocamentos no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,065 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 0,9252 mm. ....	68
Figura 70 - Fator de segurança no cenário curva à direita. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 14,36; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15. ....	68
Figura 71 - Alterações efetuadas após a análise do cenário da curva à direita: 1) estrutura inicial desenvolvida pela JMO; 2) colocação de duas barras a fornecer suporte à chapa lateral do tanque de refrigeração. ....	69
Figura 72 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário de curva à direita com as alterações efetuadas: tensão máxima de Von Mises de 0,728 MPa; primeira tensão máxima principal de 0,796 MPa; terceira tensão máxima principal de 0,390 MPa; deslocamento máximo de 0,1317 mm; fator de segurança 15. ....	70
Figura 73 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de condução acidentada. ....	70
Figura 74 - Tensões de Von Mises no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 19,87 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 5,712 MPa. ....	71
Figura 75 - Primeira tensão principal no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 17,37 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 7,976 MPa. ....	71
Figura 76 - Terceira tensão principal no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 6,72 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,697 MPa. ....	72
Figura 77 - Deslocamentos no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,2348 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 0,2385 mm. ....	72
Figura 78 - Fator de segurança no cenário da condução acidentada: Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 15; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15. ....	72
Figura 79 - Alterações efetuadas após a análise do cenário da condução acidentada: 1) estrutura inicial desenvolvida pela JMO; 2) colocação de mais uma barra a fornecer suporte à chapa de fundo do tanque de refrigeração. ....	73
Figura 80 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário da condução acidentada com as alterações efetuadas. Tensão máxima de Von Mises de 8,453 MPa; primeira tensão máxima principal 8,289 MPa; terceira tensão máxima principal de 1,55 MPa; deslocamento máximo de 0,2436 mm; fator de segurança 15. ....	74
Figura 81 - Reforço da zona do copo de sucção, no cenário da condução acidentada, por forma a diminuir os deslocamentos obtidos e as tensões nessa zona. ....	75

Figura 82 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário da condução acidentada com os reforços na zona do copo de sucção. Tensão máxima de Von Mises de 8,155 MPa; primeira tensão máxima principal 10,81 MPa; terceira tensão máxima principal de 5,20 MPa; deslocamento máximo de 0,3599 mm; fator de segurança 15. ....	75
Figura 83 - Montagem do tanque sem/com componentes na superestrutura, incluindo os reforços introduzidos na zona do tanque de refrigeração. ....	76

# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Composição química do aço inoxidável AISI 316L (% em peso) (EduPack, 2019).....	19
Tabela 2 - Propriedades mecânicas, térmicas e físicas do aço inoxidável AISI 316L (EduPack, 2019) .....	19
Tabela 3 - Propriedades mecânicas das resinas Poliéster e Epóxidas (Lariviere, 2004). .....	25
Tabela 4 - Propriedades dos principais tipos de polipropilenos (EduPack, 2019). .....	27
Tabela 5 - Algumas propriedades do PEBD (Coutinho, 2003). .....	28
Tabela 6 - Algumas propriedades do PEAD (Coutinho, 2003). .....	28
Tabela 7 - Algumas propriedades das classes E e S de fibra de vidro (Lyu, 2015). .....	29
Tabela 8 - Propriedades dos tipos de fibras de carbono mais utilizadas (Campbell, 2010).....	30
Tabela 9 - Quadro resumo das características de alguns modelos de veículos VUCI fornecidos pela JMO (Jacinto, Catálogo de veículos Jacinto, 2020). .....	38
Tabela 10 - Capacidade dos reservatórios (água e emergência) e do peso total do tanque do VFCI de Silves da JMO. ....	45
Tabela 11 - Cálculo dos custos de mão-de-obra na produção do tanque de água do VFCI de Silves da JMO.....	46
Tabela 12 - Cálculo do custo total de materiais do VFCI de Silves da JMO. ....	46
Tabela 13 - Cálculo de outros custos associados à construção do tanque de água do VFCI de Silves da JMO.....	47
Tabela 14 - Custo total estimado de produção do tanque em aço inoxidável 316L do VFCI de Silves da JMO.....	47
Tabela 15 - Propriedades do Polystone P copolymer utilizado pela ZHT Group na produção dos tanques de água (Roehling, 2022). .....	51
Tabela 16 - Comparação das propriedades dos copolímeros reforçados com fibra de vidro (EduPack, 2019). .....	52
Tabela 17 - Comparação da massa e capacidade do tanque original com o modelo inicial do tanque em compósito do VFCI de Silves da JMO. ....	54
Tabela 18 - Condições de carga para os vários cenários criados ( $g$ =aceleração gravítica; $m$ =massa resultante da massa volúmica do fluido e do material usado no tanque (Collotta, 2017). .....	55
Tabela 19 - Cálculo da massa total do modelo do tanque em aço inoxidável 316L com base nas densidades deste e do fluido. ....	55
Tabela 20 - Cálculo da massa total do modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero com base nas densidades deste e do fluido.....	56
Tabela 21 - Valores das forças obtidas em cada cenário considerado para análise do tanque em aço inoxidável AISI 316L ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ). .....	56
Tabela 22 - Valores das forças obtidas em cada cenário considerado para análise do tanque em polipropileno copolímero ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ). .....	56
Tabela 23 - Valores calculados para as cargas distribuídas (MPa) a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de aceleração repentina. ....	59
Tabela 24 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de travagem de emergência. ....	64
Tabela 25 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de curva à direita.....	67
Tabela 26 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas aplicadas nas chapas no cenário de condução acidentada. ....	71

Tabela 27 - Cálculo do custo total de materiais no modelo desenvolvido em polipropileno  
copolímero reforçado com fibra de vidro. .... 77



# Capítulo 1

---

## INTRODUÇÃO



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Estrutura do documento

Este relatório divide-se em 6 capítulos brevemente descritos de seguida. No capítulo 1 referem-se as motivações que levaram à realização deste trabalho e são expostos os principais objetivos a atingir.

No capítulo 2 é realizado um enquadramento teórico quanto às várias áreas de estudo presentes, que serviu depois de suporte ao restante trabalho.

O capítulo 3 dedica-se à apresentação da empresa onde foi realizado o estágio, abordando a estrutura organizacional e a sua metodologia de funcionamento.

No capítulo 4 realiza-se um estudo detalhado do modelo de tanque fornecido pela Jacinto Marques De Oliveira, Sucessores, Lda. Este modelo constitui a base para o desenvolvimento do restante trabalho.

O capítulo 5 descreve as tarefas realizadas no estágio de modo a atingir os objetivos propostos.

No capítulo 6 faz-se uma avaliação global do trabalho realizado e deixa-se algumas considerações para trabalhos futuros.

## 1.2. Motivação

O presente relatório foi fruto de um estágio curricular autoproposto realizado na empresa Jacinto Marques De Oliveira, Sucessores, Lda., que teve duração de aproximadamente 3,5 meses, com início a 28 de fevereiro de 2022 e fim a 03 de junho de 2022. A entidade de acolhimento, doravante designada JMO, tem como principal atividade a fabricação de superestruturas e montagem de viaturas de combate a incêndio, socorro e salvamento.

A principal motivação na realização do estágio foi beneficiar de uma primeira experiência de trabalho numa indústria de fabricação e montagem de veículos de combate a incêndio, em especial, no desenvolvimento dos tanques de água das viaturas de incêndio. Foi possível acompanhar todo o processo produtivo, desde a fase de desenvolvimento de projeto, passando pela fase de fabricação e, por fim, a entrega ao cliente. Neste contexto, o relatório de estágio contém uma caracterização dos processos associados ao desenvolvimento e fabrico dos tanques de água para as viaturas de combate a incêndio, e explora novas alternativas de materiais ao aço inoxidável recomendado nas normas.

## 1.3. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi a realização de um estudo comparativo das vantagens e desvantagens da utilização de materiais alternativos ao aço inoxidável em tanques de veículos de combate a incêndio,

material este que é usado na empresa JMO. Atendendo aos interesses da empresa, o estudo centrou-se nos plásticos reforçados com fibra de vidro, e deu atenção particular:

- Ao dimensionamento tendo por base a identificação das zonas potencialmente críticas em termos de tensões e deslocamentos;
- À estimativa de custos.

Para atingir estes objetivos, no presente trabalho:

- Considerou-se um modelo de tanque fabricado atualmente pela JMO em aço inoxidável, cujas dimensões externas foram mantidas no estudo do material alternativo;
- Selecionou-se um material compósito de matriz polimérica;
- Realizaram-se análises estruturais com base em modelos numéricos;
- Estimaram-se os custos a partir dos modelos e de dados obtidos de fabricantes

O resultado esperado era a demonstração do uso de plásticos reforçados com fibra de vidro como alternativa viável aos materiais convencionais usados nos tanques de água da JMO.

## **Capítulo 2**

---

**Revisão do estado de desenvolvimento**



## 2. Revisão do estado de desenvolvimento

### 2.1. Os veículos de combate a incêndio na indústria automóvel

A indústria automóvel é um dos maiores consumidores de materiais de construção do mundo (Shashank, 2016). Atualmente, segundo Pankaj Mallick (Mallick P. K., 2010), os materiais mais utilizados na construção dos vários componentes de automóveis são (figura 1): Aço, Ferro Fundido, Alumínio, Cobre, Polímeros e Compósitos de Matriz Polimérica, Elastómeros, Vidro, entre outros. O aço é o material mais usado na indústria automóvel devido à sua alta resistência e fiabilidade, correspondendo a 55% do peso total do veículo.

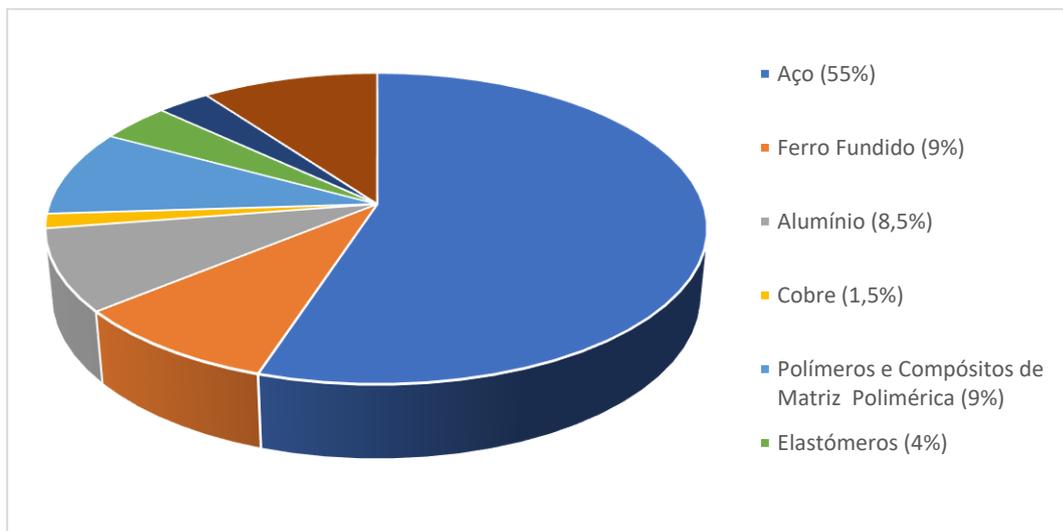


Figura 1 - Materiais usados nos vários componentes da indústria automóvel e respetiva percentagem no peso do veículo (Mallick P. K., 2010).

A indústria automóvel está em constante mudança e evolução, devido à forte concorrência que existe neste mercado. Esta estimula o desenvolvimento de novos tipos de materiais para as peças usadas, a melhoria da qualidade das mesmas, bem como a durabilidade e fiabilidade (Sharon, 2014; Prokhorova, 2017). Juntando a isto, o aumento das exigências da legislação para promover a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> faz com que seja necessário melhorar o desempenho dos automóveis. A redução do peso do veículo permite a utilização de motores menos potentes, e, por consequência, reduz o consumo de combustível e diminui as emissões de substâncias nocivas. Segundo Lyu e Choi (Lyu, 2015) uma redução de 10% no peso do automóvel corresponde a baixar em cerca de 7% o consumo de combustível do veículo. Permite ainda reduzir a carga nas suspensões dos veículos, proporcionando um aumento da vida útil dos mesmos (Monteiro, 2012).

Há várias opções para reduzir o peso dos veículos (Lyu, 2015):

- Diminuir o número e o tamanho das peças utilizadas;
- Tornar a carroçaria mais eficiente estruturalmente;
- Reduzir o tamanho dos veículos aumentando a eficiência do habitáculo;

- Procurar aplicar novos materiais mais leves.

Para Pankaj Mallick (Mallick P. K., 2010), quer a redução do número peças, quer a diminuição do tamanho do veículo não constitui uma verdadeira solução para a redução do peso dos veículos, uma vez que contradiz a tendência do mercado e compromete a funcionalidade do veículo. A solução passa por procurar formas de substituir os materiais usados por materiais mais leves, com maior vida útil e menores custos.

Os veículos de combate a incêndios são uma categoria específica de veículos regidos por diferentes normas e legislação. Dentro dos veículos de combate a incêndio existem inúmeras categorias de acordo com o fim a que se destinam, como por exemplo, o VFCI (veículo florestal de combate a incêndio) destinado prioritariamente à intervenção em espaços naturais, ou o VUCI (veículo urbano de combate a incêndio) que intervém principalmente em espaços urbanos, tecnológicos ou industriais. Em geral, os veículos de combate a incêndios são obrigados a ter um tanque de agente extintor (normalmente água ou espuma) capaz de impedir que o oxigénio chegue às chamas e assim “sufocar” o fogo (Kim A. , 2017). Existe ainda, um tanque com menores dimensões que tem um aditivo a ser usado com o líquido extintor do tanque principal. O tanque principal deve ainda ter um sistema de encanamento capaz de permitir a entrada do agente extintor para as mangueiras de incêndio e ainda, se o veículo estiver equipado, para o “canhão de água” geralmente instalado no teto do veículo e controlado por dentro da cabine (Hamins A. B., 2015; Hamins A. , 2003). Além disto, é necessário criar compartimentos na superestrutura dos veículos, os chamados “cofres”, capazes de alojar acessórios como materiais de extinção, desencarceramento, sinalização, iluminação, ferramentas de resgate e equipamentos de proteção individual. A superestrutura é aplicada num chassis de um veículo comercial/especial ligeiro ou pesado, fornecido por empresas como: Renault, MAN, Mercedes, Volvo, Iveco, entre outros. A figura 2 mostra algumas das categorias de veículos de combate a incêndios existentes no mercado.



*Figura 2 - Alguns dos modelos de veículos de incêndio da JMO, entre os quais os VECI (Veículo Especial de Combate a Incêndios), VUCI, ARFF (Veículo de resgate e combate a incêndios em aeroportos) e VFCI respetivamente (Jacinto, Catálogo de veículos Jacinto, 2020).*

Atendendo ao exposto anteriormente, entende-se que, atualmente, os dois fatores que mais influenciam a evolução dos sistemas de combate a incêndio são o peso do veículo e a capacidade de carga do tanque de agente extintor (Solazzi L. , 2012). Como se referiu anteriormente, a redução do peso dos veículos pode ser conseguida substituindo os aços convencionais por materiais mais leves, com maior vida útil e menores custos, como é o caso dos aços de alta resistência, ligas de alumínio, plásticos ou polímeros e compósitos de matriz polimérica (Solazzi L. S., 2013).

## **2.2. Normas dos veículos de combate a incêndios**

O objeto de estudo neste trabalho, tal como referido anteriormente, são os veículos de combate a incêndio, em que as questões relativas ao peso também se colocam.

A norma EN 1846 (ANEPC, 2016) estabelece as especificações técnicas de veículos e equipamentos operacionais dos corpos de bombeiros. Por seu turno, segundo o artigo nº4 do despacho nº 7316/2016, “Os veículos de combate a incêndios são veículos equipados com bomba de serviço de incêndio, tanque (s) de agente extintor e outros equipamentos necessários para o salvamento e combate a incêndios”, e classificam-se nos seguintes tipos:

- Veículo Ligeiro de Combate a Incêndios (VLCI), destinado sobretudo à intervenção em espaços naturais e/ou urbanos;
- Veículo Florestal de Combate a Incêndios (VFCI), destinado prioritariamente à intervenção em espaços naturais;
- Veículo Urbano de Combate a Incêndios (VUCI), que intervém principalmente em espaços urbanos, tecnológicos ou industriais;
- Veículo Especial de Combate a Incêndios (VECI), destinado preferencialmente à intervenção em espaços tecnológicos ou industriais.”

Os veículos dos tipos VFCI e VUCI serão os alvos de estudo neste trabalho.

Os VFCI pertencem à classe M (massa total e carga MTC superior a 7,5 toneladas e inferior a 16 toneladas) e à categoria 3 (todo-o-terreno), que corresponde a “veículos a motor que utilizam não só a via pública como também terrenos”. Têm bomba de serviço de incêndio e um ou mais depósitos de agente extintor.

Os VUCI podem ser da classe M ou S (MTC superior a 16 toneladas) e da categoria 1 (urbanos) ou 2 (via pública ou terrenos pouco acidentados). São dotados de bomba de serviço de incêndio e um ou mais depósitos de agente extintor.

## **2.3. O mercado de veículos de combate a incêndio**

A nível mundial, existem inúmeros fabricantes de veículos de combate de incêndios como: Rosenbauer Group, Magirus Group, Ziegler Group, Gimaex Group, Morita Corp, Iturra Group, E-One, etc.

Este capítulo centra-se em aspetos característicos dos produtos de alguns dos fabricantes europeus de veículos de combate a incêndios acima referidos. Em termos nacionais, os dois maiores concorrentes da JMO são a Luís Figueiredo e a Tugafire.

### 2.3.1. A empresa Rosenbauer

A Rosenbauer é uma empresa austríaca, líder mundial na fabricação de veículos de combate a incêndio e extintores (Rosenbauer, Group Presentation, 2020-a). A sua origem remonta a 1866, estando atualmente presente em mais de 150 países. As instalações de produção estão localizadas na Europa, América do Norte e Ásia. As discrepâncias nas normas e design de veículos existentes entre a Europa e a América do Norte levaram à criação da Rosenbauer América.

A Rosenbauer Europa produz vários tipos de veículos com diferentes funcionalidades e formas. As principais categorias de veículo são os Municipais, Aéreos, ARFF (Veículo de resgate e combate a incêndios em aeroportos) e Industriais e Especiais (Rosenbauer, Industrial and Special Vehicles. Special-Vehicles, 2020-c).

O modelo MT (*Modular Technology*) *Industrial* (figura 3) é usado essencialmente para combater incêndios nos setores da indústria pesada, indústria de petróleo e química. Devido às grandes quantidades de água necessária nestes setores, o MT Industrial está equipado com tanque MT universal em polipropileno reforçado em fibra de vidro, com capacidade que varia entre os 2000 e os 20000 litros, e capaz de bombear 18000 L/min de saída de água ou espuma. Na mesma categoria de veículos (*Industrial and Special*), o *Forest Firefighting Vehicles* foi projetado para apagar fogos na floresta, matas, bem como em terrenos difíceis. Está equipado com tanque de agente extintor, sistema de bomba e equipamentos de proteção para garantir a segurança dos bombeiros no combate a incêndios (Rosenbauer, Industrial and Special Vehicles, 2020-b).



*Figura 3 - Modelo MT Industrial e Forest Firefighting Vehicles da categoria de veículos Industrial and Special. O primeiro está equipado com um tanque em polipropileno com capacidades que variam entre os 2000 e os 20000 litros e o segundo está equipado com um tanque de agente extintor, sistema de bomba e equipamentos de proteção (Rosenbauer, Industrial and Special Vehicles, 2020-b).*

Na categoria Municipais, destaca-se o modelo RT (*Revolution Technology*), que pretende ser o futuro dos veículos de combate a incêndio (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d). Movido a energia elétrica, o veículo RT possui tanques de água com capacidades que variam entre os 1000 e os 4000 litros, e tanques de espuma com capacidade entre os 50 e os 400 litros. Já o modelo AT (*Advanced Technology*) (figura 4)

carateriza-se por ser um veículo compacto, manobrável e fácil de operar, estando equipado com um tanque de água com capacidade entre os 500 e os 5500 litros. Os tanques são feitos em polietileno reforçado em fibra de vidro, o que os torna bastante estáveis e adequados para o transporte de água (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d)



Figura 4 - Modelo AT (Advanced Technology) da categoria de veículos Municipais. Equipado com um tanque em polietileno com capacidades que variam entre os 500 e os 5500 litros (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d).

Os tanques de água em polipropileno reforçado em fibra de vidro são também usados noutros veículos da Rosenbauer, como por exemplo no CT (Compact Technology) e MT Municipal (Modular Technology) (figura 5), tendo capacidades que variam entre os 500 e os 20000 litros (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d)



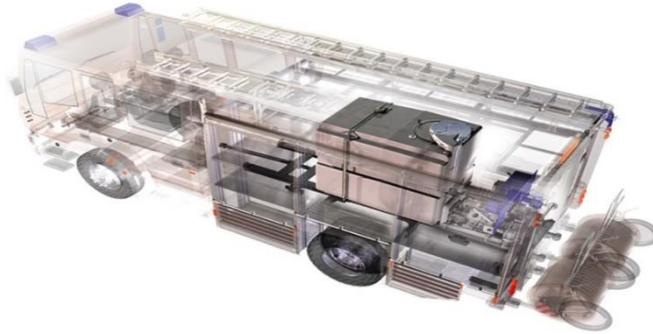
Figura 5 - Modelo MT Municipal (Modular Technology) da categoria de veículos Municipais. Equipado com um tanque em polipropileno com capacidades que variam entre os 2000 e os 20000 litros (Rosenbauer, Municipal Vehicles, 2020-d).

### 2.3.2. A empresa Magirus

Fundada há 150 anos na Alemanha, a Magirus tem desenvolvido variantes de cabine e conceitos de construção flexíveis para melhor adaptação a contextos específicos de combate a incêndios (Magirus, Group Presentation, 2022-a).

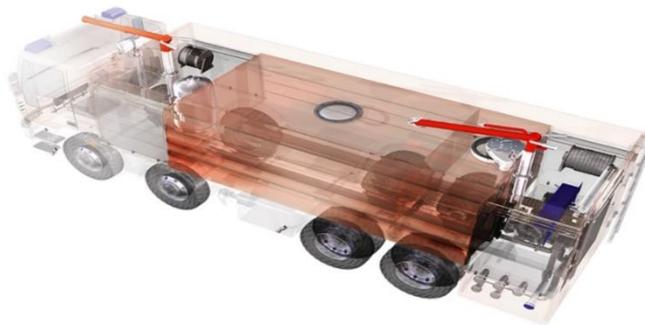
A Magirus desenvolveu a construção dos chamados “tanque interno” e “tanque externo”.

O tanque interno (figura 6) é ideal quando o foco está na equipa e no equipamento (Magirus, Group Presentation, 2022-a), pois oferece bastante espaço de armazenamento ao lado do tanque, podendo acomodar armários de equipamento rebaixados entre e atrás dos eixos. Diferentes larguras de tanques e combinações modulares de tanques de espuma permitem soluções de agentes extintores sob medida. Além disso a estrutura não está diretamente conectada ao chassi (montagem elástica) o que permite maior flexibilidade e manuseamento mais seguro.



*Figura 6 - Exemplificação do conceito do tanque interno da Magirus (Magirus, Group Presentation, 2022-a).*

Por seu turno, o tanque externo (figura 7) é ideal quando são necessárias grandes quantidades de diferentes agentes extintores. Este conceito permite o uso de tanques com grandes capacidades (até 18000 L), e proporciona soluções personalizadas para sistemas especiais de extinção como espuma, pó ou CO<sub>2</sub> (Magirus, Group Presentation, 2022-a).



*Figura 7 - Exemplificação do conceito do tanque externo da Magirus (Magirus, Group Presentation, 2022-a).*

Quer o tanque exterior, quer o interior são construídos numa estrutura modular desenvolvida pela Magirus, que a designa por *ALUFIRE 3* (figura 8). De facto, esta estrutura é utilizada pela Magirus em todos os tipos de veículos e camiões de 4 a 40 toneladas. Trata-se de uma estrutura modular de alumínio, que lhe confere leveza e durabilidade com pouca manutenção (Magirus, Fire-Fighting Vehicles and Tank Pumps, 2022-b).



Figura 8 - Estrutura ALUFIRE 3, em alumínio, da Magirus (Magirus, Fire-Fighting Vehicles and Tank Pumpers, 2022-b).

### 2.3.3. O Iturri Group

A Iturri Group é uma empresa espanhola criada em 1947 por Juan Iturri Landajo no Porto de Sevilha (Iturri, Group Presentation, 2022-a). Entre os seus modelos destaca-se o *Medium Range* (figura 9), um veículo bastante compacto, altamente móvel e com grande capacidade de armazenamento no tanque de água, graças à carroçaria em *EcoPolyFire* (EPF), um material plástico inovador (Technology, 2011), que permite aumentar em 15% a capacidade do tanque, devido ao seu menor peso (Iturri, Wildfire Vehicles, 2022-c).



Figura 9 - Modelo Medium Range da categoria de veículos de incêndio da Iturri com a carroçaria em EcoPolyFire (EPF) (Iturri, Wildfire Vehicles, 2022-c).

De facto, a utilização de carroçarias em *EcoPolyFire* (EPF), concebidas especificamente para veículos de combate a incêndio, constitui uma das maiores inovações do grupo Iturri. Segundo a empresa (Iturri, Vehicles – Ecopolyfire, 2022-b), a carroçaria em *EcoPolyFire* (EPF) é mais leve em comparação com os materiais de uso corrente (aço, GRP ou alumínio). Outras vantagens são a elevada resistência à corrosão, facilidade de reparação e a reciclabilidade.

### 2.3.4. O Gimaex Group

## *Estudo da implementação de tanques em plástico reforçado com fibra de vidro em viaturas de combate a incêndios*

---

A Gimaex Group é uma empresa situada em França que se dedica tanto ao projeto e fabrico de veículos de combate a incêndios, como ao fornecimento de equipamentos e acessórios de combate a incêndio e desencarceramento (Giamex, Group Presentation, 2022-a).

Em termos de veículos de combate a incêndio, a Gimaex Group apresenta as seguintes categorias de veículos: camião-tanque de incêndio florestal leve (CCFL), veículo de resgate rodoviário (FPT SR), veículo de espuma de alta potência (FMOGP), veículo de intervenção de espuma (VIM 27 P2.5), camião-tanque de incêndio florestal (CC F) e o super-camião-tanque de incêndio florestal (CCF S) (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b).

O veículo de resgate rodoviário (FPT SR) caracteriza-se por ter um tanque em polietileno de alta massa volumica com capacidade para 3050 L de água (figura 10).



*Figura 10 - Veículo Renault de combate a incêndios da Gimaex, modelo veículo resgate rodoviário, com um tanque de água em polietileno com capacidade para 3050 litros (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b).*

Os modelos veículo de espuma de alta potência (FMOGP) e veículo de intervenção de espuma (VIM 27 P2.5) distinguem-se dos demais por apresentarem um tanque de água feito em resina de poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro com capacidade de 9500 L e de 2900 L, respetivamente (figura 11).



*Figura 11 - Veículo de espuma de alta potência e veículo de intervenção de espuma da Gimaex, com tanques de água em resina de poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro com capacidade para 9500L e 2900 litros, respetivamente (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b).*

Por último, quer o camião-tanque de incêndio florestal (CC F), quer o super-camião-tanque de incêndio florestal (CCF S) apresentam tanques de água feitos em aço inoxidável com capacidades de 3900 L e 11450 litros, respetivamente (figura 12).



Figura 12 - Veículo caminhão-tanque de incêndio florestal e veículo super-caminhão-tanque de incêndio florestal da Gimaex, com tanques de água em aço inoxidável com capacidade de 3900 litros e 11450 litros, respectivamente (Giamex, Firefighting Vehicles, 2022-b).

### 2.3.5. A empresa Volkan

A Volkan foi fundada no ano de 1974 por Isa Tecim na Turquia e iniciou atividade com uma área de 50 m<sup>2</sup> e com apenas 8 funcionários, no fabrico de veículos de combate a incêndios (Volkan, Group Presentation, 2022-a). Atualmente, as instalações da Volkan tem mais de 130 000 m<sup>2</sup> e conta com mais de 300 funcionários no seu quadro. Tornou-se um dos maiores produtores mundiais de bombas e veículos de combate a incêndios.

Em termos de categorias de veículos, a Volkan oferece: Veículos de Aeroporto, Aéreos, Urbanos, Industriais e Rurais e *Off-Road*.

Os veículos urbanos são projetados para intervir em incêndios dentro da cidade e são constituídos por (relacionados com o tanque):

- Reservatório de água com capacidade até 15000 L;
- Tanque de água oculto opcional com capacidade de até 3000 L;
- Tanque de espuma com capacidade de até 2000 L;
- Tanque oculto ou superestrutura modular removível independente;

Os materiais dos tanques de água e espuma da Volkan, anteriormente enumerados, podem ser feitos em aço inoxidável AISI 316, em polipropileno (PP) ou em plástico reforçado com fibra de vidro (GRP) (Volkan, Vehicles - Urban Type, 2022-b).



*Figura 13 - Exemplo de um veículo Urbano da Volkan (Volkan, Vehicles - Urban Type, 2022-b)].*

### 2.3.6. Estudo do Mercado Nacional

A empresa JMO tem, a nível nacional, dois concorrentes de relevo. Os próximos parágrafos descrevem brevemente as suas principais atividades e produtos.

#### **2.3.6.1. A empresa LUÍS FIGUEIREDO**

Com início de atividade em 1982, a Luís Figueiredo está sediada em Cacia, Aveiro, e dedica-se ao fabrico e transformação de superestruturas em viaturas para combate a incêndios e em viaturas especiais de socorro e salvamento. A construção é feita, normalmente, em aço inoxidável e em alumínio, por módulos. O assentamento no chassis em sino-blocos especiais de borracha e a construção dos tanques em “T” permitem uma maior distribuição do peso e uma maior estabilidade do conjunto (Figueiredo, 2022). A Luís Figueiredo é ainda referência na produção de atrelados para apoio à Proteção Civil e aos Bombeiros. Além do mercado nacional, a empresa exporta para Espanha, Marrocos, Iraque, Moçambique e Angola, entre outros.

Em relação aos veículos de combate a incêndio da Luís Figueiredo, não estão disponíveis on-line informações técnicas, tais como os materiais de construção e as capacidades dos tanques, pelo que foi solicitado à empresa o envio de informações sobre as características técnicas dos VFCI e VUCI por ela produzidos. A empresa referiu que, para as tipologias em questão: utiliza o aço inoxidável AISI 304 ou 316 como material para a produção dos tanques de água. Em termos de capacidades, os tanques cumprem as normas previstas no despacho da ANEPC com as especificações técnicas para cada uma das tipologias referidas. As figuras 14 e 15 apresentam, respetivamente, alguns VFCI e VUCI produzidos anteriormente na Luís Figueiredo.



Figura 14 - Exemplos de VFCI produzidos na Luís Figueiredo (Figueiredo, 2022).



Figura 15 - Exemplos de VUCI produzidos na Luís Figueiredo (Figueiredo, 2022).

#### 2.3.4.2 A empresa Tugafire

Fundada em 2016, a empresa Tugafire está situada em Vila Nova da Barquinha, Tomar, e tem por principal atividade a transformação de veículos para combate a incêndios (Racius, 2020). Uma das características distintivas da Tugafire é o facto de fabricar 95% dos tanques de água em alumínio (liga 5754 H111), no intuito de reduzir o peso das viaturas (Tugafire, Group Presentation, 2022-a).

Dentro dos veículos de combate a incêndios a Tugafire especializa-se principalmente na transformação e adaptação de várias tipologias de veículos, incluindo os VFCI (figura 16) e VUCI. O facto de a carroçaria ser de alumínio permite uma economia de peso na ordem dos 65%, ou seja, pesa menos de 35% em relação a uma estrutura convencional (Tugafire, Veículo Florestal de Combate a Incêndios, 2022-b).



Figura 16 - Veículo VFCI 04, modelo Iveco ML 150 E28 WS e veículo VFCI 02, modelo Mercedes-Benz Atego 1330 AF da Tugafire. Equipados com um tanque em alumínio com capacidade de 3300 litros 3500 litros, respetivamente (Tugafire, Veículo Florestal de Combate a Incêndios, 2022-b).

Os veículos possuem um sub-chassis integrado no tanque, o que contribui para baixar o centro de gravidade, tornando a circulação do veículo mais segura em qualquer piso. Um sistema de fixação do tanque por 3 pontos faz com que o tanque acompanhe o chassis e não seja uma restrição para o veículo, permitindo assim maior amplitude no cruzamento de eixos.

## **2.4.O tanque de água – características gerais**

Como é evidente, o tanque de água é uma parte essencial de um veículo de combate a incêndio, sendo por isso objeto de normas e regulamentos. O anexo II do despacho da ANEPC (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil) nº 7316-2016 (ANEPC, 2016) apresenta a ficha técnica para cada tipo de veículo de combate a incêndio. O tanque de água é também o objeto principal de estudo deste trabalho.

O tanque deve ser ligado à superestrutura, também designada por falso chassis. Por sua vez, a superestrutura é apoiada no chassis do veículo comercial/especial através de sino-blocos, que são responsáveis por permitir a torção lateral da estrutura e absorver a energia provocada pela deslocação do chassis. O tanque deve ter capacidade de 3000 a 4000 litros ( $\pm 5\%$ ) nos VFCI e, no mínimo, 2.000 litros ( $\pm 5\%$ ) nos VUCI. O despacho nº 7316-2016 estabelece um conjunto de requisitos construtivos, tais como aberturas e orifícios, canalizações, sistemas anti-vórtice, indicadores de nível, etc. Segundo o referido despacho, o tanque deve ser construído, preferencialmente, em chapa de aço inoxidável AISI 316. As espessuras e anteparas têm de ser definidas através de cálculo justificativo e respetivo termo de responsabilidade, a emitir pelo carroçador. Não obstante, o referido despacho admite que o tanque possa ser fabricado noutros materiais, como o alumínio ou materiais não metálicos, desde que apresentem resistência a águas cloradas e salinas. Nesse caso, é necessário um certificado de conformidade de resistência ao fogo e aos impactos.

Os próximos capítulos descrevem os materiais e processos de fabrico mais usados para tanques de água.

## **2.5.Tanques de água em aço inoxidável**

### **2.5.1. Aço AISI 316L**

Atualmente, os aços inoxidáveis são indispensáveis na indústria atual e aplicam-se em diversas indústrias, como a indústria automóvel, naval, petrolífera, química, farmacêutica, têxtil, papel e celulose, borracha e indústria de tintas. De facto, o aço inoxidável é reconhecido como um material versátil que apresenta uma boa relação custo/qualidade (Parvathavarthini, 2002), aparência higiénica, boa resistência à corrosão e à oxidação, boa resistência mecânica, baixa rugosidade superficial (facilidade de limpeza), baixo custo de manutenção e facilidade de reciclagem (Abinox, 2015).

O termo inoxidável é utilizado para ligas de ferro que tenham pelo menos 11% de cromo. Há uma infinidade de aços inoxidáveis com níveis diferentes de resistência à corrosão e resistência mecânica, dependendo da adição controlada de elementos de liga. Estes conferem determinadas propriedades conforme a finalidade e resistência pretendida para o aço. De acordo com a estrutura cristalográfica, um aço inoxidável pode ser classificado como: ferrítico, austenítico, martensítico, duplex e endurecível por precipitação (Cramer, 2005).

A liga de aço inoxidável AISI 316 pertence, de acordo com a estrutura cristalográfica, à família dos aços inoxidáveis austeníticos. Esta família caracteriza-se por não ser magnética, ter elevada resistência à corrosão, elevada ductilidade, excelente resistência mecânica e boa conformabilidade (Parvathavarthini, 2002; Cramer, 2005). As ligas austeníticas possuem elevados teores de cromo, o que as torna ideais para aplicações a altas temperaturas, e elevados teores de níquel, que as tornam ideais particularmente resistentes a ácidos inorgânicos. A resistência à corrosão aumenta com a adição de molibdênio (Cramer, 2005).

A família dos aços inoxidáveis AISI 316 é composta pelos seguintes graus: AISI 316, AISI 316L, AISI 316F, AISI 316N, AISI 316LN, AISI 316H e AISI 316Ti. As características diferenciadoras em relação a outros aços inoxidáveis austeníticos resultam do facto de terem teores de molibdênio até 3%, que lhes dá alta resistência à corrosão; níquel entre 10% e 14%, possibilitando o encruamento a frio com uma taxa inferior de deformação, e, portanto, boas propriedades mecânicas. Daí que os aços inoxidáveis AISI 316 sejam usados em tubagens, reatores químicos e reservatórios de pressão (Martins, 2014).

Neste trabalho é de interesse particular o aço inoxidável AISI 316L, que, dos aços da família do AISI 316, é aquele que possui um menor teor de carbono (menor que 0.03%). Isto faz com que apresente excelentes níveis de ductilidade e tenacidade, características importantes perante as grandes amplitudes de tensões e de temperatura a que os tanques dos veículos de combate a incêndio estão sujeitos (Abinox, 2015). A tabela 1 apresenta a composição química do aço inoxidável AISI 316L, enquanto a tabela 2 apresenta as principais propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 1 - Composição química do aço inoxidável AISI 316L (% em peso) (EduPack, 2019-a)

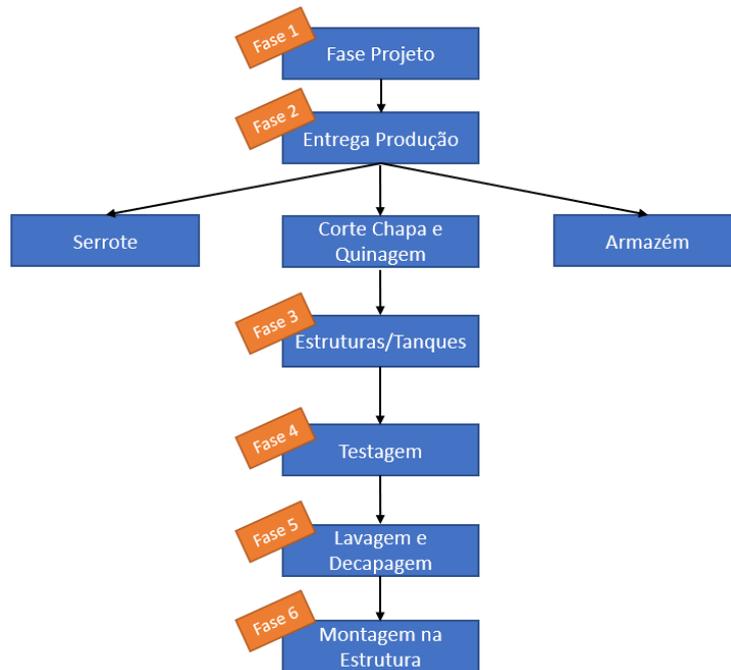
AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Outros
316L	0,03	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	10,00	2,00	
						18,00	14,00	3,00	

Tabela 2 - Propriedades mecânicas, térmicas e físicas do aço inoxidável AISI 316L (EduPack, 2019-a)

Propriedades		AISI 316L	
Físicas	Estrutura	Austenítica	
	Massa volúmica [g/cm <sup>3</sup> ]	7,87 – 8,07	
Térmicas	Calor específico [J/kg °C]	490 - 530	
	Coeficiente médio de expansão térmica [μ/°C]	15 - 18	
	Temperatura de serviço [°C] (máx.)	750 – 925	
	Temperatura de serviço [°C] (min.)	-200	
	Condutividade térmica [W/m °C]	13 - 17	
Mecânicas	Módulo de elasticidade [GPa]	190 – 205	
	Coeficiente de Poisson	0,265 – 0,275	
	Resistência à tração [MPa]	480 - 620	
	Tensão de cedência a 0,2% [MPa]	170 - 310	
	Resistência ao impacto (KJ/m <sup>2</sup> )	14,5 - 25,8	
	Elongação (%)	30 - 50	
	Dureza: Rockwell [HRB]; Brinell [HB]; Vickers [HV]	75 - 83; 146 - 217; 170 - 220	

## 2.5.2. Processos de fabrico dos tanques em aço inoxidável AISI 316L

O processo de fabrico de tanques em aço está atualmente muito bem estabelecido, e envolve essencialmente conformação plástica e soldadura de chapas. Por esta razão, a descrição do processo de fabrico de tanques feita neste capítulo baseia-se na informação recolhida na JMO, empresa na qual foi realizado o estágio. A figura 1 resume as fases do processo desde o projeto à montagem na superestrutura.



*Figura 17 - Esquema das várias fases de produção dos tanques de água em aço AISI 316L da empresa JMO.*

Na fase de projeto é feito um estudo geral do veículo, onde se dimensiona a estrutura e o tanque de água a aplicar. De seguida, é desenhado no Software Inventor o projeto 3D do veículo, incluindo a superestrutura, o tanque de água e, sucessivamente, os restantes componentes necessários (figura 18).



*Figura 18 - Exemplo de um veículo desenhado no Inventor na fase de projeto pela JMO.*

Concluída a primeira fase, o projeto segue para a produção (fase 2) em que se procede ao corte e quinagem da chapa, bem como ao corte dos perfis tubulares. Em paralelo, são adquiridos, fabricados e colocados em

armazém outros acessórios necessários à montagem do tanque. Utiliza-se o serrote para cortar todos os tubos necessários à construção do tanque, entre eles os tubos de abastecimento, de sucção, de descarga, os respiros, entre outros (figura 19).

As chapas em aço AISI 316L a cortar e quinar são fornecidas à JMO em medidas normalizadas conforme a espessura necessária. As chapas (figura 20) são cortadas numa guilhotina (figura 21) nas várias partes necessárias para a montagem do tanque, entre elas: a chapa de fundo; as anteparas; os tampos e as chapas laterais. De seguida todas as chapas são quinadas (figura 22), com exceção da chapa de fundo, que pode ser quinada ou não, dependendo do modelo de veículo usado. Nesta fase estão também disponíveis em armazém os acessórios necessários ao tanque (figura 23).



Figura 19 - Serrote utilizado na JMO para cortar os tubos necessários à construção do tanque.

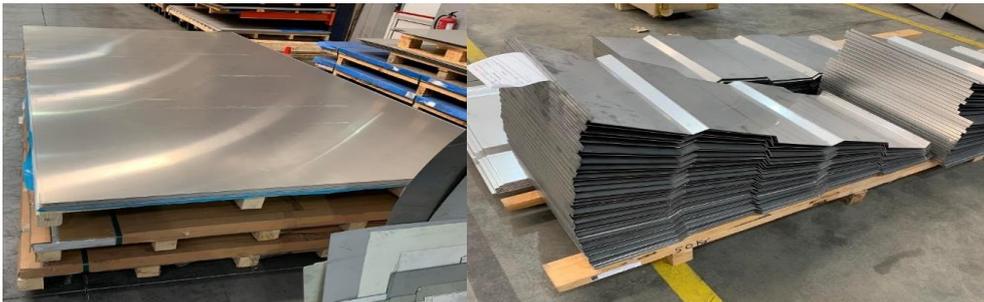


Figura 20 - Exemplo de algumas chapas antes e depois de serem cortadas e quinadas.



Figura 21 - Guilhotina utilizada para o corte das chapas dos tanques de água da JMO.



*Figura 22 - Quinadora utilizada para dobragem das chapas dos tanques de água da JMO.*



*Figura 23 - Acessórios fornecidos pelo armazém necessários à construção dos tanques de água da JMO.*

Na fase 3 (estruturas/tanques) faz-se a montagem do tanque e dos acessórios usados no mesmo. Para isso é necessário furar as chapas por corte plasma (figura 24) e, posteriormente, soldar as chapas e os componentes por meio de soldadura MIG/MAG (*metal inert gas e metal active gas*). As tubagens são soldadas pelo processo TIG (*tungsten inert gas*) (figura 25).



*Figura 24 - Processo de furação das chapas necessárias aos tanques da JMO de água através de corte por plasma.*



*Figura 25 - Processo de soldadura das chapas, tubagens e respetivos acessórios de forma a concluir a construção dos tanques de água da JMO.*

Segue-se a fase de testes (fase 4) em que é realizado o teste de estanquicidade que visa detetar possíveis fugas de água no tanque. Caso existam, o tanque volta para a fase 3 (estruturas/tanques) na qual é soldada de novo a zona de fuga e volta-se a repetir os testes. Após concluída a fase de testes, segue-se a lavagem e decapagem química no sentido de garantir a proteção e qualidade de solda (figura 26).



Figura 26 - Fase de testagem, lavagem e decapagem dos tanques de água da JMO.

Por fim, na fase 6 (montagem da estrutura) o tanque de água é aparafusado à superestrutura do veículo utilizado (figura 27).



Figura 27 - Montagem dos tanques de água da JMO na superestrutura dos veículos a que se destinam.

## 2.6. Tanques de água em materiais compósitos

Os compósitos são definidos como uma mistura de dois ou mais materiais constituintes com propriedades físicas ou químicas diferentes, ou de fases distintas (Almeida P. C., 2013). Na engenharia, os compósitos assumem especial importância, uma vez que ao combinar adequadamente as características de dois ou mais materiais diferentes se obtém um novo material cujas propriedades são melhores do que quando aqueles se aplicam isoladamente (Joshi, Drzal, Mohanty, & Arora, 2004; Gonçalves, 2010).

Os compósitos são constituídos por: uma fase contínua, a matriz, que pode ser um polímero, um metal, um material cerâmico ou cimento; e uma fase dispersa, vulgarmente denominada reforço, que é uma fibra quando se trata de compósitos para aplicações estruturais.

Segundo Brent Strong (Strong, 2008), as grandes vantagens dos materiais compósitos de matriz polimérica usados em aplicações estruturais em relação aos metais são a elevada resistência mecânica e a redução do

peso. Podem ainda ter outras vantagens, como o baixo coeficiente de expansão térmico, o bom amortecimento e a resistência à corrosão. No entanto, existem também obstáculos que terão de ser ultrapassados na utilização dos compósitos, como o elevado preço dos materiais, a suscetibilidade ao dano ou o elevado tempo de fabrico.

A matriz de um compósito é um constituinte fundamental, que tem como objetivo:

- Manter a coesão das fibras;
- Proteger as fibras do meio envolvente;
- Proteger as fibras do dano durante o manuseamento;
- Distribuir o carregamento pelas fibras;
- Redistribuir o carregamento pelas fibras íntegras em caso de rutura (Almeida N. M., 2012);

A escolha da matriz a utilizar depende das exigências da aplicação a que se destina o material, em termos de propriedades físicas, térmicas e mecânicas, bem como custos associados. Embora as matrizes poliméricas sejam as mais utilizadas habitualmente, há compósitos com matrizes metálicas, cerâmicas, carbono, entre outras. Este trabalho centra-se nos compósitos de matriz polimérica, que são efetivamente usados nos tanques de água dos veículos de combate a incêndio.

As utilizações de materiais compósitos em matriz polimérica têm vindo a aumentar ao longo dos anos nas diversas aplicações da engenharia, devido à sua baixa massa volúmica, elevada resistência mecânica específica, rigidez específica e resistência à corrosão. As matrizes poliméricas dividem-se em dois grandes grupos: termoendurecíveis e termoplásticas (Campbell, 2010).

Há várias características que se podem considerar na comparação entre termoplásticos e termoendurecíveis, como a temperatura e tempo de processamento, a temperatura de funcionamento, a resistência a solventes, o custo, etc. Esta comparação é dificultada pela grande variedade de formulações, mesmo dentro da mesma família de materiais. Não obstante, a facilidade de fabrico e, cada vez mais, a reciclabilidade, são aspetos essenciais na escolha da matriz. A utilização dos compósitos de matriz termoplástica tem ganho um enorme impacto na indústria, uma vez que torna possível a reciclagem de materiais compósitos que até aqui era praticamente impossível (Mallick P. , 2007).

### 2.6.1. Matrizes termoendurecíveis

Atualmente, os termoendurecíveis continuam a ser os materiais mais utilizados para aplicações estruturais (Campbell, 2010). As resinas, como são conhecidos comercialmente os termoendurecíveis, são constituídas por estruturas tridimensionais rígidas de macromoléculas interligadas que se formam após a cura. Estes polímeros não podem ser remodelados após a cura, o que é normalmente impeditivo de reciclagem (Pickering, 2006).

As resinas mais utilizadas em compósitos de custo moderado são os poliésteres. Há dois tipos de resinas de poliéster, as saturadas e as insaturadas. O poliéster insaturado é, atualmente, a resina mais utilizada em materiais compósitos devido essencialmente ao baixo custo. Além disso, apresentam ainda bom

compromisso entre as propriedades mecânicas, elétricas e químicas e facilidade de processamento (Almeida P. C., 2013). São utilizados em aplicações como barcos, chapas de revestimento onduladas, carros de golfe, tanques de água de veículos de combate a incêndio, entre outras.

Relativamente às resinas poliéster, as resinas de epóxico apresentam geralmente:

- Melhores propriedades mecânicas (tabela 3);
- Maior tolerância a fatores ambientais desfavoráveis;
- Baixa absorção de água;
- Maior estabilidade dimensional, a começar com baixa contração pós-cura (tabela 3);
- Temperaturas de funcionamento superiores (tipicamente entre 100 e 200 °C).

Todavia, os custos destas resinas podem ser 4 vezes superiores ao da resina de poliéster. As resinas de epóxico são usadas em aplicações de aeronáutica e de desporto (Almeida P. C., 2013).

Tabela 3 - Propriedades mecânicas das resinas Poliéster e Epóxicas (Lariviere, 2004).

Propriedades	Poliéster	Epóxida
Massa volúmica [g/cm <sup>3</sup> ]	1,10 – 1,4	1,2 – 1,38
Resistência à tracção [MPa]	34,5 – 103,5	55 - 130
Módulo de elasticidade [GPa]	2,1 – 3,45	2,75 – 4,2
Resistência à flexão [MPa]	60 – 160	125 - 140
Resistência ao impacto [J/m]	10,6 – 21,2	5,3 - 53
Extensão [%]	1 – 5	-
Coefficiente de expansão térmica [10 <sup>-6</sup> /°C]	-	50 - 80
Retracção após cura [%]	5 – 12	1 - 5

### 2.6.2. Matrizes termoplásticas

Os termoplásticos são constituídos por macro-moléculas individuais ligadas por forças inter-atômicas fracas (van der Waals). Logo, ao serem aquecidos, as ligações químicas são temporariamente quebradas, permitindo a reconformação (Almeida N. M., 2012). Posteriormente, ao serem arrefecidos, as ligações são novamente estabelecidas. Portanto, os termoplásticos podem ser reprocessados e reciclados, operações estas que, idealmente, não provocam perda de propriedades (Almeida P. C., 2013). Os termoplásticos tendem a apresentar melhor resistência ao impacto, capacidade de amortecimento e ductilidade do que os termoendurecíveis.

Os termoplásticos podem dividir-se em dois grandes grupos: termoplásticos de uso geral e termoplásticos de engenharia. Os termoplásticos de uso geral cobrem a maioria dos plásticos utilizados atualmente, tais como o polietileno, polipropileno e poliestireno, que são materiais de baixo custo. Os termoplásticos de

engenharia têm geralmente melhores propriedades a vários níveis, por exemplo: resistência e módulo de elasticidade, tenacidade, e/ou resistência ao desgaste, resistência química e ao calor. Em certas aplicações, constituem uma alternativa aos metais. Entre os termoplásticos de engenharia encontram-se as poliamidas, poliacetais, policarbonatos, entre outras (Lariviere, 2004).

Neste trabalho são alvos de estudo os termoplásticos de uso geral, em especial o polipropileno e o polietileno, uma vez que no estudo de mercado efetuado (Capítulo 2.3) se verificou serem usados nos tanques de água de veículos de combate a incêndio.

### **2.6.2.1. Polipropileno (PP)**

O polipropileno é atualmente o plástico mais utilizado na indústria automóvel, devido ao baixo custo, resistência ao impacto, rigidez, resistência à distorção e aos ataques químicos, e à facilidade de processamento (Mallick P. K., 2010). De salientar também a menor massa volúmica em comparação com todos os outros termoplásticos ( $0,91 \text{ g/cm}^3$ ).

Segundo Karian, H. (Karian, 2003), há três tipos de polipropilenos que se distinguem dos demais:

- Homopolímeros (HPP), que têm apenas monómeros de PP em forma sólida cristalina;
- Os copolímeros aleatórios (RCP), que têm percentagens de etileno entre 1% e 8% nas cadeias de PP em forma de comonómeros;
- Copolímeros de impacto (ICP), que são misturas de fase de HPP e RCP com percentagens de etileno entre 45% e 65%.

A percentagem de etileno e a forma como estão distribuídas essas partículas determina a resistência ao impacto do material (Karian, 2003). A rigidez do polipropileno é ainda afetada pela fase de HPP, uma vez que, para a rigidez do material não sair prejudicada, é necessário um equilíbrio entre as fases de HPP e RCP.

Segundo a empresa SYBS (SYBS, s.d.), especialista na construção de tanques em PP, a fabricação de tanques neste tipo de materiais é normalmente feita em ICP, devido à maior resistência ao impacto e flexibilidade. No entanto, em tanques com necessidades especiais podem-se utilizar HPP pela sua maior rigidez estrutural e estabilidade térmica a temperaturas acima dos  $70^\circ\text{C}$ . As propriedades dos HPP, RCP e ICP são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades dos principais tipos de polipropilenos (Edupack, 2019-b).

Propriedades	HPP	RCP	ICP
Massa volúmica	0,899-0,908	1,58-1,8	0,895-0,905
Módulo de elasticidade (GPa)	1,34-1,59	0,873-1,2	1,02-1,23
Resistência à tração (MPa)	33-42,9	19,9-25,9	20-31,8
Resistência ao impacto (kJ/m <sup>2</sup> )	3,06-4,78	7,7-16,4	10,9-24,9
Temperatura de fusão (°C)	161	145	161

Por outro lado, o uso de polipropileno virgem (PP) ou reciclado (PPr) na indústria automóvel exige resistências melhoradas que podem ser obtidas: com o reforço por fibras; aditivos orgânicos e inorgânicos geralmente sob a forma de partículas (Rômulo Maziero, 2020). Um dos exemplos para aumentar o módulo de elasticidade é adição de talco. Segundo Anand, Harshe e Joshi (Anand, 2013), a adição de 20% de talco num homopolímero (HPP) permite aumentar o módulo de elasticidade de 1,382 GPa para 2,764 GPa, enquanto com 40% de talco se atinge 4,146 GPa.

#### 2.6.2.2. Polietileno (PE)

O polietileno caracteriza-se por ser um plástico macio e flexível, de baixo custo, com elevada resistência química, elevadas propriedades isolantes, fácil processamento, baixo coeficiente de atrito e baixa permeabilidade à água (Suzuki C. E., 2007).

Existem 4 tipos básicos de polietilenos conforme a sua massa volúmica:

- O polietileno de baixa massa volúmica (PEBD), com massa volúmica de 0,910 a 0,925 g/cm<sup>3</sup>;
- O polietileno de baixa massa volúmica linear (PEBDL), de massa volúmica entre 0,918 e 0,940 g/cm<sup>3</sup>;
- O polietileno de alta massa volúmica (PEAD), que possui massa volúmica de 0,935 a 0,960 g/cm<sup>3</sup>;
- O polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM) (Suzuki C. E., 2007).

O polietileno de baixa massa volúmica (PEBD) é o mais flexível dos polietilenos e tem muito bons níveis de tenacidade, resistência ao impacto e processabilidade (Coutinho, 2003). A tabela 5 apresenta algumas propriedades do PEBD. O PEBD é aplicado em filmes, laminados, recipientes, embalagens, brinquedos e isolamento de fios elétricos.

O polietileno de baixa massa volúmica linear (PEBDL) tem propriedades mecânicas ligeiramente melhores do que o PEBD e um custo de fabrico menor. Devido à sua flexibilidade e resistência ao impacto, o PEBDL é aplicado essencialmente em embalagens de alimentos, bolsas de gelo, utensílios domésticos, canos e tubos.

Tabela 5 - Algumas propriedades do PEBD (Coutinho, 2003).

Propriedades	PEBD
Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	0,912-0,925
Temperatura de fusão cristalina (°C)	102-112
Índice de refração (nD)	1,51-1,52
Tração no escoamento (MPa)	6,2-11,5
Alongamento no escoamento (%)	100-800
Resistência à tração (MPa)	6,9-16
Alongamento máximo (%)	100-800
Módulo de elasticidade (MPa)	102-240

Já o polietileno de alta massa volúmica (PEAD) é um plástico rígido com boa resistência à tração e ao impacto. Em geral, é usado em recipientes, garrafas, filmes, brinquedos, materiais hospitalares, tubos para distribuição de água e/ou gás e tanques de combustível na indústria automóvel. A tabela 6 apresenta algumas propriedades do PEAD.

Por fim, o polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM), que se caracteriza pela alta inércia química, alta resistência à abrasão e ao impacto, baixo coeficiente de atrito e alta suavidade. Atualmente é aplicado em engrenagens, componentes para bombas de líquidos corrosivos, implantes de ossos artificiais, isolamento de fios e cabos, entre outros (Suzuki C. E., 2007).

Tabela 6 - Algumas propriedades do PEAD (Coutinho, 2003).

Propriedades	PEAD	
	Altamente linear	Baixo grau de ramificação
Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	0,962-0,968	0,95-0,96
Temperatura de fusão (°C)	128-135	125-132
Índice de refração (nD)	1,54	1,53
Temperatura de fragilidade (°C)	-140 a -70	-140 a -70
Condutividade térmica (W/m.K)	0,46-0,52	0,42-0,44
Calor de combustão (kJ/g)	46,0	46,0
Resistência à tração (MPa)	25-45	20-40
Módulo de tração (MPa)	900-1200	800-900
Alongamento (%)	Escoamento	5-8
	Rutura	50-900

### 2.6.3. As fibras

As fibras de reforço são o principal constituinte dos compósitos de matriz polimérica para aplicações estruturais, na medida em que são responsáveis pelas elevadas propriedades mecânicas (Mallick P. , 2007). Segundo Mallick (Mallick P. , 2007), as fibras usam-se principalmente sob as seguintes formas em compósitos:

- Fibras descontínuas orientadas de modo aleatório;
- Fibras contínuas unidirecionais;
- Fibras contínuas em tecidos bidirecionais.

As fibras contínuas (ou longas) têm comprimentos superiores a 100 mm, um rácio comprimento/diâmetro entre 200 e 500, e são utilizadas no fabrico de compósitos avançados. As fibras descontínuas (fibras curtas) têm geralmente uma orientação aleatória, comprimentos compreendidos entre 10 e 100 mm e um rácio comprimento/diâmetro entre 20 e 60. São frequentemente utilizadas no fabrico de compósitos de engenharia (Magirus, Group Presentation, 2022-a).

Após a sua produção, as fibras são disponibilizadas para o fabrico de compósitos sob diferentes formas, como por exemplo, *rovings*, mantas ou tecidos. Atualmente as fibras mais utilizadas no fabrico de compósitos são as fibras de vidro e de carbono (Mallick P. , 2007).

### 2.6.3.1. Fibras de vidro

A fibra de vidro é o reforço mais utilizado devido às boas propriedades mecânicas e ao custo reduzido. Há vários tipos de fibras de vidro, mas as mais utilizadas são as classes E (electrical) e S (structural) (Lariviere, 2004). As fibras de vidro E têm aplicações na eletrónica devido às excelentes propriedades de isolamento elétrico. Usam-se também em várias aplicações estruturais, tais como cascos de barcos, perfis para a construção civil, reservatórios e tubagens. Já as fibras da classe S destinam-se sobretudo a equipamentos de uso militar, devido às melhores propriedades mecânicas (Tabela 7) e custos mais elevados (Mallick P. , 2007).

Tabela 7 - Algumas propriedades das classes E e S de fibra de vidro (Lyu, 2015).

Propriedades	Classe E	Classe S
Massa volúmica ( $g/cm^3$ )	2,6	2,49
Módulo de Young [GPa]	73,0	85,5
Tensão de rotura [MPa]	3400	4580
Deformação na rotura	4,4	5,3
Coefficiente de expansão térmica ( $10^{-6}/^{\circ}C$ )	5,0	2,9

### 2.6.3.2. Fibras de carbono

As fibras de carbono caracterizam-se pelos valores elevados de rigidez e resistência mecânica conjuntamente com a baixa massa volúmica. Estas fibras são muito utilizadas em campos onde a redução de peso é um fator fundamental, e compensa os seus elevados custos (Lariviere, 2004). É esse o caso das indústrias aeronáutica, aeroespacial, automóvel de competição e de luxo (Almeida N. M., 2012).

As fibras de carbono podem ser divididas em 2 grupos: fibras de carbono com percentagens de carbono entre os 80% e os 95% e fibras de grafite, com percentagens de carbono perto dos 99% (Almeida N. M., 2012).

A produção de fibras de carbono passa pela decomposição térmica de filamentos precursores orgânicos de um dos 3 tipos principais (Almeida N. M., 2012; Campbell, 2010):

- A celulose, que conduz às chamadas rayon fibers, mas com custos de produção elevados;
- O poliácridonitrilo (PAN), que é mais utilizado para produzir fibras de carbono comerciais;
- O alcatrão (pitch), que resulta em fibras bastante frágeis.

*Tabela 8 - Propriedades dos tipos de fibras de carbono mais utilizadas (Campbell, 2010).*

<b>Propriedades</b>	<b>PAN</b>	<b>Alcatrão</b>	<b>Celulose</b>
<b>Massa volúmica [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,8	2,0	1,7
<b>Módulo de Young [GPa]</b>	200 – 400	300 - 600	415 – 680
<b>Tensão de rotura [MPa]</b>	3500 – 6000	1900 - 2700	2070 – 2760
<b>Deformação na rotura (%)</b>	0,7 – 2,2	0,5 – 1,0	0,5 – 0,6
<b>Coefficiente de expansão térmica [10<sup>-6</sup>/°C]</b>	-0,7 a -0,5	-1,6 a -0,9	-

#### 2.6.4 Processos de fabrico dos tanques em materiais compósitos

Nesta secção é descrito o processo de fabrico dos tanques de água para veículos de combate a incêndio em plástico com base em informação disponibilizada por alguns fabricantes.

A ZHT Group é uma empresa da República Checa que se dedica ao desenvolvimento e produção de peças em plástico para veículos de combate a incêndio, entre elas, tanques de água de grandes volumes adaptados a qualquer chassis (Group, 2015). Segundo a referida empresa, os tanques são feitos em chapas de polipropileno ou polietileno e seus copolímeros, e são fabricados por processos de soldadura. Os tanques em plástico da ZHT caracterizam-se por serem leves, terem elevada resistência química e à corrosão, um ciclo de vida longo, exigirem baixa manutenção e serem 100%-recicláveis.

O processo de fabrico dos tanques de água da ZHT Group passa por 4 fases principais. Na primeira (figura 28) é criado um modelo CAD 3D preciso e detalhado do produto final pretendido, de forma a obter uma visualização do resultado final e dos detalhes que o compõem. De seguida, os componentes individuais são transferidos do modelo 3D e cortados em chapas de copolímeros usando uma máquina CNC de 5 eixos (figura 29). Posteriormente, os componentes individuais são quinados em várias formas e/ou soldados por extrusão até atingir as formas pretendidas (figura 30). Por último, procede-se à pintura do produto com a tonalidade e cor pretendidas pelo cliente (figura 31).

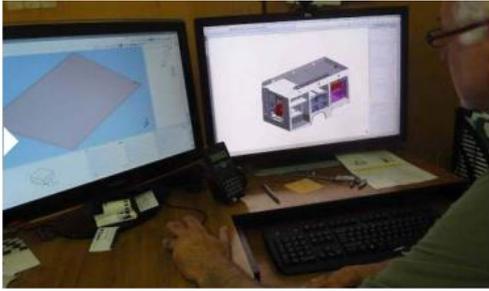


Figura 29 - Desenho em CAD 3D do produto (Group, 2015).

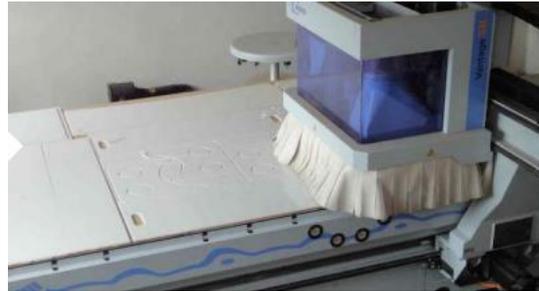


Figura 28 - Corte das placas de co-polímero de polipropileno ou polietileno na máquina CNC (Group, 2015).



Figura 31 - As peças cortadas são quinadas e/ou soldadas por extrusão (Group, 2015).



Figura 30 - Pintura do produto (Group, 2015).

A soldadura de termoplásticos divide-se em três etapas sequenciais: preparação das superfícies, aplicação de calor e pressão, e arrefecimento (Giro, 2016). A soldadura por extrusão, em particular, recorre a um material de adição sob a forma de fio ou granulado, que é fundido e plastificado na extrusora. As chapas a soldar são pré-aquecidas com gás quente, enquanto a pressão requerida para a soldadura é gerada pelo material depositado e pela pressão exercida pelo bico de solda. O processo, que é manual ou parcialmente automatizado, torna-se interessante do ponto de vista económico para soldaduras de grandes dimensões em chapas espessas. Por exemplo, permite soldar espessuras acima de 12,5 mm num único passe (Giro, 2016).

A PolyBilt dedica-se à fabricação de superestruturas em material polimérico para veículos de combate a incêndio. O corpo e o tanque de água são produzidos em *Polyprene*, um copolímero que resulta da combinação de monómeros de etileno e propileno. Segundo a referida empresa, este material proporciona produtos duráveis, resistentes ao impacto, resistentes à corrosão e leves (PolyBilt, 2007).

Tal como acontece na ZHT Group, antes de se iniciar o processo de fabrico, todos os tanques de água ou espuma, bem como todos os corpos adjacentes, são desenhados em software CAD 3D (PolyBilt, 2007). O processo de fabrico parte de chapas de *Polyprene* extrudidas com espessuras de 3/8" (9,52 mm) a 3/4" (19,05 mm), cortadas numa máquina CNC em várias partes. A união das várias partes é feita através de um processo de soldadura por extrusão de acordo com normas ASTM. É ainda utilizado um processo de quinagem denominado *Bent Edge*, de forma a reduzir o número de juntas. Após a montagem e soldadura numa peça única, esta deve ser pintada antes da montagem na superestrutura e no chassis.

A Zico é uma empresa que se dedica à fabricação de peças para a indústria automóvel em materiais compósitos, sendo que, atualmente, a sua principal atividade é o fabrico de tanques de água para veículos

de combate a incêndio. No sentido de responder aos requisitos de diversos projetos e tipos de veículos de emergência, a Zico produz dois tipos de tanques: um de armazenamento interno, feito em FRP (*Fiber-reinforced polymer*) e outro de armazenamento totalmente integrado no chassis e na estrutura do veículo de combate a incêndio. Dependendo do tamanho do tanque, do tipo, dos requisitos e especificações exigidas, os materiais compósitos utilizados podem ter matriz epóxida ou poliéster insaturado, bem como reforço em fibra de vidro ou carbono (Limited, 2015).

O fabrico dos tanques é feito por moldação manual ou infusão de resina a vácuo em molde fechado.

Finalmente, as flanges e tubos de aço inoxidável aos tanques são feitos por colagem com adesivo estrutural (figura 32) (Limited, 2015).

Relativamente ao fabrico de peças de materiais compósitos, existe atualmente uma grande variedade de processos. A escolha do processo adequado para uma determinada aplicação depende do tipo de materiais a processar, das dimensões e da complexidade das peças a obter, e das propriedades que se pretende atingir. Os processos podem classificar-se em processos em molde aberto, que garantem apenas bom acabamento superficial numa face, e processos em molde fechado (Cavaleiro, 2018).

O processo de fabrico mais simples é a moldação manual, que consiste em empilhar e impregnar com resina sucessivas camadas de fibras, operações estas feitas por operários. Este processo requer baixos investimentos iniciais, tem poucas restrições quanto à geometria e complexidade das peças, e não necessita de mão-de-obra muito qualificada. No entanto apresenta algumas desvantagens importantes, tais como a baixa produtividade, dependência da habilidade e cuidado do operário, necessidade de maquinaria posterior para eliminar rebarbas e dar melhor acabamento, e a libertação de substâncias voláteis (por exemplo, o estireno), o que exige que o processo seja realizado em locais abertos ou bem ventilados. Este processo é ideal para pequenas séries (abaixo de 1000 peças por ano).

A moldação por projeção é também um processo em molde aberto que se aplica a compósitos de fibras curtas. Neste processo, fibra e resina são projetadas sobre o molde por pistola, que é alimentada por resina e por *rovings* de fibras, que são cortadas na pistola com o comprimento desejado (Furtado, 2009).

A moldação por vácuo consiste na aplicação de vácuo no interior do molde com as fibras nele pré-colocadas durante a cura da resina. Esta pode estar também pré-colocada antes de se fechar o molde e de aplicar vácuo. Em alternativa, a resina é transferida para o molde já fechado através do próprio vácuo, tratando-se então de um processo de infusão. Este processo é ideal para peças de médias e grandes dimensões e séries de 500 a 5000 peças por ano, permitindo obter propriedades mecânicas muito boas (Furtado, 2009).



Figura 32 - Colagem de peças de inserção de aço inoxidável em painéis de parede em GRP usados num tanque de retenção de água de um veículo de bombeiros auto-portante (Limited, 2015).

## **Capítulo 3**

---

**A Empresa Jacinto Marques de Oliveira, Sucrs. Lda**



### **3. A Empresa Jacinto Marques de Oliveira, Sucrs. Lda**

#### **3.1.História e estrutura atual**

A Jacinto Marques de Oliveira, Sucrs. Lda (JMO) é uma empresa familiar sediada em Esmoriz (figura 33) cujas origens remontam ao ano de 1954, tendo a atual designação desde inícios de 1968. O fundador Jacinto Marques de Oliveira desenvolveu bombas manuais para retirar água de poços, produto que teve muita aceitação no mercado nacional. Esta foi uma das principais atividades entre 1954 e 1980, mas a empresa passou a fabricar casas pré-fabricadas metálicas como produto principal até ao ano 1985. Em 1986, com a diminuição da procura das casas pré-fabricadas, a empresa desenvolveu um protótipo de uma viatura de combate a incêndios florestais, sob um chassis Toyota Dyna com transformação em 4x4 e carroçaria produzida pela empresa.

Atualmente, a Jacinto tem como principal atividade a fabricação de superestruturas e montagem de viaturas de combate a incêndio, socorro e salvamento. Desenvolve ainda, como atividades secundárias, o fabrico e montagem de casas pré-fabricadas e estruturas metálicas, bem como a construção de pavilhões industriais e a fabricação e montagem de estruturas metálicas (Jacinto, Manual de acolhimento da empresa, 2022).



*Figura 33 - Sede da empresa JMO.*

Em 2004 a empresa certificou a gestão da qualidade pela norma NP EN ISO 9001. Posteriormente, em 2014 obteve a certificação de gestão ambiental e gestão da Saúde e segurança ocupacional pelas normas NP EN ISO 14001 e NP EN OHSAS 18001, respetivamente. Em 2016, a empresa recebeu o último certificado acerca das Estruturas Metálicas segundo a norma NP EN 1090.

A JMO está atualmente estruturada em 10 departamentos, conforme o esquema da figura 34. Este trabalho foi desenvolvido no departamento de produção, que conta com as divisões de veículos de combate a incêndio e de estruturas metálicas/pré-fabricados.

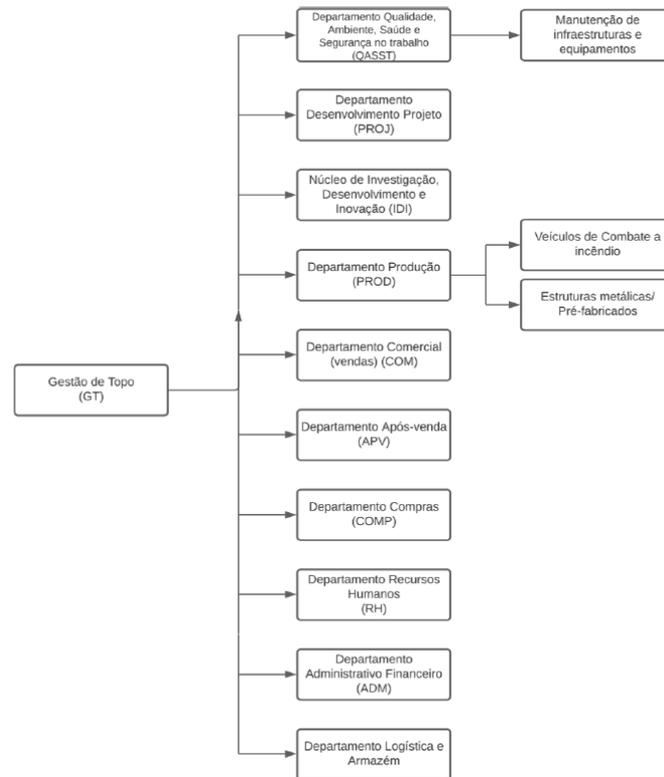


Figura 34 - Estrutura organizacional da empresa.

### 3.2. Tipologias de veículos de combate a incêndio

O atual catálogo de veículos fornecidos pela JMO inclui diversas categorias de veículos de combate a incêndio (Jacinto, Catálogo de veículos Jacinto, 2020): Veículo de Comando Tático; Veículo Ligeiro de Combate a Incêndio; Veículo de Socorro e Apoio Tático; Veículo Motorizado Específico; Veículo de Socorro e Apoio Especial; Veículo de Apoio Mergulho; Veículo Urbano de Combate a Incêndio (VUCI); Veículo Florestal de Combate a Incêndio (VFCI); Veículo Especial de Combate a Incêndio; Veículo Tanque Tático Urbano; Veículo Tanque Tático Florestal; Veículo de Apoio Logístico; Veículo de Resgate e Combate a Incêndios em Aeroportos; Veículo Plataforma.

Como já foi anteriormente referido, as categorias alvo deste trabalho são os VFCI e VUCI. A tabela 9 resume as principais características de alguns dos veículos VFCI e VUCI produzidos na JMO. Em todos os casos, a estrutura é de aço galvanizado e alumínio, e o tanque de água é de aço inoxidável AISI 316L.

*Estudo da implementação de tanques em plástico reforçado com fibra de vidro em viaturas de combate a incêndios*

*Tabela 9 - Quadro resumo das características de alguns modelos de veículos VUCI fornecidos pela JMO (Jacinto, Catálogo de veículos Jacinto, 2020).*

<b>Veículo</b>	<b>Fotografia</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Capacidade do tanque (L)</b>
<b>VUCI 2000 MB 822 – 4x2</b>		8000	2000
<b>VUCI 3000 MAN TGM 15.290)</b>		14000	2800
<b>VUCI 3000 RENAULT MIDLUM 300 LIGHT</b>		15000	3000
<b>VFCI 1500 IVECO LMV</b>		7750	1500
<b>VFCI 3000 MERCEDEZ- BENZ UNIMOG U 5023</b>		14500	3000
<b>VFCI 4000 Scani P360</b>		19000	4000

## **Capítulo 4**

---

**Estudo de modelo do tanque de aço inoxidável produzido pela  
JMO**



## 4. Estudo de modelo do tanque de aço inoxidável produzido pela JMO

### 4.1.O modelo escolhido: características e detalhes construtivos

Como foi referido anteriormente, este estágio tem como objetivo principal a comparação das vantagens e desvantagens da utilização de materiais alternativos ao aço inoxidável AISI 316L. Como base para este estudo escolheu-se o tanque de água do VFCI de Silves, modelo D14 P 4x4 CCR da Renault, produzido na JMO (figura 35).



Figura 35 - VFCI de Silves em fase de produção na JMO

Segundo o despacho nº 7316-2016 da norma EN 1846 (ANEPC, 2016), os VFCI devem possuir um tanque de agente extintor com capacidade mínima de 3000 a 4000 litros ( $\pm 5\%$ ), e, quando construído em aço inoxidável 316L, deve ter espessuras mínimas de 4 mm na chapa de fundo, 3 mm nas chapas laterais e 3 mm nas chapas de topo. Além disso, devem possuir:

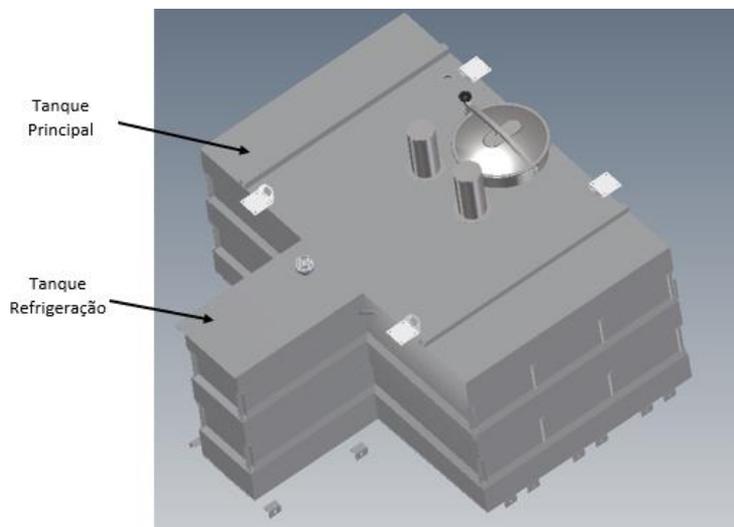
- Anteparas verticais fixas e paralelas aos eixos do veículo, feitas do mesmo material do tanque, e com 2,5 mm de espessura mínima;
- Duas anteparas verticais e perpendiculares aos eixos do veículo, de forma a criar compartimentos dentro do tanque que devem ter uma capacidade máxima de 500 litros.

O objetivo da utilização das anteparas é reforçar a estrutura e distribuir a ação dinâmica do fluido do líquido extintor por várias superfícies, evitando concentrar todas as tensões sobre as chapas laterais e as chapas frontais/traseiras.

Os tanques de água dos VFCI devem ainda possuir:

- Um orifício de enchimento com tampão de abertura rápida;
- Duas canalizações laterais (uma de cada lado) para o enchimento do tanque, montadas na retaguarda do eixo traseiro e fixadas à superestrutura, com válvula de retenção;
- Dispositivos de evacuação de água, também designado por “tubo ladrão”, que descarrega sob o chassis atrás do eixo de retaguarda, de modo a limitar as perdas em andamento e a evitar que a pressão ultrapasse os 0,20 Kg/cm<sup>2</sup> com todas as tampas fechadas durante o enchimento ou com idênticas pressões;
- Canalização do tanque para a entrada da bomba de serviço de incêndios, munida de um filtro visitável e amovível e de válvula flangeada para a redução de perdas de carga da bomba;
- Sistema anti-vórtice no tanque e na saída para a bomba de serviço de incêndios;
- União flexível na canalização de saída para a bomba de serviço de incêndios, de modo a absorver vibrações e torções;
- Orifício para esvaziar totalmente o tanque com facilidade de acesso da periferia da superestrutura;
- Dispositivo luminoso que permita verificar o nível de água no tanque;
- Argolas ou aros na parte superior que permitam a sua elevação/retirada.

Por último, os VFCI devem possuir um reservatório de refrigeração, cuja água não deve ser utilizada para o serviço de incêndios. Este reservatório é construído no interior do tanque, no mesmo material do tanque principal, com capacidade mínima de 300 litros ( $\pm 5\%$ ), enchimento autónomo e simultâneo com o tanque principal e dotado de um sistema de bombagem adequado (figura 36).



*Figura 36 - Desenho 3D do tanque principal e de refrigeração do VFCI de Silves da JMO.*

O tanque de água em estudo é abastecido através dos dois tubos de abastecimento, diretamente para o tanque de refrigeração. Após concluído o enchimento dos 300L de capacidade do tanque de refrigeração, a água (em excesso) começa a sair para o tanque principal pelo rasgo existente na chapa do tampo da frente, enchendo os vários compartimentos criados pelas anteparas no tanque principal (figura 37).

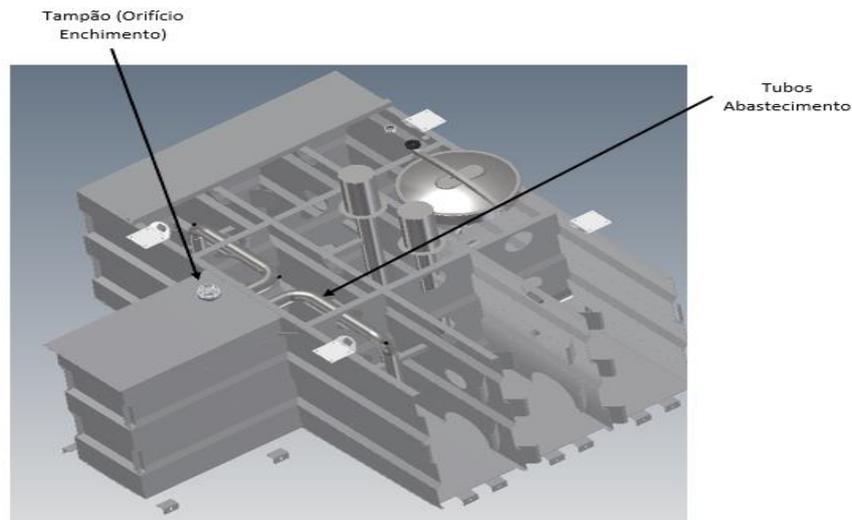


Figura 37 - Vista em corte do tanque de água do VFCI de Silves da JMO, com especial incidência nos tubos de abastecimento e no tampão.

Dentro do tanque de refrigeração existem duas flanges de refrigeração ligadas a tubos (figura 38), situadas no fundo do tanque, uma para aspiração de água em casos de emergência como, por exemplo, em situações em que debaixo ou circundados por fogo durante o combate de incêndios, e outra para drenar a água do tanque de refrigeração. De salientar que, a flange que serve para aspirar água em casos de emergência possui uma saída em T, que está ligada num dos lados para a bomba elétrica, que protege a zona da cabine através dos *sprinklers* destinados à proteção térmica do veículo, que normalmente estão instalados no *rollbar* (que tem como principal função proteger a viatura em caso de capotamento ou colisão com obstáculos), e o outro lado está ligado à bomba principal, com a função de proteger o restante carroçamento.

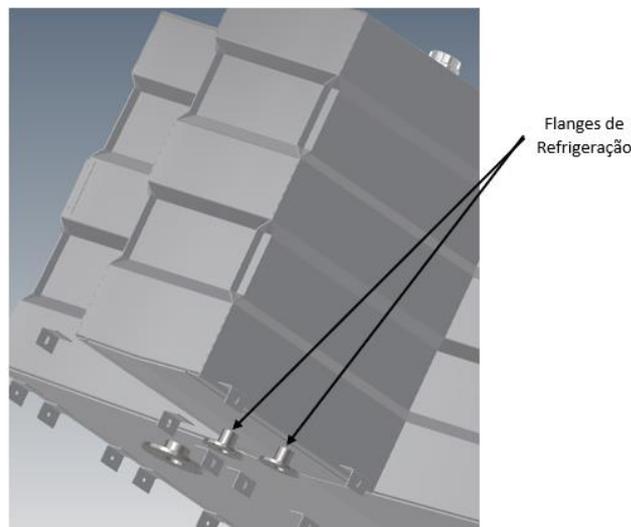
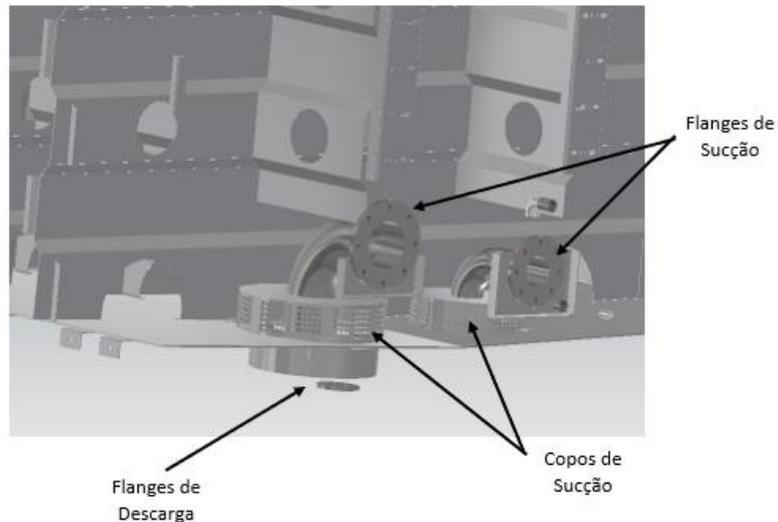


Figura 38 - Detalhe das flanges de refrigeração situadas no fundo do tanque de emergência.

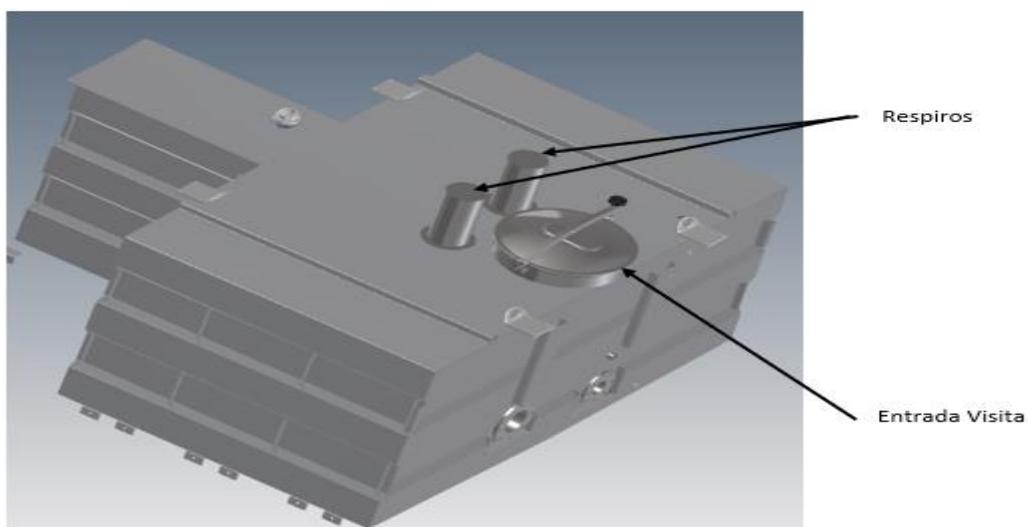
No topo do tanque de refrigeração existe ainda um tampão, ligado a um adaptador, que serve como orifício de enchimento de água para a refrigeração, tal como referido na norma (figura 38).

No tanque principal, há duas flanges de sucção de água, uma para a bomba e outra para a motobomba, que são independentes e podem ser ligadas em simultâneo. As flanges estão ligadas por tubos aos copos de sucção, que funcionam como um filtro de partículas. O copo de sucção da bomba é constituído ainda pela flange de descarga, que serve para esvaziar o tanque principal (figura 39).



*Figura 39 - Detalhes associados à sucção da água do tanque principal do VFCl de Silves da JMO.*

No topo do tanque principal situam-se a entrada de visita do tanque e os respiros. Os respiros têm por função retirar a água em excesso, quando o tanque já se encontra na sua capacidade máxima, e expulsar o ar que se encontra dentro do tanque vazio, quando este começa a ser cheio, evitando que o tanque entre em subpressão. Já a entrada de visita é utilizada para efeitos de manutenção como, por exemplo, em situações em que entra água do rio ou do mar no tanque, areias ou pequenos fragmentos e seja necessário retirá-los, ou até mesmo lavar/limpar o tanque (figura 40).



*Figura 40 -. Respiros e entrada visita do VFCl de Silves da JMO.*

O tanque do VFCI de Silves tem ainda medidores de nível de água, medidores de pressão da água e uniões de retorno da Bomba e Motobomba com o objetivo de arrefecer as bombas. Existem ainda outros equipamentos, tais como aros, suportes, apertos, uniões, etc., enumerados e identificados no Anexo I.

A tabela 10 resume as características principais do tanque de água do VFCI de Silves. O peso total foi calculado pela empresa na altura em que foi produzido o tanque.

Tabela 10 - Capacidade dos reservatórios (água e emergência) e do peso total do tanque do VFCI de Silves da JMO.

Tanque VFCI Silves		
Capacidade Tanque (L)	Principal	3200
	Refrigeração	300
Peso Total (kg)		789,334

## 4.2. Cálculo dos custos de fabrico do tanque em aço inoxidável 316L

Os custos de fabrico são um fator base para comparar soluções alternativas. Para isso, consideram-se três custos fundamentais:

- Os custos de mão-de-obra;
- Os custos de aquisição de materiais;
- Outros custos como luz/energia, água e a margem de lucro da empresa

É de salientar que os cálculos a seguir apresentados se baseiam num conjunto de estimativas e pressupostos que são adequadas para os fins comparativos pretendidos.

### 4.2.1. Custos de mão-de-obra

Resumidamente, a mão-de-obra dentro de uma empresa pode dividir-se em:

- Operária, responsável por realizar as etapas enumeradas na secção 2.5.2 para a construção dos tanques;
- Projetual, mão-de-obra qualificada com habilitações literárias superiores (por exemplo, engenheiros de desenvolvimento do produto) e salários mais elevados.

Assim, os custos totais de mão-de-obra são:

$$C_{\text{Mão-de-obra}}^{\text{Total}} = C_{\text{Projetual}}^{\text{Total}} + C_{\text{Operário}}^{\text{Total}} \quad (4.1)$$

sendo as componentes calculadas com base nas expressões:

$$C_{\text{Projetual}}^{\text{Total}} = H_{\text{Projetual}} \times C_{\text{Projetual}} \times N_{\text{Projetual}} \quad (4.2)$$

$$C_{\text{Operário}}^{\text{Total}} = H_{\text{Operário}} \times C_{\text{Operário}} \times N_{\text{Operário}} \quad (4.3)$$

em que  $H_{\text{Projetual}}$  representa o número de horas de trabalho no desenvolvimento do projeto,  $N_{\text{Projetual}}$  o número de pessoas envolvidas na fase de projeto,  $C_{\text{Projetual}}$  o custo por hora e pessoa da mão-de-obra projetual.  $H_{\text{Operário}}$ ,  $N_{\text{Operário}}$  e  $C_{\text{Operário}}$  representam as quantidades análogas para a mão-de-obra operária. No Anexo II é feito o cálculo detalhado dos custos da mão-de-obra operária e projetual. A tabela 11 apresenta o valor estimado de cada um dos custos enumerados anteriormente e calculado o custo total de mão-de-obra para o VFCI de Silves, que é o caso de estudo neste trabalho.

*Tabela 11 - Cálculo dos custos de mão-de-obra na produção do tanque de água do VFCI de Silves da JMO.*

<b>Custos Mão-de-Obra</b>	
<b><math>C_{\text{operário}}^{\text{total}}</math> (€)</b>	1140,00
<b><math>C_{\text{projetual}}^{\text{total}}</math> (€)</b>	160,00
<b><math>C_{\text{mão-de-obra}}^{\text{total}}</math> (€)</b>	1300,00

#### 4.2.2. Custos de materiais

Os custos de materiais baseiam-se na quantidade de material necessário para fabricar os tanques de água, tal como descrito na secção 2.5.2. No Anexo III são detalhados os custos de aquisição das chapas, tubos, e outros acessórios e componentes, tomando por referência as últimas compras efetuadas pela JMO. Na tabela 13 é efetuado o cálculo do custo total dos materiais necessária à construção do tanque do VFCI de Silves. Os valores obtidos para os tipos de custos identificados na tabela 12 são detalhados no anexo IV.

*Tabela 12 - Cálculo do custo total de materiais do VFCI de Silves da JMO.*

<b>Tipo de Custo</b>	<b>Custo (€)</b>
<b>Chapas</b>	3497,86
<b>Tubos</b>	162,07
<b>Acessórios</b>	594,48
<b>Outros Componentes</b>	195,88
<b>Custo Total Materiais</b>	4450,29

#### 4.2.3. Outros Custos

Entende-se por outros custos:

- Os encargos que possam surgir durante a construção do tanque de água e que não estavam contabilizados no orçamento (imprevistos);
- Os gastos em luz/energia e água utilizadas na construção do tanque;
- A margem de lucro que a empresa deve obter, incluída nesta rubrica na perspetiva da empresa.

Uma vez que não é possível calcular rigorosamente estes custos, ser-lhes-ão atribuídos valores plausíveis. Assim, para efeitos de cálculo, assumiu-se que os custos resultantes dos imprevistos e o lucro correspondem a 20% e 30%, respetivamente, da soma dos custos resultantes da mão-de-obra e de materiais. A tabela 13 apresenta as parcelas e o total destes custos da construção do tanque do VFCI de Silves.

Tabela 13 - Cálculo de outros custos associados à construção do tanque de água do VFCI de Silves da JMO.

Outros custos	Custo	Quantidade	Total (€)
Energia/luz e água	3,20 (€/h)	(horas mão-de-obra + administrativo)	204,80
Imprevistos	20 %	(custo mão-de-obra + materiais)	1150,06
Lucro	30%	(custo mão-de-obra + materiais)	1725,09
<b>Total</b>			<b>3079,95</b>

#### 4.2.4. Custo total

O custo total da construção do tanque de água do VFCI de Silves em aço inoxidável 316L é dado pela seguinte expressão:

$$C_{\text{Total}} = C_{\text{Mão-de-obra}}^{\text{Total}} + C_{\text{Matéria-prima}}^{\text{Total}} + C_{\text{Outros-custos}}^{\text{Total}} \quad (4.4)$$

A tabela 14 resume os custos totais referidos anteriormente e calcula o custo total de produção do tanque em aço inox 316L do tanque do VFCI de Silves.

Tabela 14 - Custo total estimado de produção do tanque em aço inoxidável 316L do VFCI de Silves da JMO.

Custos	Valor (€)
$C_{\text{mão-de-obra}}^{\text{total}}$	1300,00
$C_{\text{matéria-prima}}^{\text{total}}$	4450,29
$C_{\text{outros custos}}^{\text{total}}$	3079,95
$C_{\text{total}}$	8830,24

## **Capítulo 5**

---

**Estudo de modelo do tanque em polímero reforçado com  
fibra de vidro**



## **5. Estudo de modelo do tanque em polímero reforçado com fibra de vidro**

### **5.1. Seleção do material**

Na construção dos tanques de água há múltiplos fatores a ter em conta na escolha do material:

- As propriedades do material a vários níveis: massa volúmica; módulo de *Young* ou rigidez; resistência mecânica; resistência à corrosão;
- Custos que a escolha do material acarreta: aquisição; projeto; execução; tratamentos pós-construção; montagem no chassis do camião;
- Outros aspetos como fiabilidade, durabilidade e reciclabilidade.

Do estudo de mercado efetuado na secção 2.3 percebe-se claramente que os materiais compósitos são, atualmente, uma excelente alternativa aos tanques em aço inoxidável, normalmente utilizados. Em particular, os polímeros reforçados com fibra de vidro foram já implementados por várias empresas concorrentes europeias. Estes materiais caracterizam-se pela baixa massa volúmica, elevada resistência mecânica específica, rigidez elevada e resistência à corrosão. Relativamente às matrizes poliméricas, há fabricantes que optam:

- Pelos termoendurecíveis, como é o caso da empresa Gimaex Group, que usa a resina de poliéster insaturado reforçada com fibra de vidro;
- Pelos termoplásticos, caso da empresa Rosenbauer Group, que utiliza o polietileno e o polipropileno reforçado com fibra de vidro nos seus tanques de água.

Neste trabalho, os dois fatores essenciais que conduziram à escolha da matriz foram a facilidade de fabrico e a reciclabilidade, pelo que se optou pela matriz termoplástica. Teve-se também em conta que os termoplásticos têm geralmente maior ductilidade e resistência ao impacto do que os termoendurecíveis.

A solução alternativa aço inox 316L no tanque do VFCI de Silves da JMO é, portanto, a construção em placas de termoplástico. Como se viu na Secção 2.6.4, esta solução é atualmente utilizada pela ZHT e pela PolyBilt na construção de carroçarias e tanques de água de veículos de combate a incêndios e caracteriza-se pela sua modularidade, o que permite uma fácil adaptação do projeto às necessidades do cliente. As placas extrudidas podem ser adquiridas em várias formas standard, sendo primeiro cortadas e/ou conformadas. O tanque de água é então construído por união de várias partes.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é comparar as vantagens e desvantagens da utilização de um material alternativo e não inovar ou inventar uma nova solução diferente das que são atualmente disponibilizadas no mercado, escolheu-se um material plástico que já fosse utilizado no fabrico de tanques de água para veículos de combate a incêndio. O contacto com o ZHT Group permitiu saber que essa empresa utiliza o polipropileno no fabrico dos seus tanques, mais concretamente, o polipropileno copolímero. Segundo o ZHT group, os tanques de água feitos neste material apresentam as seguintes vantagens:

- São mais leves do que os tanques em alumínio ou aço inoxidável;
- Têm maior resistência ao impacto;
- São fáceis de reparar em caso de acidente;
- Praticamente não sofrem corrosão e resistem bem a ataques químicos;
- Têm vida útil muito longa;
- São recicláveis;

No entanto, ainda segundo a ZHT Group, há algumas desvantagens no uso deste material em tanques de água, tais como:

- Podem ser mais caros do que com outros materiais;
- Têm tendência a mudar de cor com o passar dos anos, ou seja, se não forem pintados desenvolvem manchas amareladas;
- Apesar de ser cada vez mais usual o uso deste tipo de materiais, os bombeiros ainda são muito conservadores e às vezes céticos em relação a usar materiais “não convencionais”.

## 5.2. Características do material escolhido

Segundo a ZHT Group, o polipropileno copolímero por eles utilizado no fabrico de tanques de água é fornecido pela empresa Röchling Engineering Plastics, com o nome comercial *Polystone P* e cor *natur*. Após consultar a empresa Röchling (Roehling, 2022), concluiu-se que o *Polystone P copolymer* é um produto com boa soldabilidade e elevada resistência química e à corrosão. Este produto é amplamente aplicado na construção de barcos, tecnologia de ventilação, na engenharia química e na construção de tanques. A tabela 15 apresenta um resumo das propriedades mais importantes do *Polystone P copolymer*.

Tabela 15 - Propriedades do *Polystone P copolymer* utilizado pela ZHT Group na produção dos tanques de água (Roehling, 2022).

Propriedades	Polystone P Copolymer	
<b>Gerais</b>	Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	>0,91
<b>Mecânicas</b>	Tensão de rotura (MPa)	>23
	Elongação (%)	>50
	Módulo de elasticidade (MPa)	>1100
	Resistência ao impacto (kJ/m <sup>2</sup> )	>30
<b>Térmicas</b>	Calor específico (kJ/kg K)	1,70
	Temperatura fusão (°C)	162 - 165
	Condutividade térmica (W/m·°K)	0,20
	Coefficiente linear de expansão térmica (10 <sup>-6</sup> /K)	120 - 190
	Temperatura de serviço [°C] (longo termo)	-30 – 100
	Temperatura de serviço [°C] (máx.)	150

No entanto, é necessário avaliar as propriedades deste polímero reforçado com fibra de vidro, uma vez que as propriedades se alteram, nomeadamente as propriedades mecânicas. Para proceder a essa avaliação

recorre-se ao software CES Edupack 2019. De facto, a adição de fibra de vidro permite aumentar significativamente o módulo de *Young*, a resistência mecânica, resistência ao impacto e temperatura de funcionamento. Com base no software CES Edupack 2019, dentro dos polipropilenos copolímeros reforçados com fibra de vidro distinguem-se os seguintes 3 tipos:

- Copolímero reforçado com 20% de fibra de vidro;
- Copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro;
- Copolímero de impacto reforçado com 30% de fibra de vidro

As propriedades destes materiais são comparadas na tabela 16.

*Tabela 16 - Comparação das propriedades dos copolímeros reforçados com fibra de vidro (Edupack, 2019-b)*

<b>Polipropileno</b>				
<b>Propriedades</b>	<b>Designação</b>	<b>Copolímero + 20% FV</b>	<b>Copolímero + 30% FV</b>	<b>Copolímero de Impacto + 30% FV</b>
<b>Físicas</b>	Densidade	1,02 – 1,06	1,12 – 1,14	1,11 – 1,13
<b>Térmicas</b>	Calor específico [J/kg °C]	1700 - 1730	1610 – 1640	1620 – 1650
	Coeficiente médio de expansão térmica [ $\mu$ /°C]	42,6 – 45,4	37 – 44,1	37,5 – 38,4
	Temperatura de serviço [°C] (máx.)	103 – 122	112 – 131	105 - 124
	Temperatura de serviço [°C] (min.)	-25 a -10	-25 a -10	-26 a -11
	Condutividade térmica [W/m· K]	0,261 – 0,271	0,322 – 0,335	0,297 – 0,309
<b>Mecânicas</b>	Módulo de elasticidade [GPa]	2,58 – 3,36	4,7 – 5,67	3,27 – 5,12
	Coeficiente de Poisson	0,365 – 0,372	0,362 – 0,369	0,366 – 0,374
	Resistência à tração [MPa]	39,9 – 50,9	60,4 – 69,2	47,9 – 59,3
	Tensão de Cedência [MPa]	42,6 – 53,7	55,5 – 80,7	53,3 – 67
	Elongamento (%)	4,17 – 7,39	4,1 – 5,28	4,81 – 7,73
<b>Custo</b>	Preço (€/kg)	1,77 – 1,94	1,74 – 1,92	1,81 – 2,59

Após a análise das propriedades, decidiu-se utilizar nos cálculos as propriedades do polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro, devido essencialmente às grandes diferenças:

- De rigidez em relação ao reforço com 20% de fibra de vidro;
- De custo para o polipropileno copolímero de impacto reforçado com 30% de fibra de vidro.

### 5.3. Dimensionamento do tanque

Tal como referido anteriormente, o tanque em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro terá o mesmo design e as mesmas dimensões exteriores do tanque do VFCI de Silves da JMO construído em aço inoxidável 316L. Além disso, os componentes e acessórios do tanque serão exatamente os mesmos nos dois tanques. É necessário agora definir as espessuras iniciais para as várias chapas do tanque, que posteriormente poderão ser alteradas conforme a análise de tensões. Inicialmente, com base no contacto com a empresa ZHT Group, definiu-se a espessura de 15 mm para a chapa de fundo e 12 mm de espessura para as restantes chapas. Todas as chapas foram modeladas como superfícies lisas com quinas vivas, tal como acontece com os tanques produzidos na ZHT (figura 41).



Figura 41 - Exemplo de um tanque de água para veículos de combate a incêndio produzido na ZHT Group feito em polipropileno copolímero (Group, 2015).

A figura 42 mostra a montagem do modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro e do tanque produzido em aço inoxidável 316L do VFCI de Silves. No anexo V é mostrado com maior detalhe todo o processo de modelação do tanque e dos restantes equipamentos do modelo inicial em compósito.

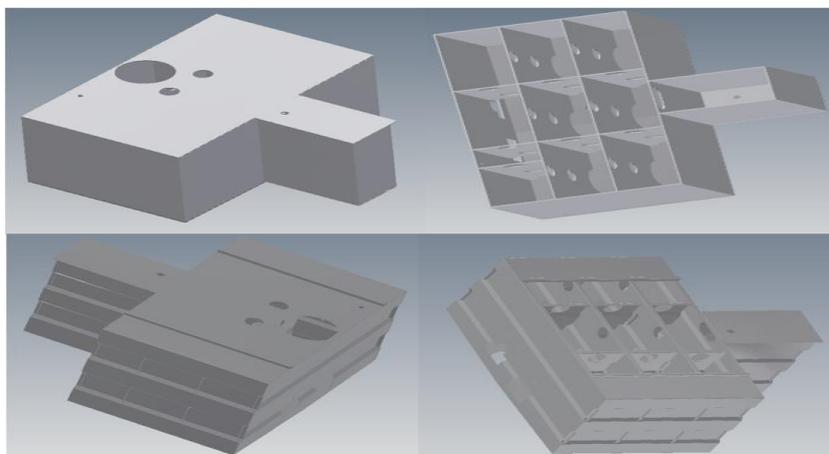


Figura 42 - Comparação da forma obtida na modelação do tanque alternativo (parte acima da figura) com o tanque original do VFCI de Silves da JMO (parte abaixo da figura).

Para efetuar a análise de tensões, apenas serão considerados os modelos representados na figura 42, uma vez que o objetivo principal é dimensionar as espessuras das chapas do tanque alternativo e identificar as zonas em que são necessários reforços.

Na tabela 17 são definidas a massa e capacidade dos tanques atual e em compósito. A análise de custos será feita apenas para o modelo final obtido. De notar que a capacidade do modelo inicial do tanque de água alternativo foi calculada de forma manual, tendo-se concluído que houve uma redução de volume de cerca de 5% relativamente ao tanque de aço inoxidável.

*Tabela 17 - Comparação da massa e capacidade do tanque original com o modelo inicial do tanque em compósito do VFCI de Silves da JMO.*

Caraterísticas		Tanque Aço Inoxidável AISI 316L	Tanque polipropileno copolímero (valores aproximados)
Massa (kg)		661,614	336,832
Capacidade (L)	Principal	3200	3050
	Refrigeração	300	285
Capacidade Total (L)		3500	3335

#### **5.4. Análise de tensões e deformações do modelo inicial do tanque**

Após o dimensionamento inicial, torna-se necessário avaliar efetivamente as tensões e deformações do tanque em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro e compará-las com as do tanque de aço inoxidável 316L. Só assim se consegue verificar se as espessuras propostas para as chapas estão corretas, ou se devem ser aumentadas ou diminuídas.

Para proceder a esta avaliação, é necessário considerar as solicitações decorrentes dos pesos do líquido e do tanque, bem como as que resultam da movimentação do líquido no tanque sob a ação de uma excitação externa. Isto constitui o chamado *sloshing*, que se define como a deformação da superfície livre de um fluido que ocorre devido aos movimentos dele num recipiente. Portanto, um projeto de camiões-tanque com tanques de alta capacidade volumétrica exige a consideração de cargas dinâmicas (*sloshing*) para reduzir os efeitos adversos no desempenho dinâmico direcional dos veículos e na estabilidade dos tanques em movimento (Micheli, 2021).

O tanque em estudo vai estar sujeito a várias condições de carga. A literatura fornece uma série de modelos analíticos e experimentais para determinar o efeito provocado pela ação dinâmica do fluido nas anteparas e chapas do tanque. É importante ainda realçar que o movimento do fluido e as tensões estão também relacionadas com a dinâmica de manuseamento do veículo. Isto torna-se evidente em casos em que o veículo é sujeito a acelerações repentinas ou travagens de emergência. Outros fatores importantes relacionados com a magnitude dessas tensões são a geometria e o nível de enchimento.

O software utilizado para a análise foi *Stress Analysis*, incluído no Inventor e utilizado na JMO. Ao contrário do que acontece com outros softwares mais sofisticados para este tipo de análise, como por

exemplo o Ansys, que permitem simular o movimento do fluido dentro do tanque, isso não acontece no *Stress Analysis* do Inventor, pelo que foi necessário encontrar formas de simular o movimento da água no tanque. Com base nos dados disponíveis na literatura, a modelação foi feita estimando e aplicando o valor máximo obtido experimentalmente da aceleração das oscilações dos elementos estruturais testados nas configurações do software (Collotta, 2017; Kovtun, 2019).

Sendo assim, foram considerados 4 cenários de simulação dos movimento do fluido no tanque analisados separadamente, uma vez que correspondem a situações distintas e independentes (normalmente). São eles:

- Aceleração repentina;
- Travagem de emergência;
- Curvas (considera que o veículo vira à direita, por exemplo);
- Condução acidentada (uma vez que o tanque de Silves pertence a um veículo florestal, considera-se um cenário em que existem bastantes irregularidades na estrada ou solavancos);

As condições de carga para cada cenário são apresentadas na tabela 18, com base no artigo desenvolvido por Collotta, M. e Solazzi, L. (Collotta, 2017).

Tabela 18 - Condições de carga para os vários cenários criados ( $g$ =aceleração gravítica;  $m$ =massa resultante da massa volúmica do fluido e do material usado no tanque (Collotta, 2017).

Condição de carga	Magnitude	Direção	Sentido
<b>Aceleração repentina</b>	0,5*g*m	Longitudinal	Contrário ao movimento veículo
<b>Travagem emergência</b>	0,8*g*m	Longitudinal	Movimento veículo
<b>Curva à direita</b>	0,7*g*m	Transversal	Da direita para esquerda
<b>Condução acidentada</b>	2,0*g*m	Vertical	Cima para baixo

Para os vários cenários é necessário calcular as massas de água e do material usado na construção do modelo. Para isso considerou-se o tanque no máximo da capacidade de água. As referidas massas foram obtidas através do modelo CAD 3D desenhado no Inventor (calculadas anteriormente). As tabelas 19 e 20 apresentam os valores obtidos para as massas dos modelos iniciais dos tanques principal e de refrigeração.

Tabela 19 - Cálculo da massa total do modelo do tanque em aço inoxidável 316L com base nas densidades deste e do fluido.

Massa	Tanque Refrigeração	Tanque Principal
<b>Chapas (kg)</b>	85,863	574,93
<b>Água (kg)</b>	300	3200
<b>Total (kg)</b>	385,863	3774,93

*Tabela 20 - Cálculo da massa total do modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero com base nas densidades deste e do fluido.*

<b>Massa</b>	<b>Tanque Refrigeração</b>	<b>Tanque Principal</b>
<b>Chapas (kg)</b>	43,38	293,45
<b>Água (kg)</b>	285	3050
<b>Total (kg)</b>	328,38	3342,45

Com as massas obtidas e acelerações definidas, calcularam-se as forças totais para cada um dos cenários (tabelas 21 e 22). De salientar que cada tanque foi analisado de forma independente, uma vez que se considera que está na capacidade máxima, não sendo possível haver circulação de água entre tanques. O mesmo acontece para cada um dos compartimentos criados pelas anteparas que foram também analisados de forma independente pelas mesmas razões.

*Tabela 21 - Valores das forças obtidas em cada cenário considerado para análise do tanque em aço inoxidável AISI 316L ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ).*

<b>Condição de carga (kN)</b>	<b>Tanque Refrigeração</b>	<b>Tanque Principal (Total)</b>
<b>Aceleração repentina</b>	1,893	18,520
<b>Travagem emergência</b>	3,028	29,630
<b>Curva à direita</b>	2,65	25,922
<b>Condução acidentada</b>	7,571	74,064

*Tabela 22 - Valores das forças obtidas em cada cenário considerado para análise do tanque em polipropileno copolímero ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ).*

<b>Condição de carga (kN)</b>	<b>Tanque Refrigeração</b>	<b>Tanque Principal (Total)</b>
<b>Aceleração repentina</b>	1,611	16,395
<b>Travagem emergência</b>	2,578	26,232
<b>Curva à direita</b>	2,255	22,953
<b>Condução acidentada</b>	6,443	65,579

Após a definição dos vários cenários a estudar e das condições de carga para os mesmos, construíram-se os modelos com especial atenção para as ligações entre chapas, ligações do tanque à superestrutura e para a forma de aplicar as cargas nas superfícies que estão em contacto com a água. Quanto a estas últimas, consideraram-se cargas concentradas no meio das chapas ou cargas distribuídas uniformemente nas superfícies. Como se pode ver na figura 43, admitiu-se que todas as chapas estão rigidamente ligadas entre si de forma a simular as soldaduras que unem as várias chapas.

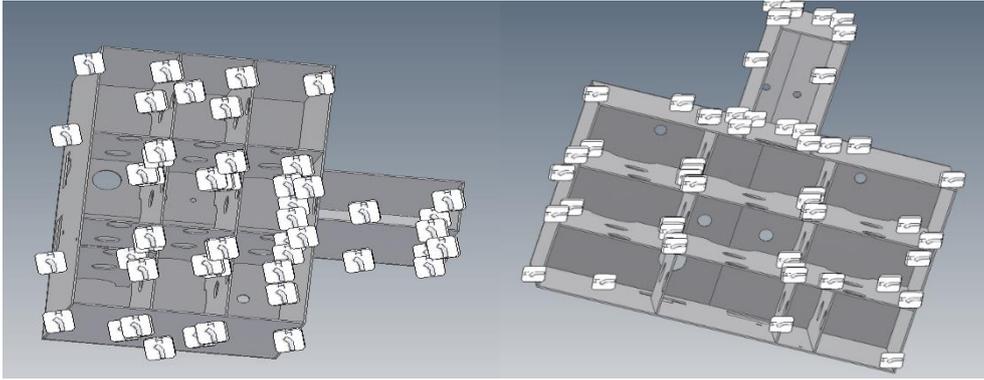


Figura 43 - Ligações entre chapas no software Stress Analysis para simular as soldaduras que as unem.

Como suporte dos tanques nos dois materiais recorreu-se à superestrutura usada pela JMO no VFCI de Silves (figuras 44 e 45).

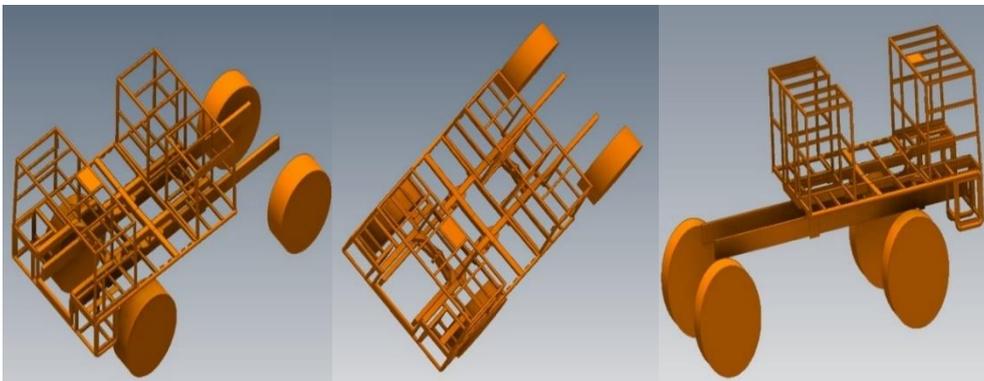


Figura 44 - Superestrutura utilizada no VFCI de Silves pela JMO, na qual o tanque é fixado.

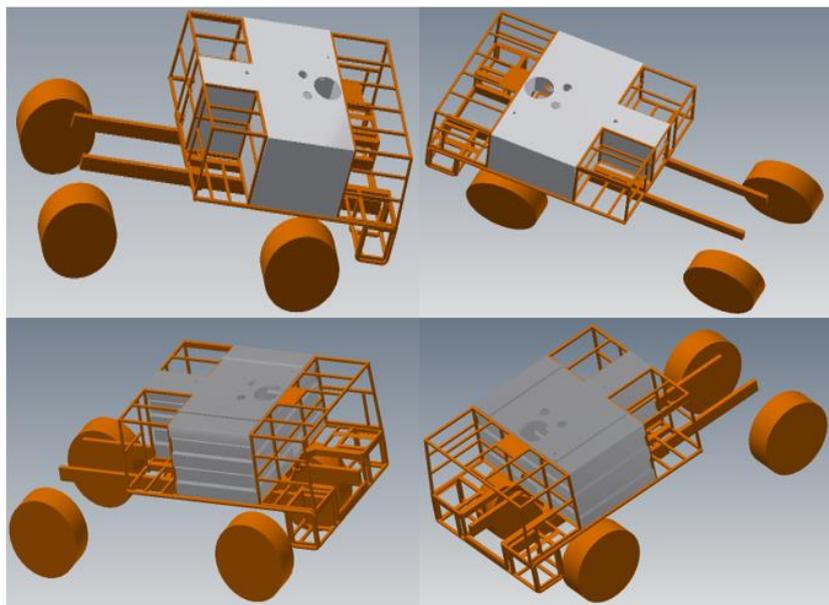
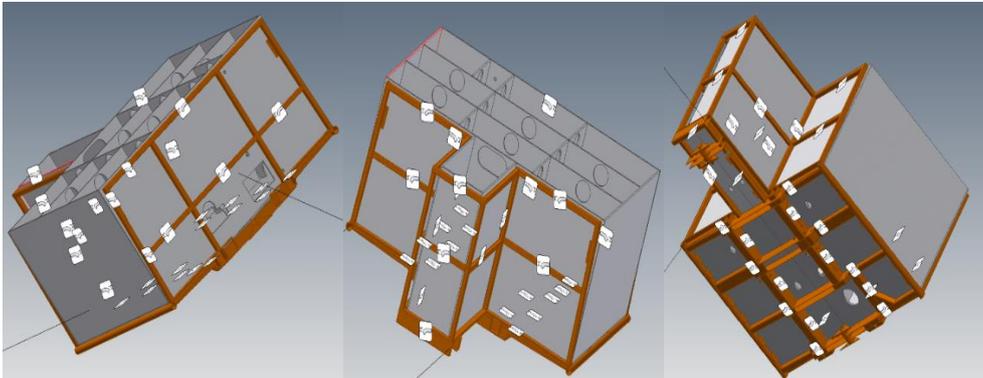


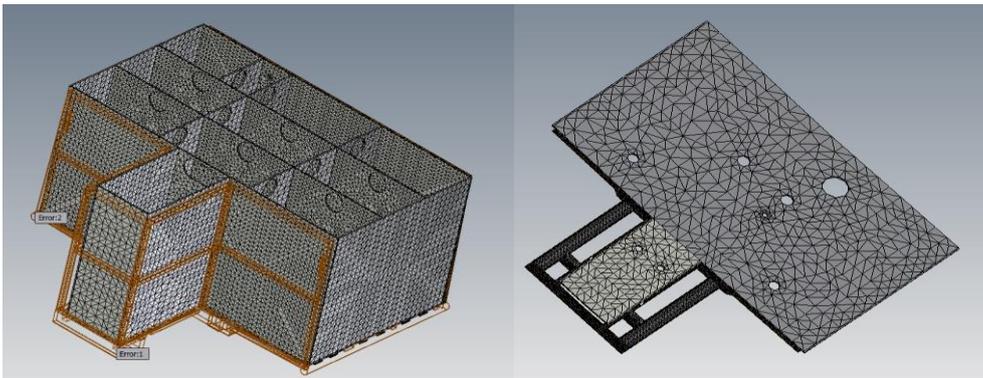
Figura 45 - Montagem dos dois tanques (em aço e em polipropileno) na superestrutura desenhada para o VFCI de Silves da JMO.

A superestrutura confere maior rigidez e resistência ao tanque, em especial nas zonas de contacto com o tanque. Sendo assim, definiu-se como condições de fronteira que as zonas de contacto entre as barras da superestrutura e as chapas do tanque são fixas, não sofrendo deslocamentos (figura 46). De referir ainda que, para não sobrecarregar a análise, simplificou-se a estrutura de forma a ficar só com as barras que efetivamente contactam com o tanque.



*Figura 46 - Condições de fronteira relativas ao contacto entre superestrutura e tanque.*

A malha de elementos finitos foi definida de forma automática pelo software *Stress Analysis*. A figura 47 mostra a malha gerada com elementos finitos sólidos tetraédricos lineares.



*Figura 47 - Malha de elementos finitos gerada através da função Mesh disponível no software Stress Analysis do inventor.*

O modelo da figura 47 foi utilizado nos cenários de aceleração repentina, travagem de emergência e curva à direita, uma vez que existem forças horizontais e verticais aplicadas nas superfícies do tanque e é necessário analisar todas as chapas do tanque. Já no cenário da condução acidentada, apenas existe uma força vertical a considerar. Logo, apenas foi considerada a parte da superestrutura que suporta a chapa de fundo, a única que suporta forças neste cenário. A figura 48 mostra o modelo usado para esta análise. Em todos os casos, as referidas forças foram convertidas em cargas distribuídas ao longo das superfícies em contacto com a água.

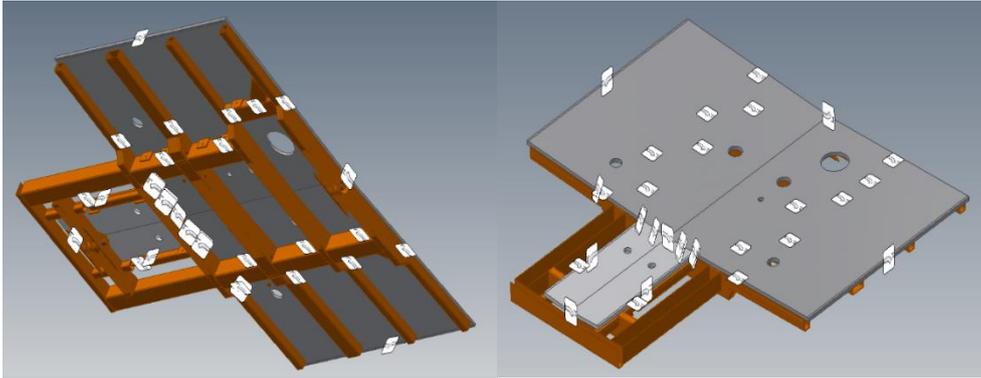


Figura 48 - Montagem do tanque na parte da superestrutura considerada para a análise do cenário da condução acidentada.

### 5.4.1. Aceleração repentina

O primeiro cenário analisado foi o da aceleração repentina. Tal como referido anteriormente, o tanque vai estar sujeito a uma força longitudinal contrária ao movimento do veículo (ver tabela 18). Sendo assim, foram aplicadas cargas distribuídas nas superfícies das chapas que suportam essa força (figura 49). Os valores das cargas distribuídas (tabela 23) foram calculados com base nas forças totais dadas nas tabelas 21 e 22.

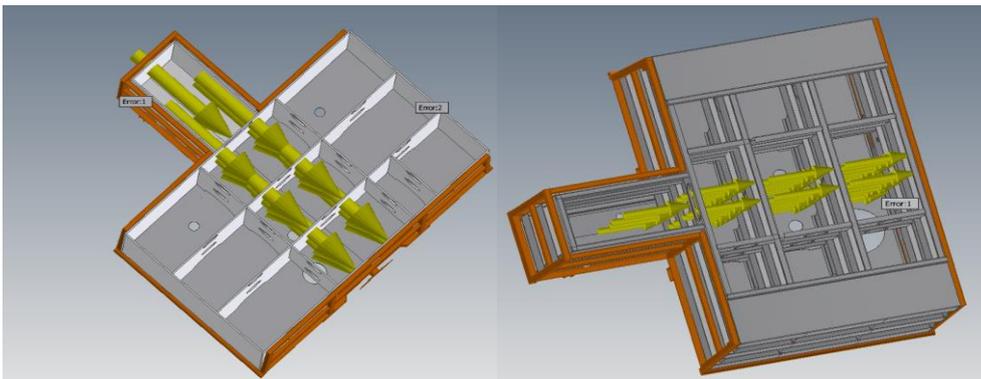


Figura 49 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de aceleração repentina.

Tabela 23 - Valores calculados para as cargas distribuídas (MPa) a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de aceleração repentina.

Pressão (MPa)	Tanque Aço AISI 316L	Tanque Polipropileno Copolímero
Antepara Tampo Frente (Refrigeração)	0,0045	0,0051
Antepara Tampo Intermédio 1	0,0018	0,0016
Antepara Tampo Intermédio 2	0,0021	0,0019
Antepara Tampo Trás	0,0020	0,0017

Na análise efetuada no *Stress Analysis* do Inventor obtiveram-se valores para o fator de segurança, para os deslocamentos e para as tensões de Von Mises e tensões principais máxima e mínima. As figuras 50 a 54 apresentam os resultados obtidos neste cenário.

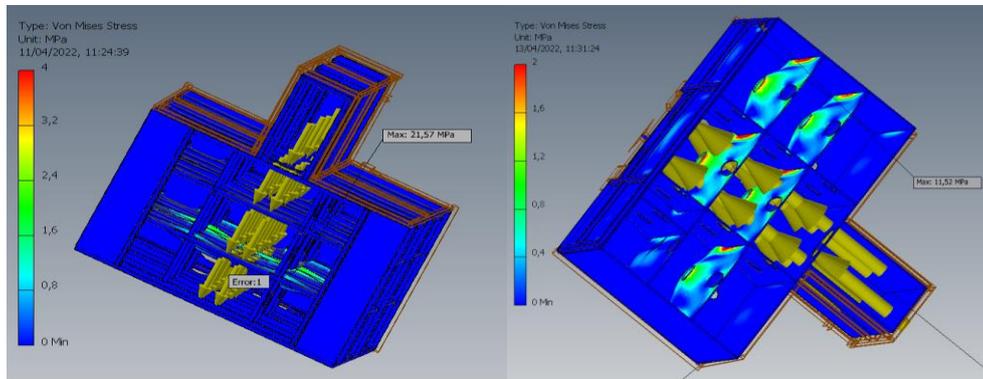


Figura 50 - Tensões de Von Mises no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 21,57 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 11,52 MPa.

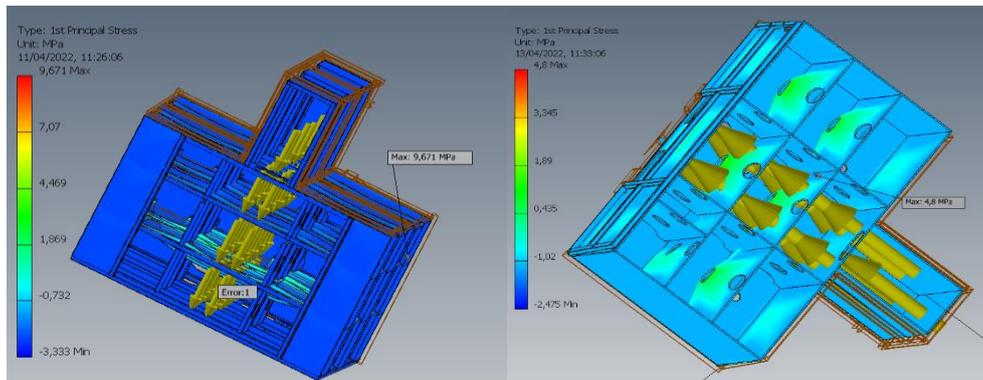


Figura 51 - Primeira tensão principal no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 9,671 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 4,80 MPa.

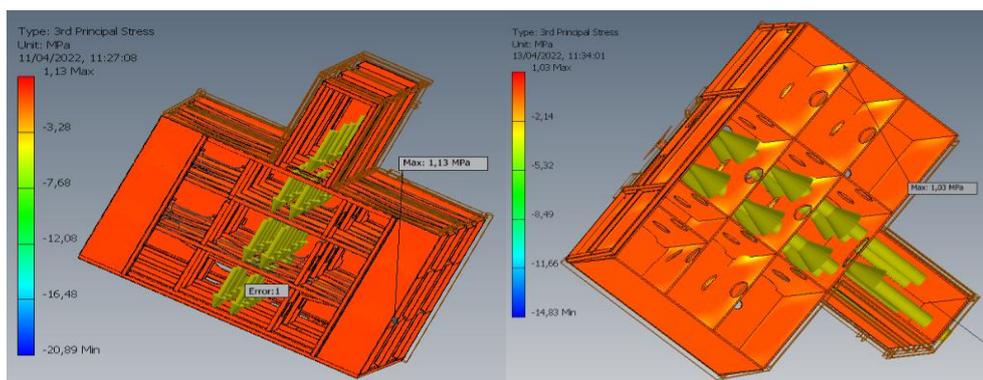


Figura 52 - Terceira tensão principal no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 1,13 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,03 MPa.

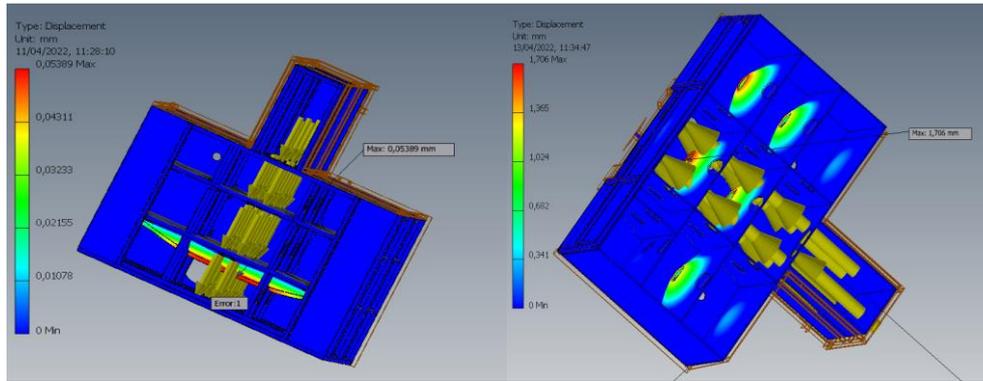


Figura 53 - Deslocamentos no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,054 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 1,706 mm.

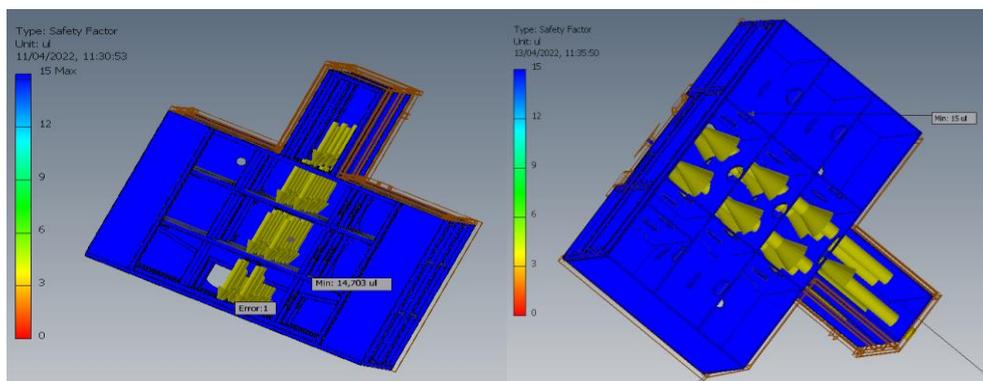
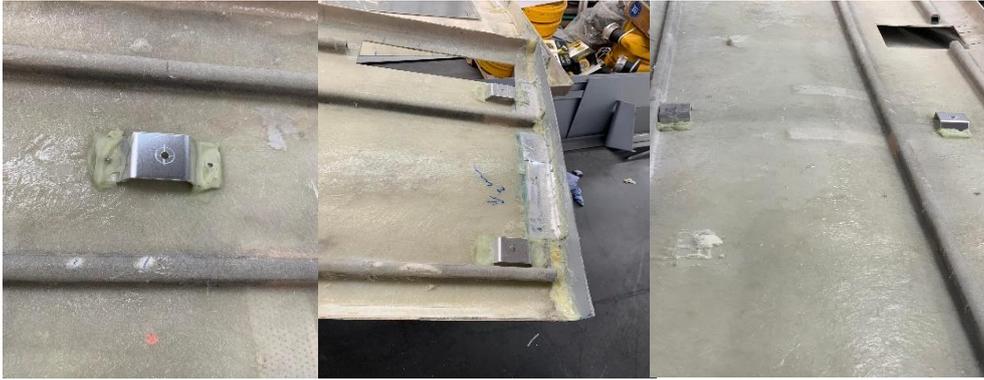


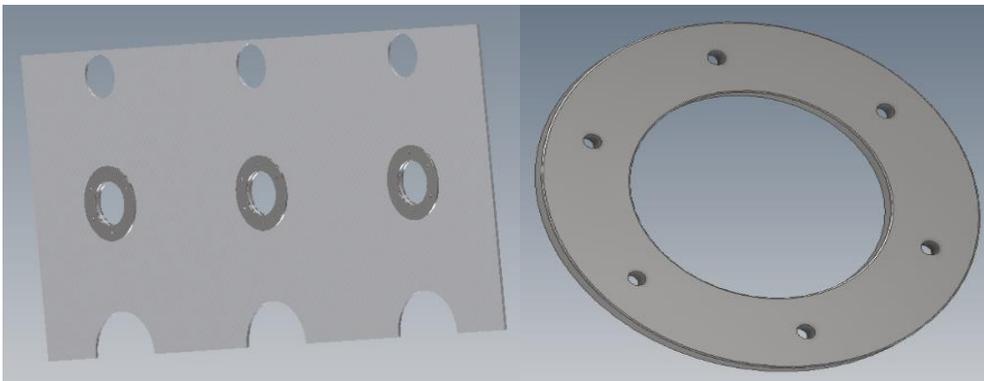
Figura 54 - Fator de segurança no cenário da aceleração repentina. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 14,89; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15.

Os resultados mostram que, neste cenário, os valores das tensões obtidos não são críticos, uma vez que se obtiveram valores bastante inferiores às tensões de cedência dos materiais que são 170 – 310 MPa e 55,5 – 80,7 MPa para o aço inoxidável e o polipropileno copolímero, respetivamente. O grande problema encontra-se nos deslocamentos obtidos. Para a análise definiu-se um valor de deslocamento limite para o projeto de 1/1000 do lado mais longo da placa, tal como proposto no artigo apresentado por Collotta, M. e Solazzi, L. (Collotta, 2017). Os deslocamentos máximos ocorrem nas anteparas verticais anteriores em ambos os tanques. O lado mais longo desta placa corresponde ao comprimento de 2306 mm, pelo que o deslocamento máximo permitido é 2,306 mm. No entanto, tal como referido anteriormente, os compartimentos criados pelas anteparas foram analisados de forma independente, pelo que o lado mais longo passa a ser a altura da placa de 1023 mm (aproximadamente), o que corresponde a um deslocamento máximo permitido de 1,023 mm. No tanque em polipropileno copolímero o deslocamento máximo está acima deste valor. Da análise da figura 54 percebe-se que os deslocamentos são maiores nas zonas destinadas à passagem da água entre os vários compartimentos. Logo, decidiu-se criar reforços em aço inoxidável 316L que serão aparafusadas às placas de polipropileno copolímero e, posteriormente, colados com resina, como acontece noutros projetos realizados na JMO (figura 55).



*Figura 55 - Exemplo de peças em aço inoxidável aparafusadas e, posteriormente, coladas com resina a uma placa de fibra de vidro utilizada noutra obra da JMO.*

A figura 56 mostra o formato dos reforços criados em aço inoxidável e a sua aplicação na antepara vertical, por forma a diminuir os deslocamentos obtidos anteriormente.



*Figura 56 - Reforço das zonas críticas identificadas no cenário de aceleração repentina por forma a diminuir os deslocamentos obtidos.*

Foi repetida a análise de tensões para o cenário de aceleração repentina, mas agora, com os reforços colocados nas zonas críticas identificadas na análise anterior. Os resultados obtidos são apresentados na figura 57. Verificou-se que, com a introdução dos reforços, os deslocamentos máximos baixaram de 1,71 mm para 0,615 mm, que já está abaixo do valor estabelecido como limite (1,023 mm).

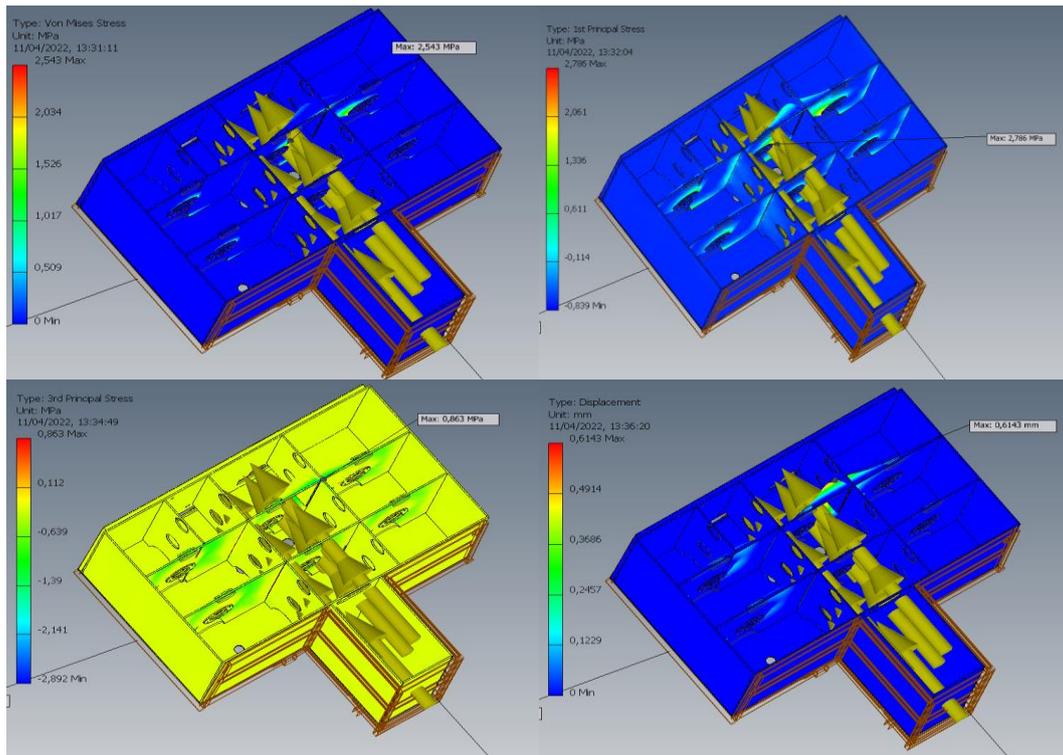


Figura 57 - Resultados obtidos no cenário de aceleração repentina após a aplicação dos reforços nas zonas de passagem da água entre as anteparas para o tanque em polipropileno copolímero. Tensão máxima de Von Mises de 10,05 MPa; primeira tensão máxima principal de 3,483 MPa; terceira tensão máxima principal de 0,86 MPa; deslocamento máximo de 0,615 mm; fator de segurança aumentou para 15.

#### 5.4.2. Travagem emergência

O segundo cenário analisado foi o da travagem de emergência. Tal como aconteceu no cenário da aceleração repentina, o tanque vai estar sujeito a uma força longitudinal resultante da travagem, mas agora na direção do movimento do veículo. Aplicaram-se por isso carga distribuídas nas superfícies das chapas que suportam o movimento da água (figura 58). Os valores das cargas distribuídas (tabela 24) foram calculados com base nas forças totais dadas nas tabelas 21 e 22.

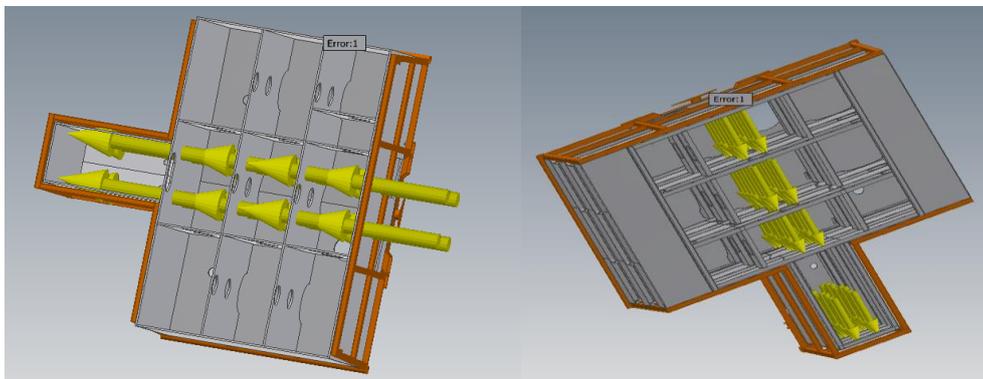


Figura 58 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de travagem de emergência.

Tabela 24 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de travagem de emergência.

Pressão (MPa)	Tanque Aço AISI 316L	Tanque Polipropileno Copolímero
Antepara Tampo Frente Refrigeração	0,0082	0,0073
Antepara Tampo Frente	0,0028	0,0025
Antepara Tampo Intermédio 1	0,0033	0,0030
Antepara Tampo Intermédio 2	0,0031	0,0028

As figuras 59 a 63 apresentam os resultados obtidos neste cenário.

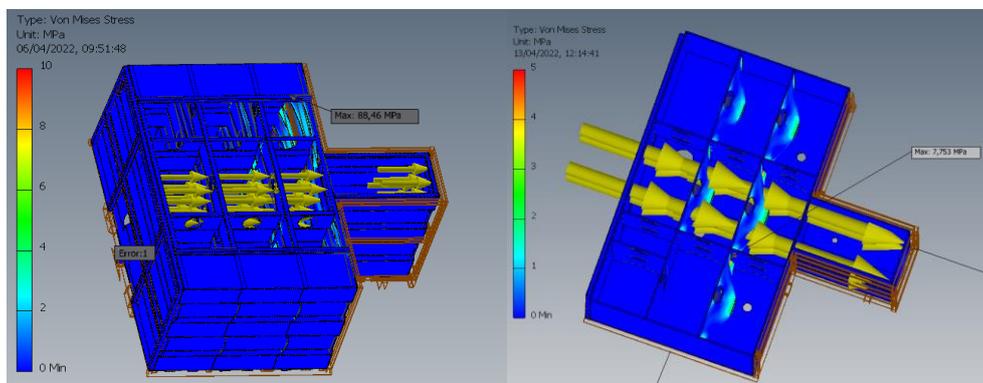


Figura 59 - Tensões de Von Mises no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 88,46 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 7,753 MPa.

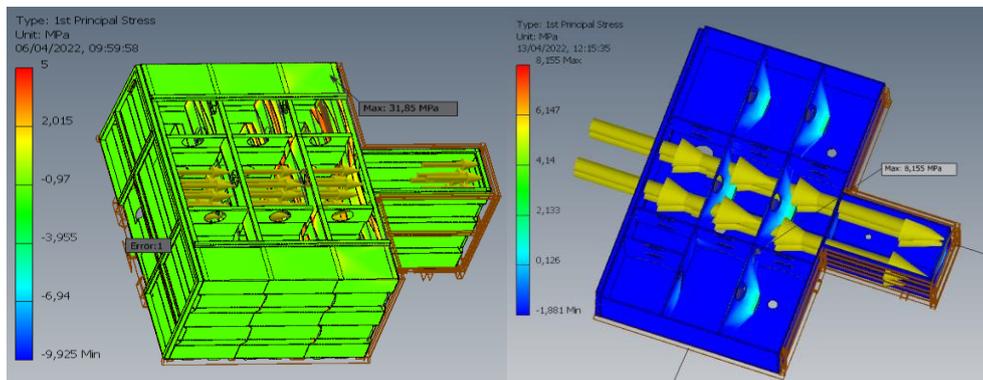


Figura 60 - Primeira tensão principal no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 31,85 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 8,155 MPa.

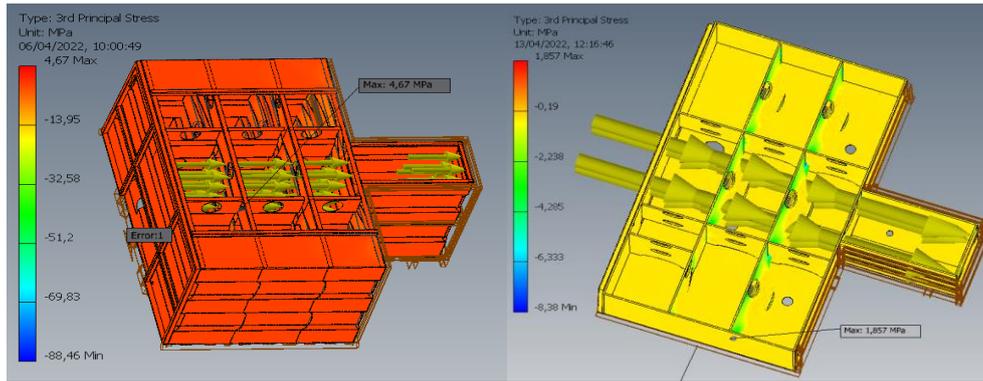


Figura 61 - Terceira tensão principal no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 4,67 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,857 MPa.

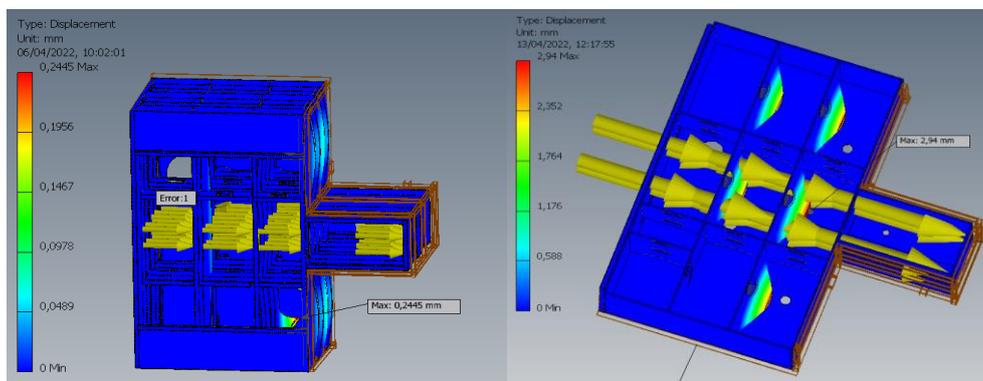


Figura 62 - Deslocamentos no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,2445 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 2,94 mm.

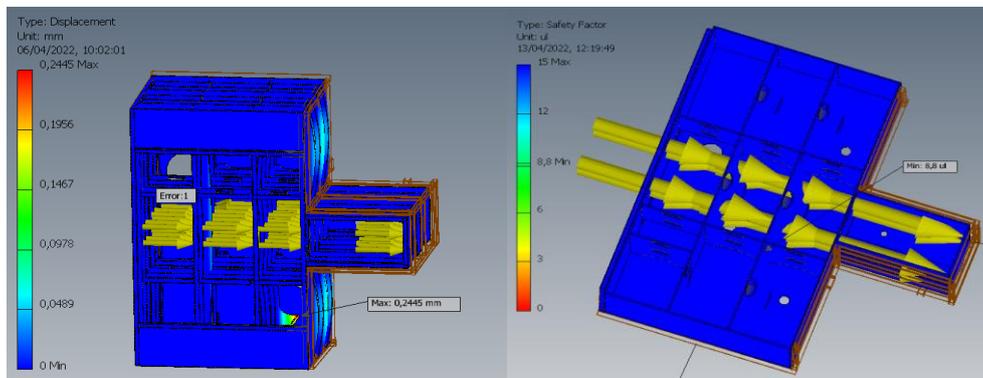


Figura 63 - Fator de segurança no cenário da travagem emergência. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 3,59; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 8,8.

Tal como acontece no cenário da aceleração repentina, os deslocamentos neste cenário são também excessivos na zona de passagem de água entre os vários compartimentos criados pelas anteparas, uma vez que se obtém o deslocamento máximo de 2,94 mm, enquanto o limite estabelecido é 1,023 mm. A solução adotada para diminuir os deslocamentos neste cenário foi a mesma do cenário anterior. Os resultados após a introdução dos reforços nas zonas críticas são apresentados na figura 64, onde se pode verificar que o deslocamento máximo baixou para 0,921 mm, valor já abaixo do limite estabelecido.

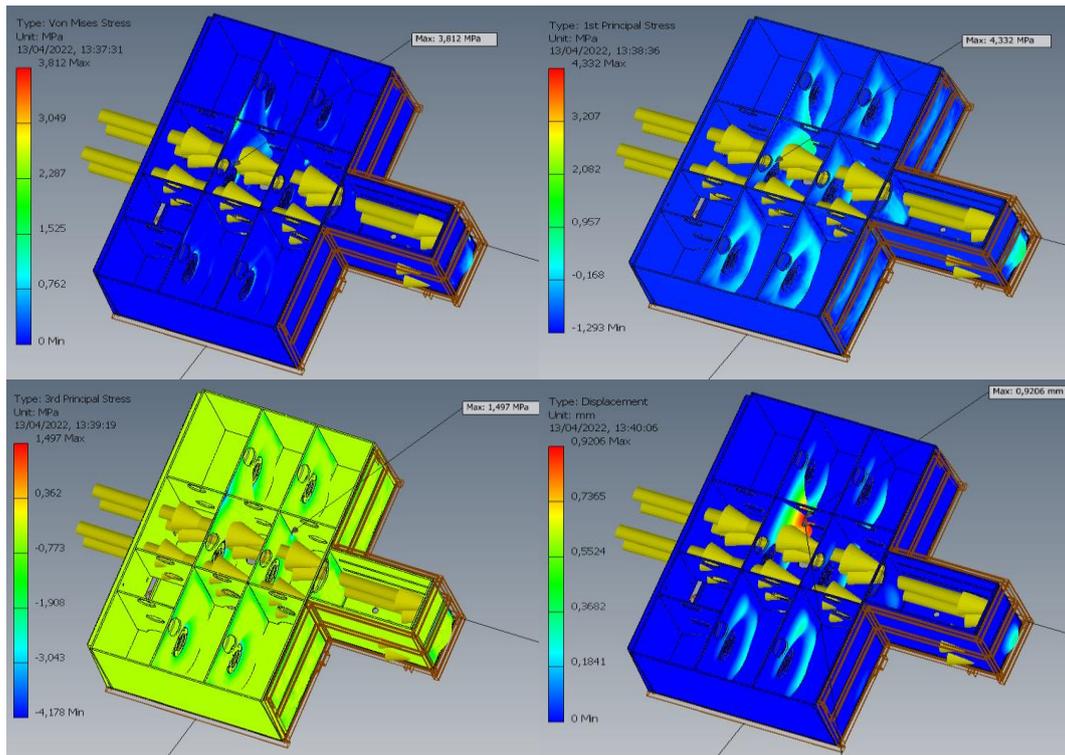


Figura 64 - Resultados obtidos no cenário de travagem emergência com a aplicação dos reforços nas zonas de passagem da água entre as anteparas para o tanque em polipropileno copolímero. tensão máxima de Von Mises de 3,812 MPa; primeira tensão máxima principal de 4,332 MPa; terceira tensão máxima principal de 1,497 MPa; deslocamento máximo de 0,921 mm; fator de segurança aumentou para 15.

### 5.4.3. Curva à direita

O terceiro cenário analisado foi o de uma curva à direita por parte do veículo. Tal como referido anteriormente na tabela 18, o tanque vai estar sujeito a forças longitudinais e verticais resultantes da curva efetuada pelo veículo. Os valores das cargas distribuídas (tabela 25) aplicados nas chapas que suportam cargas foram calculados com base nas forças totais dadas nas tabelas 21 e 22.

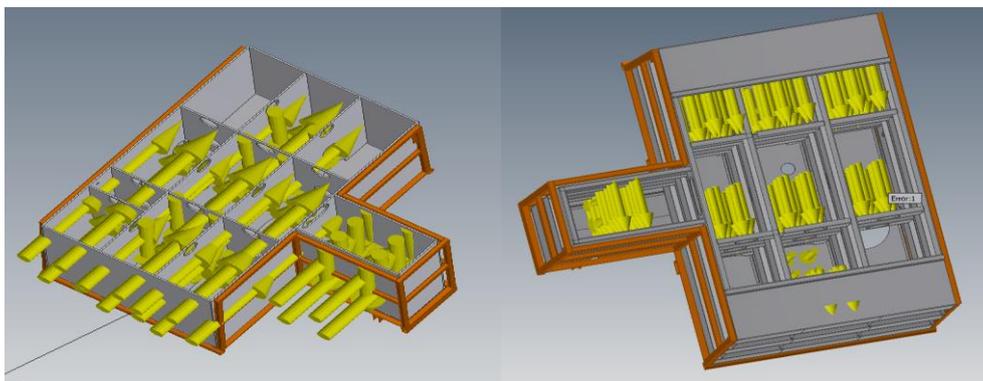


Figura 65 - Cargas distribuídas aplicadas nas chapas dos tanques no cenário de curva à direita.

Tabela 25 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas a aplicar nas chapas dos tanques no cenário de curva à direita.

Pressão (MPa)	Tanque Aço AISI 316L	Tanque Polipropileno Copolímero
Chapa Fundo Frente	0,0036	0,0032
Chapa Fundo Traseira	0,0042	0,0037
Chapa Lateral esquerda	0,0013	0,0012
Anteparas Esquerda Frente	0,0036	0,0032
Anteparas Centrais	0,0010	0,0008
Anteparas Frente	0,0010	0,0009
Anteparas Trás	0,0010	0,0008

As figuras 66 a 70 apresentam os resultados obtidos neste cenário.

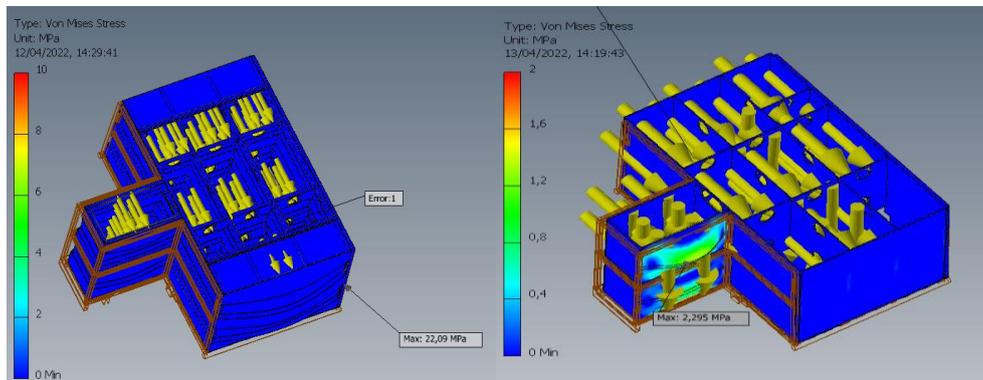


Figura 66 - Tensões de Von Mises no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 22,09 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 2,295 MPa.

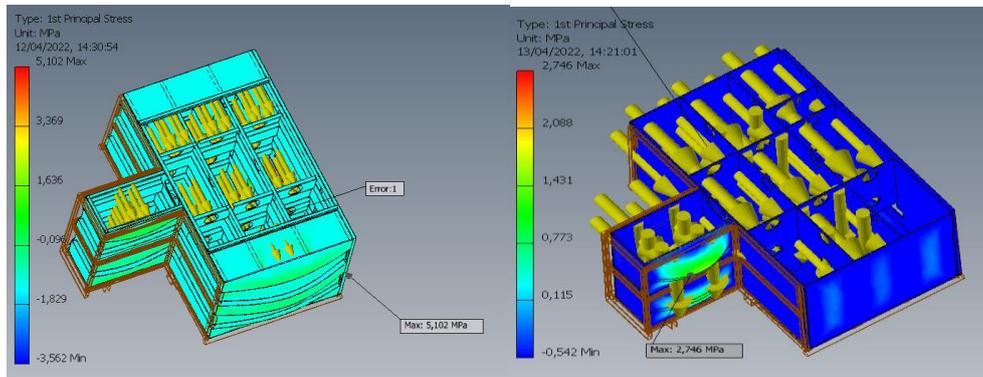


Figura 67 - Primeira tensão principal no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima 5,102 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 2,746 MPa.

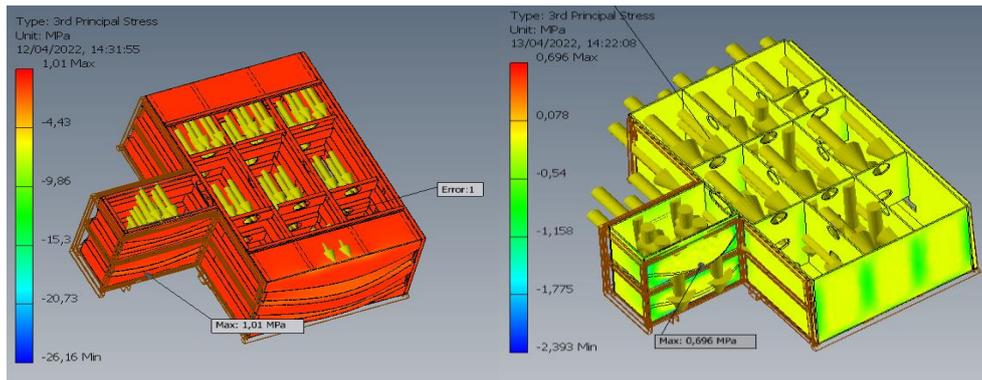


Figura 68 - Terceira tensão principal no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 1,01 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 0,696 MPa.

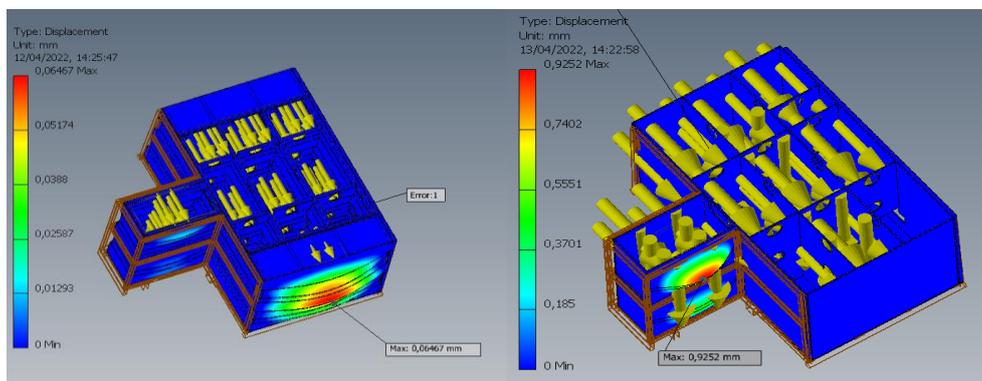


Figura 69 - Deslocamentos no cenário da curva à direita. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,065 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 0,9252 mm.

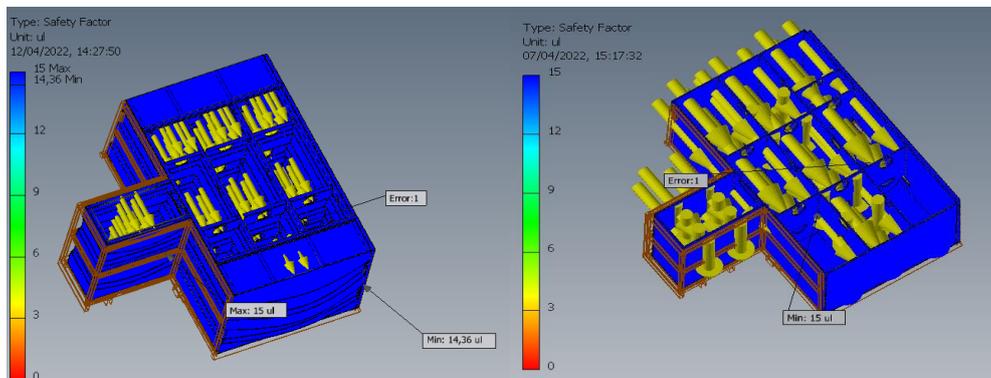


Figura 70 - Fator de segurança no cenário curva à direita. Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 14,36; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15.

Da análise dos resultados obtidos vê-se que as tensões são bastante baixas e não são críticas neste cenário. Já o deslocamento máximo de 0,9252 mm ficou bastante próximo do limite de 1,072 mm, atingindo valores bastante superiores aos do tanque de aço. Por isso decidiu-se reforçar a estrutura com mais duas barras horizontais na zona da chapa lateral do tanque de refrigeração, como mostra a figura 71.

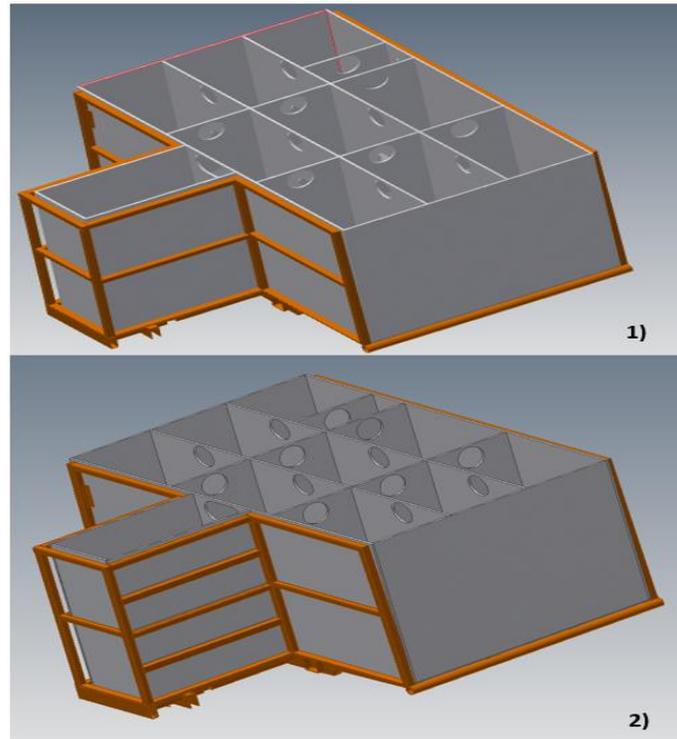


Figura 71 - Alterações efetuadas após a análise do cenário da curva à direita: 1) estrutura inicial desenvolvida pela JMO; 2) colocação de duas barras a fornecer suporte à chapa lateral do tanque de refrigeração.

Os resultados obtidos após a alteração efetuada (figura 72) mostraram que o ponto crítico em termos de deslocamentos passou a ser a chapa lateral do tanque principal. Esta chapa é consideravelmente maior do que a do tanque de refrigeração, permitindo um deslocamento limite de 1,376 mm. Como o deslocamento máximo foi 0,132 mm, a validade da solução proposta é confirmada.

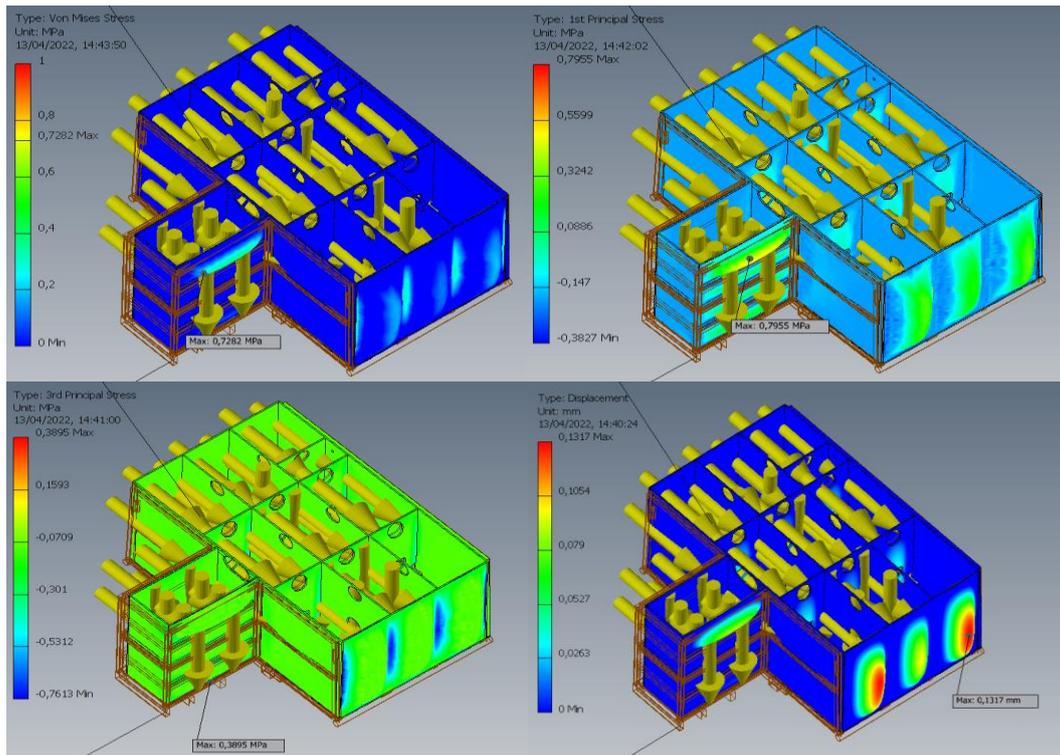


Figura 72 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário de curva à direita com as alterações efetuadas: tensão máxima de Von Mises de 0,728 MPa; primeira tensão máxima principal de 0,796 MPa; terceira tensão máxima principal de 0,390 MPa; deslocamento máximo de 0,1317 mm; fator de segurança 15.

#### 5.4.4. Condução acidentada

O último cenário analisado simula a condução do veículo numa estrada florestal, sendo designado por “condução acidentada”. Tal como referido anteriormente na tabela 18, o tanque vai estar sujeito a uma força vertical resultante das várias irregularidades que o veículo passa ao circular neste tipo de estradas. Sendo assim, aplicaram-se cargas distribuídas nas superfícies das chapas de fundo do tanque (figura 73), que são responsáveis por suportar o movimento da água durante este cenário. Os valores das cargas distribuídas (tabela 26) foram calculados com base nas forças totais dadas nas tabelas 21 e 22.

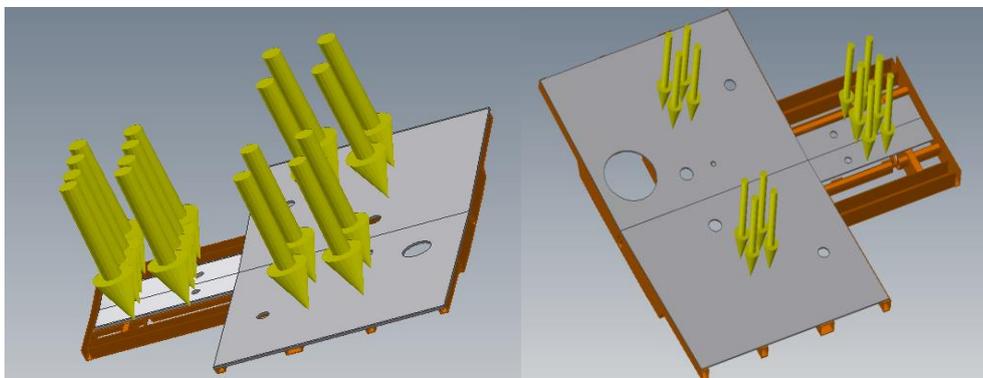


Figura 73 - Cargas distribuídas aplicadas nos tanques no cenário de condução acidentada.

Tabela 26 - Valores calculados (MPa) para as cargas distribuídas aplicadas nas chapas no cenário de condução acidentada.

Pressão (MPa)	Tanque Aço AISI 316L	Tanque Polipropileno Copolímero
Chapa Fundo Frente	0,0182	0,0174
Chapa Fundo Traseira	0,0232	0,0211

As figuras 74 a 78 apresentam os resultados obtidos para o cenário da condução acidentada nos dois tanques.

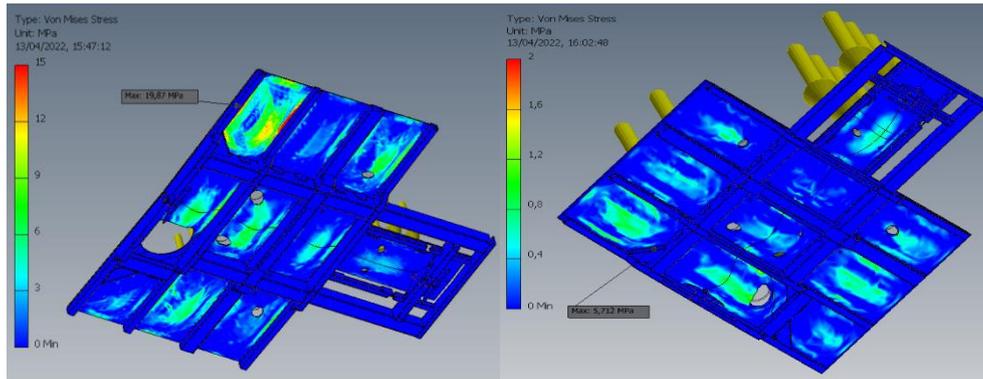


Figura 74 - Tensões de Von Mises no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 19,87 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 5,712 MPa.

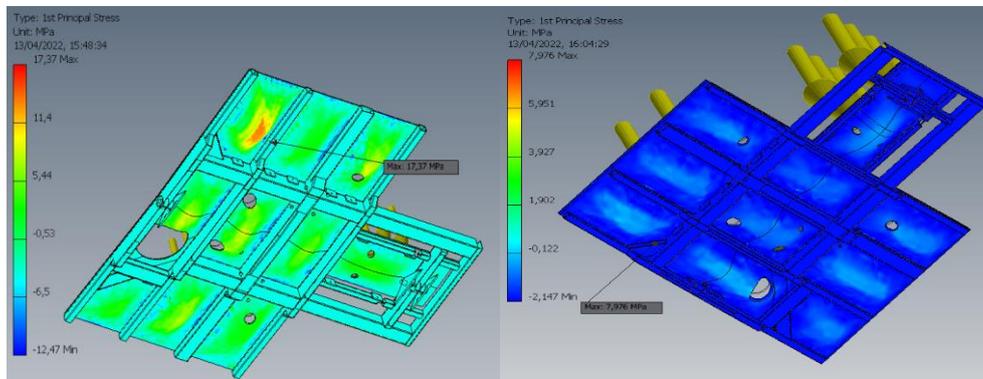


Figura 75 - Primeira tensão principal no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 17,37 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 7,976 MPa.

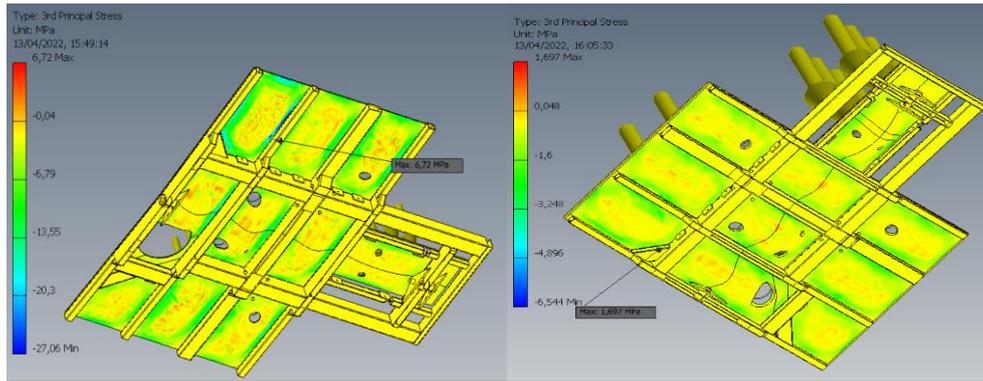


Figura 76 - Terceira tensão principal no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: tensão máxima de 6,72 MPa; Tanque em polipropileno copolímero: tensão máxima de 1,697 MPa.

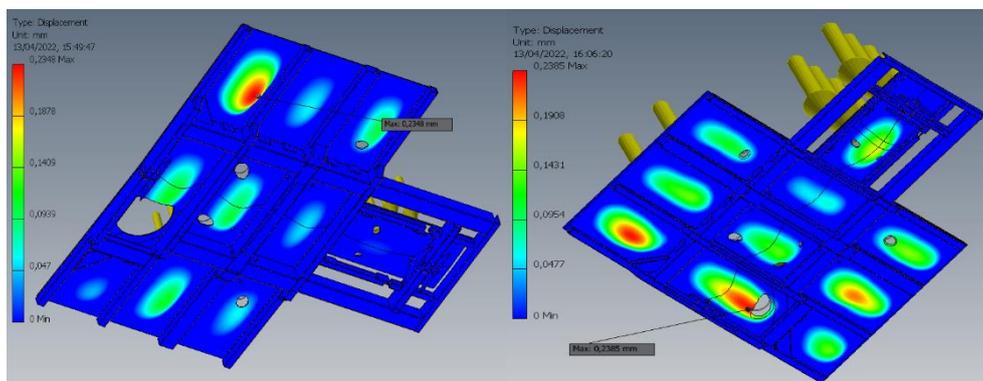


Figura 77 - Deslocamentos no cenário da condução acidentada. Tanque em aço inoxidável: deslocamento máximo de 0,2348 mm; Tanque em polipropileno copolímero: deslocamento máximo de 0,2385 mm.

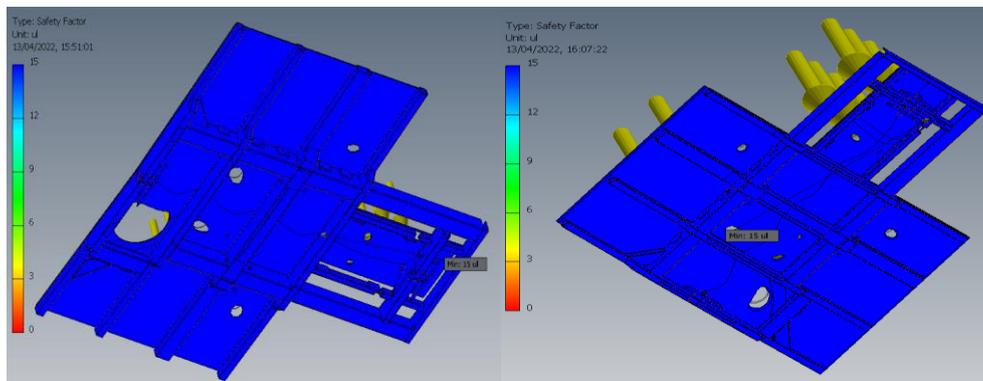


Figura 78 - Fator de segurança no cenário da condução acidentada: Tanque em aço inoxidável: fator de segurança mínimo de 15; Tanque em polipropileno copolímero: fator de segurança mínimo de 15.

Neste cenário, os valores obtidos para as tensões e deslocamentos não atingem valores próximos dos limites. Todavia, os deslocamentos na chapa de fundo de refrigeração do tanque em polipropileno copolímero (aproximadamente 0,1431 mm) são consideravelmente superiores aos do tanque em aço inoxidável (aproximadamente 0,047 mm). Sendo assim, introduziu-se uma barra na estrutura para proporcionar maior suporte à chapa de fundo e assim diminuir os deslocamentos, como mostra a figura 79.

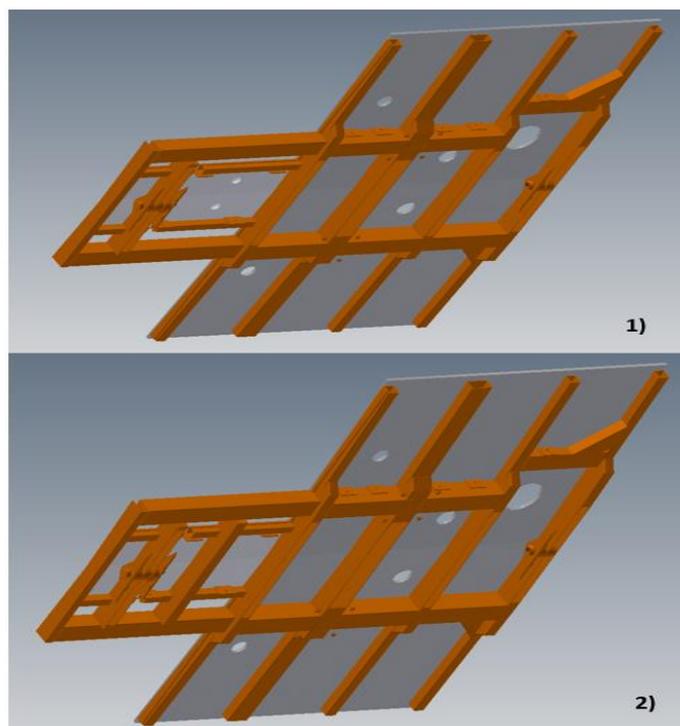
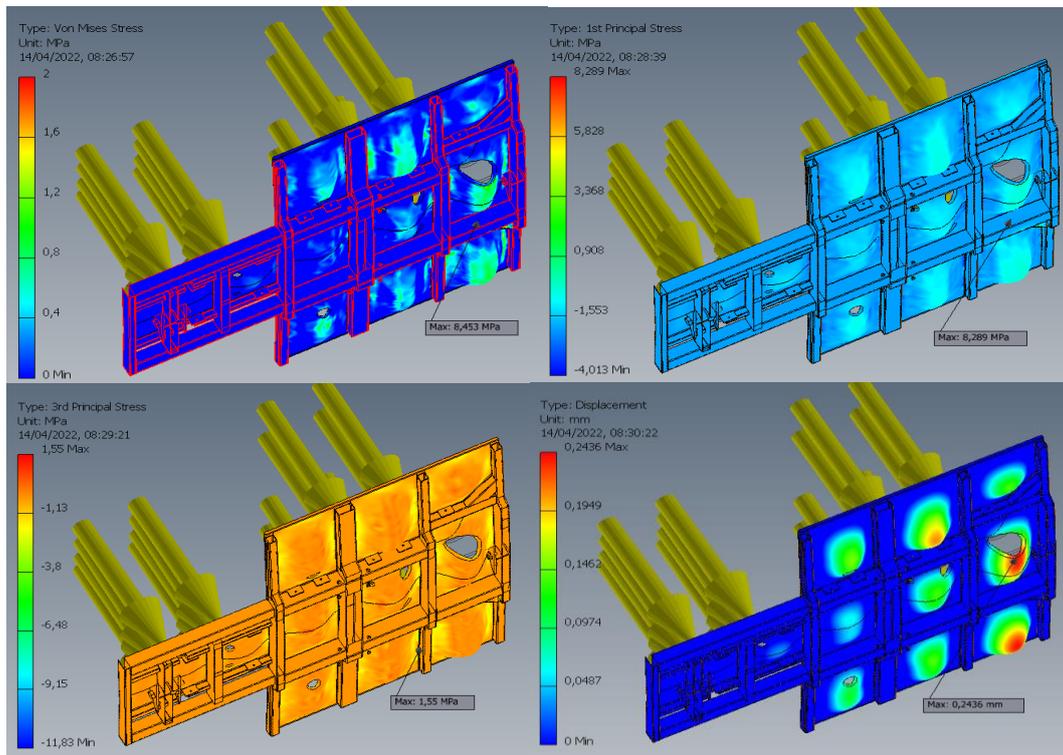


Figura 79 - Alterações efetuadas após a análise do cenário da condução acidentada: 1) estrutura inicial desenvolvida pela JMO; 2) colocação de mais uma barra a fornecer suporte à chapa de fundo do tanque de refrigeração.

Os resultados mostraram que a alteração efetuada (figura 80) diminuiu os deslocamentos no tanque de refrigeração, que ficaram próximos dos deslocamentos do tanque em aço inoxidável.



*Figura 80 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário da condução acidentada com as alterações efetuadas. Tensão máxima de Von Mises de 8,453 MPa; primeira tensão máxima principal 8,289 MPa; terceira tensão máxima principal de 1,55 MPa; deslocamento máximo de 0,2436 mm; fator de segurança 15.*

No entanto, da análise dos resultados obtidos anteriormente, verificou-se que a zona do copo de sucção passou a ser a zona de deslocamentos máximos. O supervisor deste trabalho na JMO entendeu que, tal como nos cenários da aceleração e travagem, se devia reforçar essa zona com flanges para lhe dar mais rigidez. A figura 81 ilustra a aplicação destes reforços na zona referida, enquanto a figura 82 mostra os resultados obtidos após estas alterações, que confirmaram que referida zona deixou de ser crítica. De notar que os deslocamentos e as tensões principais máximos globais aumentaram ligeiramente, mas sem atingir valores que motivem preocupações. Logo, as alterações efetuadas foram validadas.

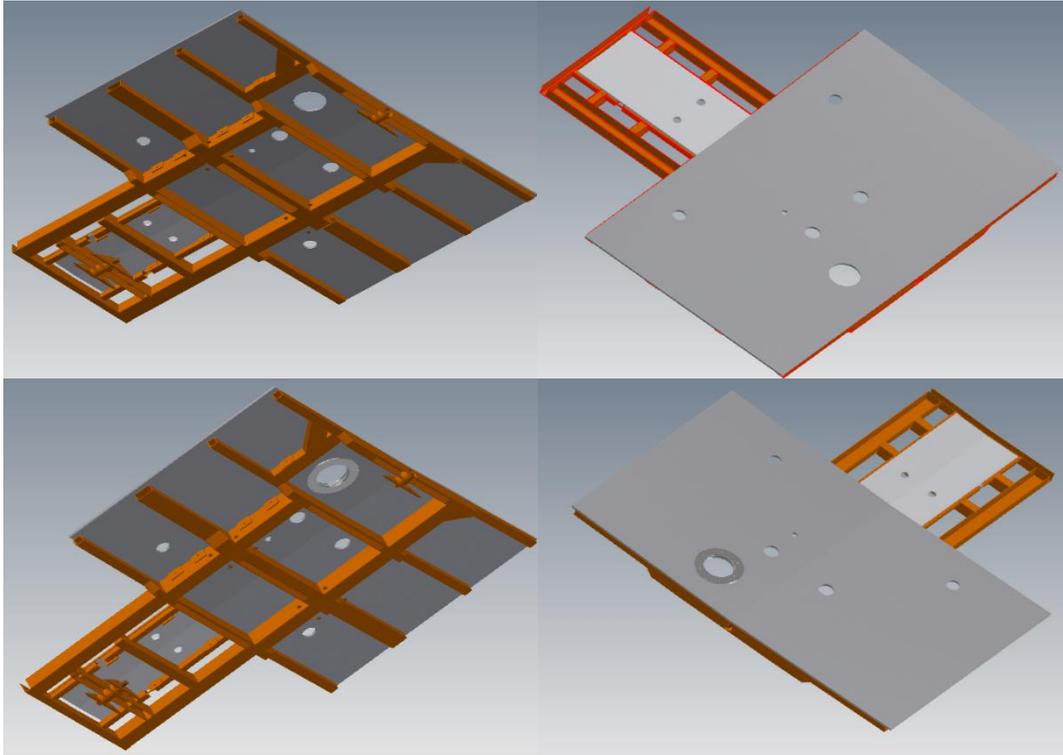


Figura 81 - Reforço da zona do copo de sucção, no cenário da condução acidentada, por forma a diminuir os deslocamentos obtidos e as tensões nessa zona.

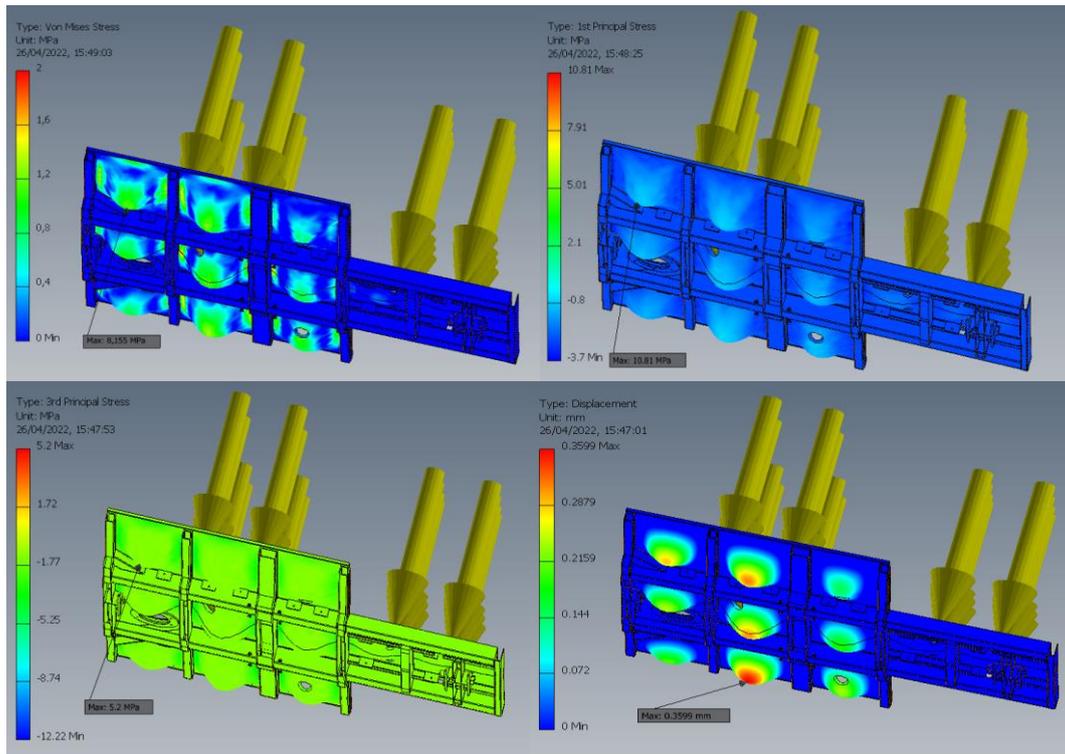
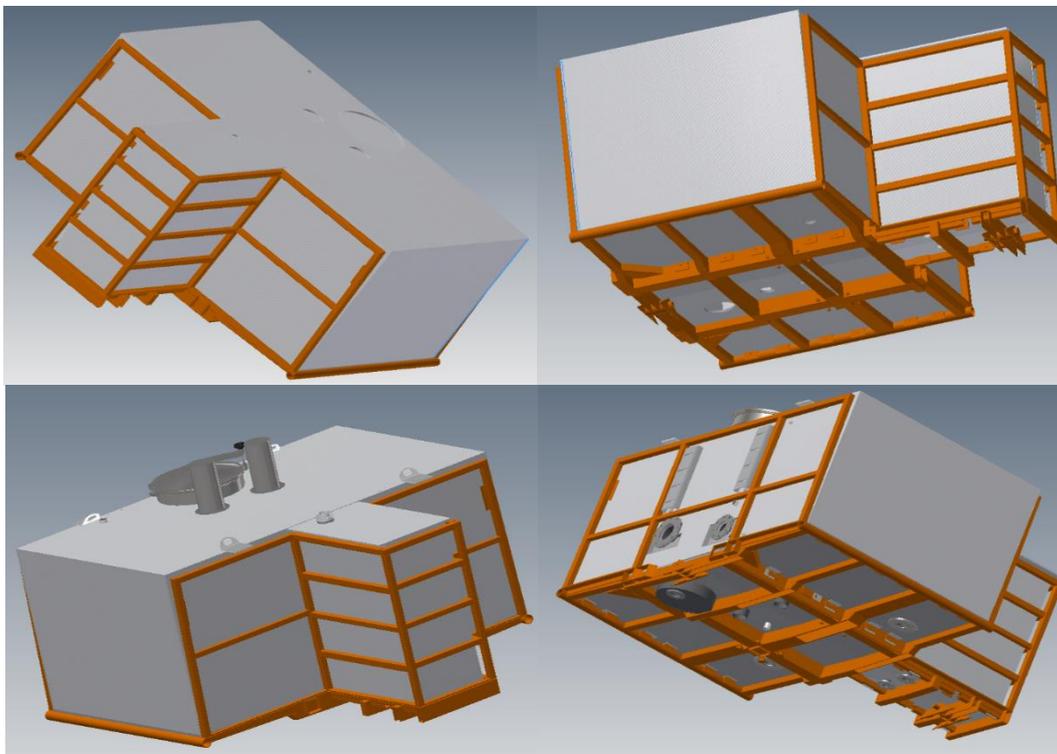


Figura 82 - Análise do tanque modelado em polipropileno copolímero no cenário da condução acidentada com os reforços na zona do copo de sucção. Tensão máxima de Von Mises de 8,155 MPa; primeira tensão máxima principal 10,81 MPa; terceira tensão máxima principal de 5,20 MPa; deslocamento máximo de 0,3599 mm; fator de segurança 15.

### **5.5. Montagem do tanque na superestrutura após as alterações efetuadas**

A figura 83 mostra a montagem do tanque na superestrutura com as alterações efetuadas na sequência das análises acima apresentadas.



*Figura 83 - Montagem do tanque sem/com componentes na superestrutura, incluindo os reforços introduzidos na zona do tanque de refrigeração.*

### **5.6. Cálculo dos custos de fabrico do tanque em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro**

Tal como foi referido na secção 4.2, o cálculo dos custos de fabrico de um tanque tem por base três parcelas fundamentais, que são os custos de mão-de-obra, os custos de materiais e outros custos associados. Neste trabalho pretendeu-se comparar os custos de fabrico do tanque original feito em aço inoxidável e do projeto criado em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro com o maior rigor possível. Uma vez que não é possível prever com rigor aceitável os custos de mão-de-obra e os outros custos associados sem a construção física do projeto, a comparação com o tanque de aço foi feita apenas em termos dos custos de materiais.

Para calcular os custos de materiais considera-se, tal como na secção 4.2, quatro tipos de custos associados à materiais, que são:

- Custo das chapas;
- Custo dos tubos;

- Custo dos acessórios;
- Custo de outros componentes.

Uma vez que os tubos são feitos em alumínio e fixos ao tanque através das flanges, assume-se que quer os tubos, quer as flanges são iguais ao tanque do VFCI de Silves da JMO. As flanges, tal como demonstrado no anexo I, são aparafusadas ao tanque projetado, como acontece no tanque atual do VFCI de Silves. Admite-se ainda que todos os acessórios são iguais nos dois tanques, pelo que os custos respetivos são os mesmos (os acessórios podem ser colados ou aparafusados às chapas de polipropileno copolímero tal como referido na secção 2.6.4).

Posto isto, determina-se que os custos das chapas e de outros componentes, excetuando as flanges, são os que variam e por isso necessitam de ser calculados. Tal como foi feito na determinação dos custos de materiais do tanque do VFCI de Silves, através do departamento de compras, foram contactados vários fornecedores de chapa de polipropileno copolímero. O anexo VI apresenta os valores de aquisição para as chapas com várias espessuras dos diferentes fornecedores consultados. O anexo VII apresenta o cálculo detalhado dos custos associados das chapas e restantes equipamentos utilizados no modelo desenvolvido em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro. Na tabela 28 é efetuado o cálculo do custo total dos materiais necessários à construção do modelo.

*Tabela 27 - Cálculo do custo total de materiais no modelo desenvolvido em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro.*

<b>Tipo de Custo</b>	<b>Custo (€)</b>
<b>Chapas</b>	1996,55
<b>Tubos</b>	162,07
<b>Acessórios</b>	594,48
<b>Barras Adicionadas à Estrutura</b>	147,02
<b>Outros Componentes</b>	141,28
<b>Reforços</b>	683,19
<b>Custo Total Materiais</b>	3724,59

## **Capítulo 6**

---

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**



## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **6.1. Conclusões**

Os tanques de água em material plástico na indústria de produção de veículos de combate a incêndios têm vindo a ter uma implementação crescente a nível internacional. Isto deve-se aos múltiplos benefícios que estes materiais oferecem em relação aos aços convencionais, tradicionalmente utilizados.

Como se pôde constatar neste trabalho, este tipo de materiais ainda não é utilizado na indústria nacional de produção de tanques de água para veículos de combate a incêndios, pelo objetivo principal foi precisamente avaliar as vantagens e desvantagens que decorrem da sua utilização. Sendo assim, o procedimento inicial passou por estudar materiais alternativos aos aços convencionais e, posteriormente, compará-los em termos de custos de produção, capacidade e peso.

Rapidamente se percebeu que os materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de vidro são os mais utilizados neste tipo de aplicações como alternativa aos aços convencionais. As matrizes mais comuns são o polipropileno, o polietileno e o poliéster insaturado. Após vários contactos com empresas especialistas na produção de tanques em material plástico para veículos de combate a incêndio, ficou claro que a solução a adotar passaria por utilizar placas de termoplástico, uma vez que estas conferem um alto grau de modularidade aos componentes, tornando-os bastante adaptáveis aos diferentes requisitos em termos de capacidade e interface com o veículo que está instalado. Feita uma avaliação prévia mais detalhada, decidiu-se utilizar as placas de polipropileno copolímero para a construção do tanque em material plástico, utilizado pela empresa ZHT Group.

Após a escolha do material a utilizar, tomou-se como base para o estudo o Veículo Florestal de Combate a Incêndio (VFCI) de Silves, construído na empresa Jacinto Marques de Oliveira (JMO) em aço inoxidável AISI 316L. Usando software de modelação 3D, foram feitos modelos do tanque atual e do tanque em polipropileno copolímero. De notar que ambos os tanques tinham as mesmas dimensões exteriores, variando apenas as espessuras das chapas. Ao contrário do que acontece com os tanques construídos em aço inoxidável, para os quais as normas definem as espessuras mínimas a utilizar, tal não sucede para os tanques em material plástico. Mais uma vez, através do contacto estabelecido com a empresa ZHT Group foi possível saber que as espessuras a utilizar seriam de 15 mm para a chapa de fundo e 12 mm para as restantes chapas.

De seguida, procedeu-se ao cálculo de tensões e deslocamentos máximos em ambos os tanques considerando as forças geradas pelo movimento da água e pela própria condução do veículo. Para isso foram criados cenários de solicitação com base em estudos publicados. Desta etapa resultou a necessidade de introduzir alguns reforços de forma a tornar o tanque em polipropileno o mais seguro possível.

Posteriormente, calculou-se o peso e a capacidade de ambos os tanques modelados através do software Inventor 2022 utilizado na JMO. Estimaram-se ainda os custos de fabrico de ambos os tanques, com base em dados disponíveis na JMO e valores obtidos de fornecedores contactados diretamente por email.

Deste estudo, concluiu-se que o tanque modelado inicialmente em polipropileno copolímero permitiu uma redução de peso de cerca de 44% em comparação com o tanque em aço inoxidável. No entanto, devido à necessidade de acrescentar alguns reforços que não existem no tanque de aço, a diminuição de peso cifrou-se em 41%.

Quanto à capacidade, verificou-se uma diminuição de 5% relativamente ao tanque em aço.

Em termos de custos de produção do tanque, consideraram-se os custos de mão-de-obra, os custos de materiais e outros custos. Uma vez a JMO não tem experiência prévia de construção de tanque em material plástico, não é possível estimar os custos de mão-de-obra nem os outros custos associados. Sendo assim, para efeitos de comparação, considerou-se apenas os custos de materiais, uma vez que são os únicos que é possível estimar com algum rigor. Daqui concluiu-se que o tanque em polipropileno copolímero permite uma redução de custos de cerca de 15% em relação ao aço inoxidável.

Em suma, do trabalho desenvolvido depreende-se que a produção de tanques em material plástico reforçado em fibra de vidro é bastante vantajosa em termos de custos e, principalmente, de redução de peso. Este é um fator de grande importância para a indústria de veículos de combate a incêndio, pois os veículos estão sujeitos a normas rigorosas que estabelecem pesos máximos que nem sempre são fáceis de cumprir. O único senão é realmente a redução da capacidade do tanque, devido às elevadas espessuras necessárias para que o tanque suporte as forças resultantes do movimento do veículo e da própria água no interior do tanque

## 6.2. Desenvolvimentos futuros

Ao longo deste trabalho foram investigados vários materiais alternativos ao aço inoxidável utilizado na JMO na construção dos tanques de água, bem como técnicas e métodos de fabrico dos mesmos. O desenvolvimento do modelo do tanque em polipropileno copolímero foi feito com base num conjunto de pressupostos teóricos que precisam de ser confirmados na prática.

Sendo assim, propõem-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Investir em softwares de simulação com maiores funcionalidades para simular o movimento da água no interior do tanque. Isto facilitará as simulações e aumentará o rigor dos resultados;
- Contactar empresas especializadas no projeto e construção de tanques em materiais compósitos, no sentido de validar e/ou melhorar as técnicas propostas neste trabalho. É também importante obter formação no sentido de qualificar os trabalhadores da empresa para este tipo de projeto;
- Construir o modelo à escala real, de modo a realizar ensaios que corroborem os resultados obtidos através da simulação computacional;
- Tentar reduzir ainda mais os custos de aquisição das chapas adquirindo-as diretamente à empresa Röchling Engineering Plastics, e não através de intermediários;

- Aprovar e, se necessário, adaptar o processo de construção do modelo do tanque em polipropileno copolímeros aos vários modelos existentes na JMO, para além do VFCI de Silves.

## **Referências Bibliográficas**

- Abinox. (2015). *ABC do aço Inox*. Obtido de <http://www.abinox.org.br/aco-inox-abc-do-aco-inox.php>
- Almeida, N. M. (2012). "*Estudo estrutural de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de juta*", *Master's thesis*,. Feup. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68248/1/000154121.pdf>
- Almeida, P. C. (2013). *FEUP BUS/CIVITAS. MIEM,FEUP*. Obtido de [https://sigarra.up.pt/feup/pt/noticias\\_geral.ver\\_noticia?p\\_nr=12937](https://sigarra.up.pt/feup/pt/noticias_geral.ver_noticia?p_nr=12937)
- ANEPC. (03 de junho de 2016). *Despacho n.º 7316/2016 da norma ISO EN 1846 da Autoridade de Emergência e proteção Civil*. Obtido de Diário da República: II série, n.º 107. Regulamento de especificações técnicas de veículos e equipamentos operacionais dos corpos de bombeiros:  
[http://www.prociv.pt/bk/LEGISLACAO/BOMBEIROS/Documents/Despacho%20n.%C2%BA%207316\\_2016\\_Reg\\_esp\\_t%C3%A9c\\_ve%C3%A](http://www.prociv.pt/bk/LEGISLACAO/BOMBEIROS/Documents/Despacho%20n.%C2%BA%207316_2016_Reg_esp_t%C3%A9c_ve%C3%A)
- Campbell, F. (2010). Introduction to Composite Materials, in: *Strutural Composite Materials. ASM International*, pp. 1–5. Obtido de [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=D3Wta8e07t0C&oi=fnd&pg=PR1&dq=Introduction+to+Composite+Materials,+in:+Structural+Composite+Materials&ots=TO\\_edASbwb&sig=hKNOOZtJAgj1Qb50FIxml\\_by\\_DM&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Introduction%20to%20Composite%20Mate](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=D3Wta8e07t0C&oi=fnd&pg=PR1&dq=Introduction+to+Composite+Materials,+in:+Structural+Composite+Materials&ots=TO_edASbwb&sig=hKNOOZtJAgj1Qb50FIxml_by_DM&redir_esc=y#v=onepage&q=Introduction%20to%20Composite%20Mate)
- Cavaleiro, J. M. (2018). *Fabrico e maquinação de compósitos de matriz polimérica com fibras curtas de carbono*, *Master's thesis*,. Leiria: Escola superior de tecnologia e gestão, Instituto politécnico. Obtido de [https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3537/1/FABRICO%20E%20MAQUINACA%20DE%20COMPOSITOS%20DE%20MATRIZ%20POLIMERICA%20COM%20FIBRAS%20CURTAS%20DE%20CARBONO%20%28EDITADO\\_09\\_06\\_2018%29.pdf](https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3537/1/FABRICO%20E%20MAQUINACA%20DE%20COMPOSITOS%20DE%20MATRIZ%20POLIMERICA%20COM%20FIBRAS%20CURTAS%20DE%20CARBONO%20%28EDITADO_09_06_2018%29.pdf)
- Collotta, M. &. (Dezembro de 2017). New design concept of a tank made of plastic material for firefighting vehicle. pp. 4603 - 4615.  
doi:<https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.2.0363>
- Coutinho, F. M. (2003). *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*.  
doi:<https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>
- Cramer, S. D. (2005). *ASM Handbook: corrosion materials*. ASM International. Obtido de <https://tajhizkala.ir/doc/ASM/ASM%20Handbook%20Vol%2013B.pdf>
- EduPack, C. (2019-a). *Stainless Steel, austenitic, AISI 316L, annealed*.
- EduPack, C. (2019-b). *Termoplastics, polypropylene copolymer reinforced with fiberglass*.
- Figueiredo, L. (2022). Obtido de Group Presentation:  
<https://www.luisfigueiredo.com/empresa/>
- Furtado, S. C. (8 de Agosto de 2009). Cálculo estrutural numérico e experimental da carenagem de um veículo. *Internacional Journal of Automotive Composites*, pp. 18-38. Obtido de <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJAUTO.2014.064112>
- Giamex. (2022-a). *Group Presentation*. Obtido de <https://gimaex.eu/>

- Giamex. (2022-b). *Firefighting Vehicles*. Obtido de <https://gimaex.eu/vehicule-de-lutte-contre-lincendie/>
- Giro, F. L. (2016). *Soldagem por extrusão em chapas de polietileno de alta densidade, Master's Thesis*. Brasil: Universidade federal do Rio de Janeiro. Obtido de <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017056.pdf>
- Gonçalves, D. J. (Julho de 2010). Avaliação de Ferramentas e Condições de Corte na Furação de Laminados Compósitos, Master's Thesis. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/71317/1/000144659.pdf>
- Group, Z. (2015). Obtido de <https://www.zht.cz/nastavby-polymodule-a-specialni-automobily/nastavby-polymodule/>
- Hamins, A. (2003). *Vehicle fire suppression research needs*. Obtido de National Institute of Standards and Technology, USA: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C13-fc563c60a16d5a8ab8d107b30de6c756/pdf/GOVPUB-C13-fc563c60a16d5a8ab8d107b30de6c756.pdf>
- Hamins, A. B. (2015). *Research roadmap for smart fire*. USA: NIST Pubs. Obtido de <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1191.pdf>
- Iturri. (2022-a). *Group Presentation*. Obtido de <https://www.iturri.com/en/who-we-are/history/>
- Iturri. (2022-b). *Vehicles – Ecopolyfire*. Obtido de <https://www.iturri.com/vehiculos/ecopolyfire-epf/>
- Iturri. (2022-c). *Wildfire Vehicles*. Obtido de <https://www.iturri.com/en/vehicles/emergencies-and-fire-fighting/wildfire/>
- Jacinto. (2020). Catálogo de veículos Jacinto. pp. 54-84.
- Jacinto. (2022). *Manual de acolhimento da empresa*. Esmoriz.
- Joshi, V. S., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, pp. Vol. 35 p. 371 – 376.
- Karian, H. (2003). *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Revised and Expanded*. Taylor & Francis.
- Kim, A. (2017). Advances in fire suppression systems. *Construction Technology Update No. 75*. Obtido de <https://silo.tips/download/advances-in-fire-suppression-systems>
- Kovtun, V. K. (2019). Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation. *Bulgarian Society for NDT, International Journal*. Obtido de <https://www.bg-s-ndt.org/journal/vol2/JNDTD-v2-n4-a16.pdf>
- Lariviere, D. K. (2004). Interfacial properties in commingled yarn thermoplastic composites. Part I: Characterization of the fiber/matrix adhesion. *Polym. Compos.* 25, pp. 577–588.
- Limited, S. B. (2015). *Fire and Emergency Support Vehicle Manufacturers Overcome Problems Using Crestabond*. Obtido de OB2B Industrial Marketing & PR:

- [http://jp.scottbader.com/uploads/files/7656\\_scott-bader-pr-emergency-fire-service-vehicles-application-crestabond-structural-bonding-final-version-2015.pdf](http://jp.scottbader.com/uploads/files/7656_scott-bader-pr-emergency-fire-service-vehicles-application-crestabond-structural-bonding-final-version-2015.pdf)
- Lyu, M.-Y. &.-G. (2015). Research trends in polymer materials for use in lightweight vehicles. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* no. 16, pp. 213-220. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s12541-015-0029-x>.
- Magirus. (2022-a). *Group Presentation*. Obtido de <https://www.magirusgroup.com/de/en/company/tradition/>
- Magirus. (2022-b). *Fire-Fighting Vehicles and Tank Pumpers*. Obtido de [https://www.magirusgroup.com/de/fileadmin/resources/Broschueren/Brochure\\_Magirus\\_Tank\\_Pumpers\\_english.pdf](https://www.magirusgroup.com/de/fileadmin/resources/Broschueren/Brochure_Magirus_Tank_Pumpers_english.pdf)
- Mallick, P. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. New York: Google Livros, Third Edition. ed. CRC Press.
- Mallick, P. K. (2010). *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*. Woodhead Publishing.
- Martins, C. M. (2014). Corrosion in water supply pipe stainless steel 304 and a supply line of helium in stainless steel 316. *Engineering Failure Analysis, Volume 39*, pp. 65-71. Obtido de [http://www.mineracaoantiga.com/ingles/referencias/2014\\_1\\_Failure\\_Analysis.pdf](http://www.mineracaoantiga.com/ingles/referencias/2014_1_Failure_Analysis.pdf)
- Micheli, G. B. (2021). *Avaliação do fenômeno de sloshing em reservatórios de pulverizadores agrícolas utilizando uma análise numérica (CFD)*. UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. Faculdade de Engenharia de Bauru. Obtido de [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/215526/micheli\\_gb\\_dr\\_bauru.pdf?sequence=3](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/215526/micheli_gb_dr_bauru.pdf?sequence=3)
- Monteiro, W. B. (2012). Aplicação de Ligas de Magnésio no Transporte. *Novos recursos em ligas de magnésio. Capítulo 7*. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/48273>.
- Parvathavarthini, N. (2002). *Corrosion of austenitic stainless steels, mechanism, mitigation and monitoring*. Cambridge, England: Woodhead Publishing House.
- Pickering, S. (2006). Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *2nd Int. Conf. Adv. Polym. Compos. Struct. Appl. Constr.* 37, pp. 1206-1215.
- PolyBilt. (2007). Polyprene. Obtido de <https://polybilt.com/wp-content/uploads/2020/09/RescuPak-Specification.pdf>
- Prokhorova, T. P. (2017). Materialy ta tekhnolohiyi v avtomobil'niy promyslovosti [Materiais e Tecnologias na Indústria Automotiva]. *Materials of the V International Scientific and Technical Internet Conference “Problems and Prospects for the Development of Automobile Transport”*, (pp. 105-112). Vinnytsya, Ucrânia.
- Racius. (2020). Obtido de Tuga Fire, Lda: <https://www.racius.com/tuga-fire-lda/>
- Roehling. (2022). *Polystone P copolymer*. Obtido de <https://www.roehling.com/industrial/materials/thermoplastics/detail/polystone-p-copolymer-98>

- Rômulo Maziero, J. C. (2020). Valorização de resíduos orgânicos e inorgânicos incorporados em matriz de polipropileno reciclado.
- Rosenbauer. (2020-a). *Group Presentation*. Obtido de <https://www.rosenbauer.com/en/pt/group>
- Rosenbauer. (2020-b). *Industrial and Special Vehicles*. Obtido de <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/industrial-special-vehicles>
- Rosenbauer. (2020-c). *Industrial and Special Vehicles. Special-Vehicles*. Obtido de <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/industrial-special-vehicles/special-vehicles>
- Rosenbauer. (2020-d). *Municipal Vehicles*. Obtido de <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/municipal-vehicles>
- Sharon, F. (2014). Tecnologia de Manufatura Aditiva: Implicações Potenciais para a Competitividade de Manufatura dos EUA. *Jornal de Comércio Internacional e Economia*. Obtido de <http://www.usitc.gov/journals>
- Shashank, M. (2016). *Material Qualification in the Automotive Industry Center for Automotive Research*. Center for Automotive Research: Ann Arbor. Obtido de <http://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/02/Material-Qualification.pdf>
- Solazzi, L. (2012). Applied research for weight reduction of an industrial trailer. *FME Transactions*, pp. 57-62. Obtido de [https://www.researchgate.net/profile/Luigi-Solazzi-2/publication/267244847\\_Applied\\_Research\\_for\\_Weight\\_Reduction\\_of\\_an\\_Industrial\\_Trailer/links/548eb7250cf2d1800d844879/Applied-Research-for-Weight-Reduction-of-an-Industrial-Trailer.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luigi-Solazzi-2/publication/267244847_Applied_Research_for_Weight_Reduction_of_an_Industrial_Trailer/links/548eb7250cf2d1800d844879/Applied-Research-for-Weight-Reduction-of-an-Industrial-Trailer.pdf)
- Solazzi, L. S. (2013). New design concept for a lifting platform made of composite material. *Applied Composite Materials, Volume 20, Issue 4*, pp. 615-626. doi: 10.1007/s10443-012-9287-2
- Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of Composites Manufacturing - Materials, Methods, and Applications (2nd Edition)*. Society of Manufacturing Engineers (SME).
- Suzuki, C. E. (2007). *Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da general motors do Brasil, Master's Thesis*. São Paulo, Brasil. Obtido de [https://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/carlos\\_suzuki.pdf](https://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/carlos_suzuki.pdf)
- SYBS. (s.d.). *Tanques Plástico Industriais*. Obtido de Tanques Polipropileno: <https://www.sybs.com.br/tanques-plasticos-industriais/tanques-de-polipropileno/>
- Technology, P. (2011). Obtido de Iturri, Bremach and Allison present the LYNX, a new innovative fire-fighting truck concept: <https://news.cision.com/propel-technology-ltd/r/iturri--bremach-and-allison-present-the-lynx--a-new-innovative-fire-fighting-truck-concept,c9194667>
- Tugafire. (2022-a). *Group Presentation*. Obtido de <http://tugafire.com/>

Tugafire. (2022-b). *Veículo Florestal de Combate a Incêndios*. Obtido de <http://tugafire.com/wp-content/uploads/2018/03/CATALOGO-FINAL-PAGINAS.pdf>

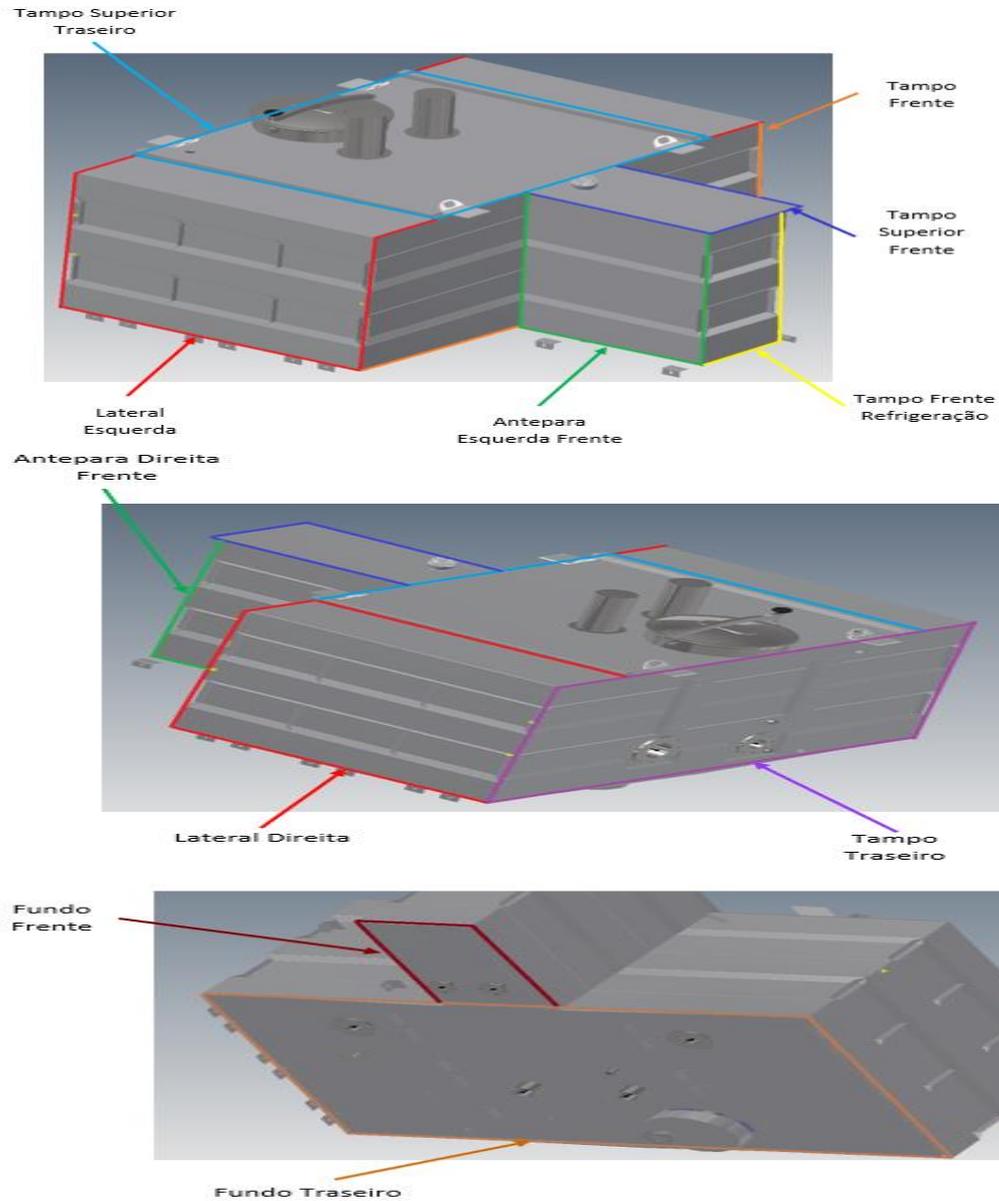
Volkan. (2022-a). *Group Presentation*. Obtido de <https://volkan.com.tr/en/about-us/>

Volkan. (2022-b). *Vehicles - Urban Type*. Obtido de <https://volkan.com.tr/en/araclar/urban-type/>

## **Anexos**

## **Anexo I – Identificação dos vários componentes do tanque em aço Inox 316L do VFCI de Silves da JMO.**

As figuras seguintes identificam pormenorizadamente os componentes do tanque.



*Figura I-1 - Designação de todas as chapas exteriores utilizadas no tanque do VFCI de Silves da JMO.*

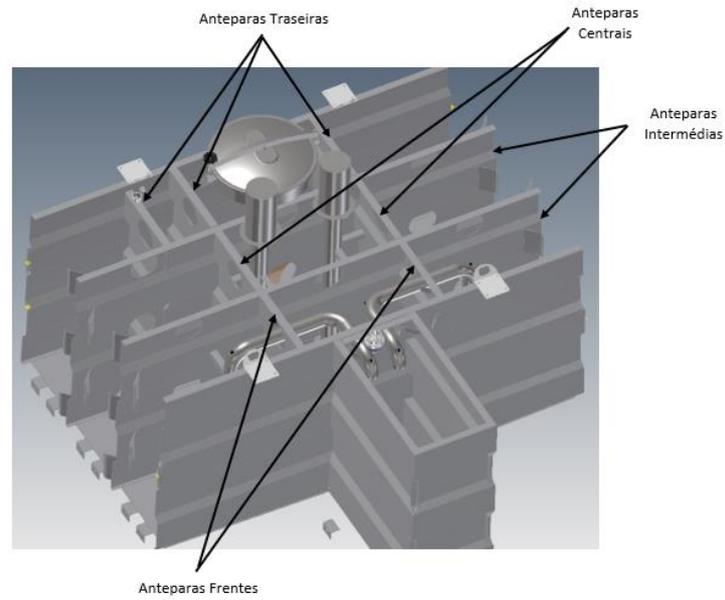


Figura I-2 - Denominação das várias anteparas utilizadas no VFCl de Silves para criar os vários compartimentos no tanque principal.

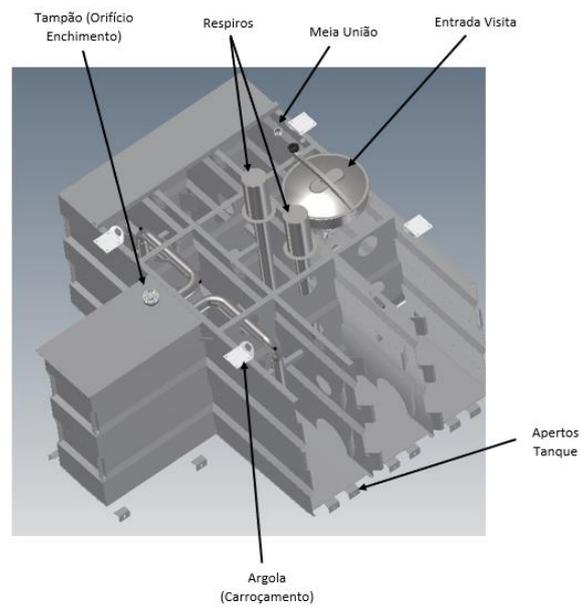


Figura I-3 - Designação de alguns componentes visíveis na parte superior do tanque do VFCl de Silves da JMO.

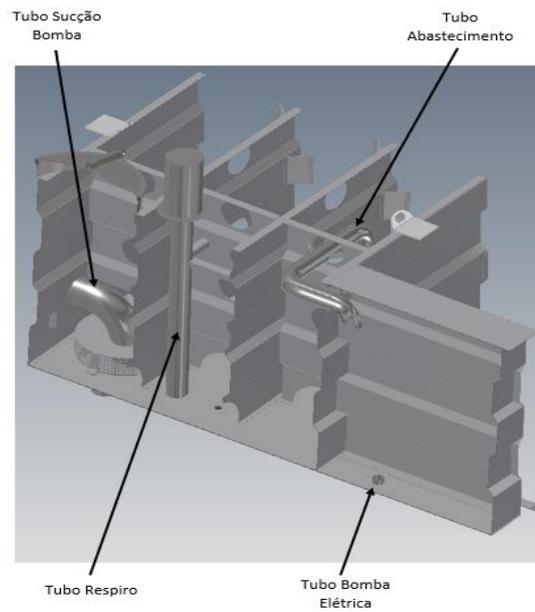


Figura I-4 – Vista em corte do tanque do VFCI de Silves da JMO por forma a identificar os tubos utilizados no mesmo.

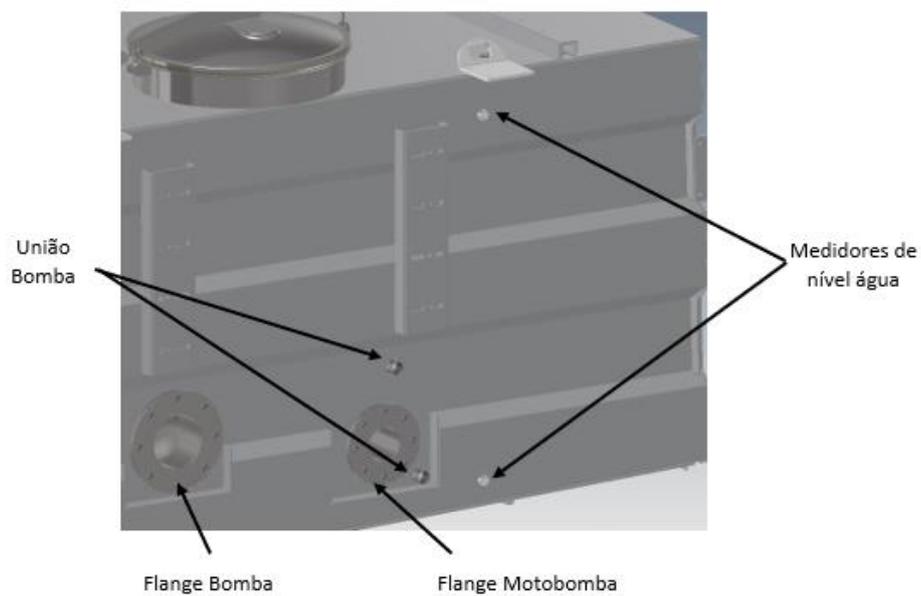


Figura I-5 – Medidores de nível e uniões da bomba visíveis na parte traseira do tanque do VFCI de Silves da JMO.

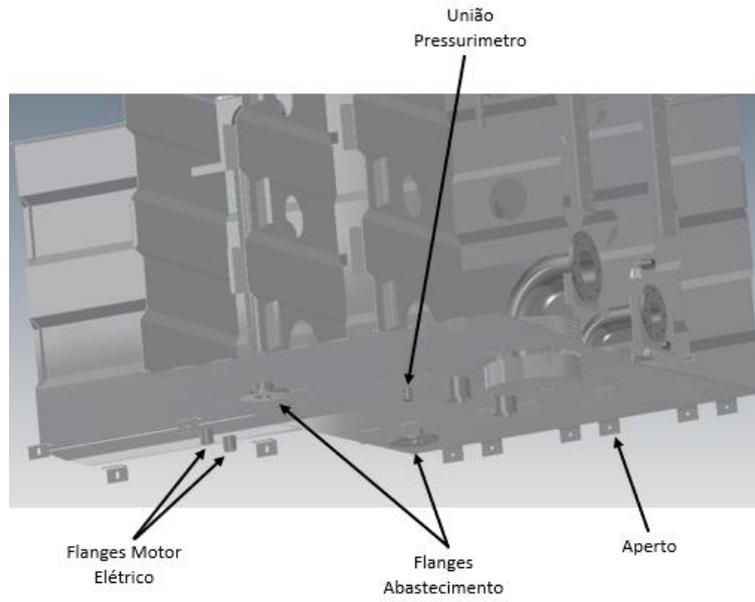


Figura I-6 - Designação dos componentes visíveis na parte inferior do tanque do VFCI de Silves da JMO.

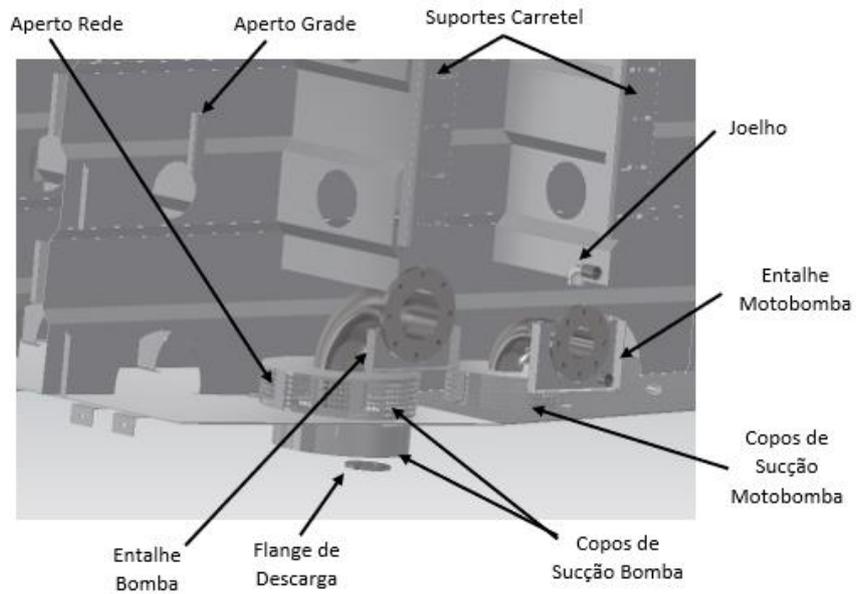
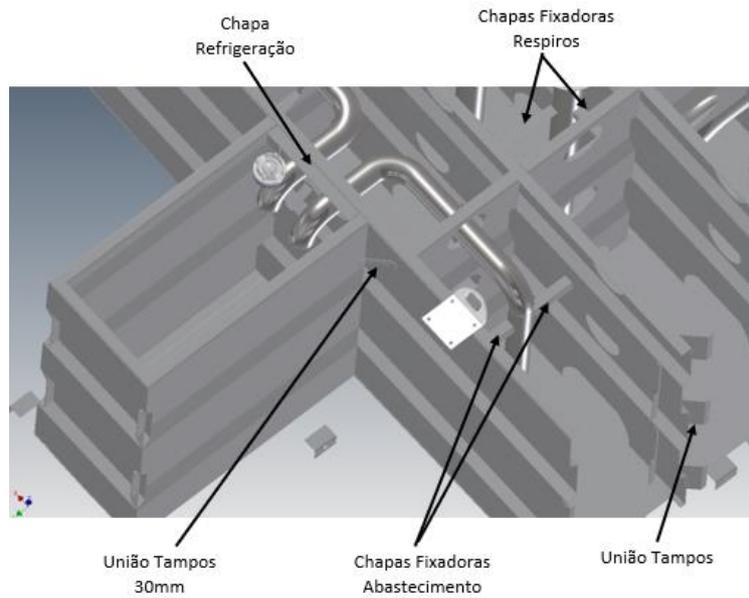
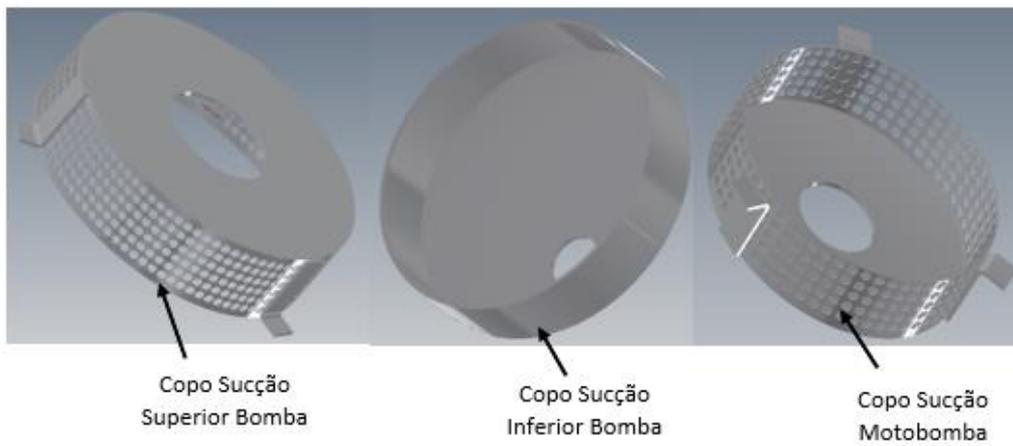


Figura I-7 - Vista em corte da parte traseira do tanque do VFCI de Silves da JMO.



*Figura I-8 -Detalhe de alguns dos restantes componentes e acessórios do tanque de água do VFCI de Silves da JMO.*



*Figura I-9 - Detalhe dos copos de sucção utilizados no VFCI de Silves da JMO.*

## Anexo II – Cálculo detalhado dos custos associados à mão-de-obra

Como referido na Secção 2.5.2, a construção dos tanques de água da JMO passa por várias fases. Na tabela II-1 é feito um cálculo dos custos associados a cada fase de produção, com base no número de operários envolvidos e horas despendidas. Na tabela II-2 é feito o mesmo cálculo para a fase de projeto.

Tabela II-1 - Cálculo detalhado dos custos de mão-de-obra operária.

<b>Mão-de-Obra Operária</b>				
<b>Fase</b>	<b>Nº Operários</b>	<b>Custo (mão-de-obra) (€/h)</b>	<b>Nº Horas despendidas</b>	<b>Custo Total (€)</b>
<b>Serrote</b>	1	6,00	2	12,00
<b>Corte Chapa e Quinagem</b>	2	6,00	10	120,00
<b>Estrutura/Tanques</b>	5	6,00	26	780,00
<b>Testagem</b>	1	6,00	2	12,00
<b>Lavagem e Decapagem</b>	1	6,00	1	6,00
<b>Montagem na estrutura</b>	5	6,00	7	210,00
<b>Total</b>			48	1140,00

Tabela II-2 - Cálculo detalhado dos custos de mão-de-obra projetual.

<b>Mão-de-Obra Projetual</b>				
<b>Fase</b>	<b>Nº Operários</b>	<b>Nº Horas despendidas</b>	<b>Custo (mão-de-obra) (€/h)</b>	<b>Custo Total (€)</b>
<b>Projeto</b>	1	16	10,00	160,00

### Anexo III – Custos das chapas de aço inoxidável 316L adquiridas mais recentemente pela JMO

Tabela III-1 - Evolução dos preços das últimas 4 compras efetuadas pela JMO para as chapas utilizadas na construção dos tanques de água.

Chapas Inox 316L Fosca				
Espessura (mm)	Dimensões (mm)	Fornecedor	Data	Preço Unitário (€/Kg)
3,00	2500x1250	Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	30/11/2021	5,13
		IMS Portugal – Comércio de Aços, S.A. (Ovar)	14/10/2021	5,00
		B2B Inox, LDA	30/09/2021	4,06
		B2B Inox, LDA	09/08/2021	4,27
	2500x2000	Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	07/12/2021	6,23
		Aços Boixareu, LDA	09/11/2021	5,65
		IMS Portugal – Comércio de Aços, S.A. (Ovar)	03/11/2021	5,21
		Aços Boixareu, LDA	12/05/2021	3,60
	3000x1500	Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	13/10/2021	5,13
		Aços Boixareu, LDA	20/09/2021	4,98
		Noxfap-Imp. Exp. Metais Finos, SA	23/07/2021	4,19
		Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	20/07/2021	4,86
5,00	2300x1500	Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	07/12/2021	5,08
		Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	13/10/2021	4,98
		B2B Inox, LDA	15/06/2021	3,61
		Aços Boixareu, LDA	17/05/2021	3,45
	3000x1500	Valsteel – Inox e Componentes Industriais LDA	04/11/2021	5,67
		Jacquet Portugal, LDA	29/09/2021	4,62
		Jacquet Portugal, LDA	09/08/2021	4,62
		Leirinox, Comercio Mat. Aces. Inox, LDA	25/03/2021	3,66

## Anexo IV – Cálculo detalhado dos custos de materiais do tanque em aço inoxidável 316L do VFCI de Silves da JMO

Neste anexo calcula-se o custo total dos materiais do tanque de água do VFCI de Silves, incluindo chapas, tubos, acessórios e outros componentes. Para isso recorreu-se ao do modelo CAD 3D do tanque e a informação relativa a custos parcelares disponível na JMO. As tabelas IV-1 a IV-4 demonstram os cálculos.

Tabela IV-1 – Cálculo detalhado dos custos das chapas usadas no VFCI de Silves da JMO.

Chapas Tanque		Massa (Kg)	Quant.	Espessura (mm)	Dimensões Aproximadas (mm)	Preço (€/Kg)	Custo Total (€)
<b>Chapa Fundo (Tanque)</b>	Principal	120,749	1	5,00	2250x1400	5,08	63,40
	Refrigeração	11,689	1	5,00	350x850	5,08	59,38
<b>Chapa Lateral</b>		54,165	2	3,00	1400x2000	6,23	674,90
<b>Tamos (Tanque Principal)</b>	Superior	53,216	1	3,00	520x880	5,13	273,00
	Frente	62,835	1	3,00	2300x1200	5,13	322,34
	Traseiro	60,045	1	3,00	2300x1200	5,13	308,03
<b>Tamos (Tanque Refrigeração)</b>		12,583	1	3,00	450x1200	5,13	64,55
<b>Anteparas</b>	Frente	9,263	2	3,00	400x1500	5,13	95,04
	Centrais	10,199	2	3,00	450x1500	5,13	104,64
<b>Paralelas aos Eixos (Tanque Principal)</b>	Traseira (Esq.)	10,199	1	3,00	450x1500	5,13	52,32
	Traseira (Dir.)	7,473	2	3,00	450x1000	5,13	76,67
<b>Anteparas Paralelas aos Eixos (Tanque Refrigeração)</b>		25,343	2	3,00	850x1500	5,13	260,02
<b>Anteparas Perpendiculares aos Eixos</b>		57,853	2	3,00	3000x1500	5,13	593,57
<b>Custo Total (€)</b>							<b>3497,86</b>

Tabela IV-2 - Cálculo dos custos dos tubos utilizados no VFCI de Silves da JMO.

<b>Tubos Tanque</b>	<b>Designação</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço (€)</b>	<b>Custo Total (€)</b>
<b>Abastecimento</b>	TUBO RED. INOX 316 76,1X2MM	3,10 (ML)	18,87	58,51
<b>Respiros</b>	TUBO RED. INOX 316 88,9X2MM	3,00 (ML)	18,22	54,65
<b>Bomba</b>	CURVA INOX 316 139,7X3	1,00 (UN)	36,04	36,04
	TUBO RED. INOX 316 60,3X4MM (2")	0,05 (ML)	23,70	1,50
<b>Motobomba</b>	CURVA INOX 316 88,9X2	1,00 (UN)	7,90	7,90
<b>Bomba Elétrica</b>	TUBO RED. INOX 316 48,3X3,2	0,16 (ML)	21,67	3,47
<b>Custo Total (€)</b>				<b>162,07</b>

Tabela IV-3 - Cálculo dos custos dos acessórios utilizados no VFCI de Silves da JMO.

Acessórios	Designação	Quant.	Preço (€)	Custo Total (€)
<b>Meia União</b>	MEIA UNIAO INOX 1"1/4 P/ SONDA	1	4,58	4,58
<b>União</b>	UNIAO INOX FF 1"	3	1,80	5,40
	UNIAO INOX FF 1/2"	2	1,06	2,12
<b>Joelho</b>	JOELHO INOX 316 MF 1"	1	2,60	2,60
<b>Argola</b>	ARGOLA INOX "JACINTO" P/ VFCI	4	7,95	31,80
<b>Respiro</b>	TAMPA RESPIRO P/ TANQUE P/ TUBO 3"	2	66,20	132,40
<b>Abertura Visita</b>	PORTA TRANQUETA AISI 304 D500MM S/ REBAIXO	1	138,479	138,479
<b>Suporte</b>	SUPORTE INOX U P/ CARRETEL QUINADO	2	23,85	47,70
	SUPORTE ACO INOX 500X30X6 P/ CARRETEL	2	8,118	16,236
<b>Adaptador</b>	ADAPTADOR AWG STORZ C-50X2" FEMEA 30000131	1	4,112	4,112
<b>Ponta</b>	PONTA C/ 5 CM INOX 316 2" ROSC. (NIPLE)	1	3,236	3,236
<b>Tampão</b>	TAMPAO AWG STORZ 50 C 40247633/100000030	1	4,533	4,533
<b>Flange</b>	FLANGE TORN. 180X70X12MM (SAIDA TANQUE 2"1/2) 6 ROSC. M10 LI	2	26,096	52,192
	FLANGE TORN. 120X55X10MM (TANQUE RESERVA) 4 ROSC. M10 LISA	1	19,991	19,991
	FLANGE TORN. 250X141X15MM (JUNTA ANT. VIB. 5") 8 ROSC. M16	1	61,00	61,00
	FLANGE TORN. 200X84,7X12MM (JUNTA ANT. VIB. 3") 8 ROSC. M16	1	32,50	32,50
	FLANGE TORN. 120X43X10MM (SAIDA TANQUE 1"1/2) 4 ROSC. M10 LISA	2	17,80	35,60
<b>Custo Total (€)</b>				<b>594,48</b>

Tabela IV-4 - Cálculo dos custos de outros equipamentos (produzidos na JMO) utilizados no VFCl de Silves da JMO.

Outros Componente	Designação	Chapa	Qt.	Massa (Kg)	Preço	Custo Total (€)
<b>Copo Sucção</b>	Bomba Inferior	Fundo Copo	1	3,734	5,13	19,19
		Parede Chapa	1	3,467	5,13	17,80
	Bomba Superior	Chapa Topo	1	4,413	5,13	22,64
		Chapa Perfurada	1	1,022	5,13	5,24
	Motobomba	Chapa Topo	1	2,579	5,13	13,23
		Chapa Perfurada	1	0,655	5,13	3,36
<b>Apertos</b>	Rede	FOSCA 3MM 3000X 1500	6	0,177	5,13	5,45
	Grade		4	0,191	5,13	3,92
	Tanque1		12	0,179	5,13	11,02
	Tanque2		13	0,175	5,13	11,67
<b>Chapas Fixadoras</b>	Respiros	Frente	2	0,472	5,13	4,84
		Transversal	2	0,188	5,13	1,93
	Abastecimento	Frente	2	0,252	5,13	2,59
		Traseira	2	0,230	5,13	2,36
<b>Chapa Refrigeração</b>	Tanque Refrigeração		1	0,484	5,13	2,48
<b>Entalhe</b>	Bomba		1	1,078	5,13	5,53
	Motobomba		1	1,566	5,13	8,03
<b>União</b>	Tamos 30mm		12	0,084	5,13	5,17
	Tamos		20	0,480	5,13	49,25
<b>Custo Total (€)</b>						<b>195,88</b>

## Anexo V – Modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro

O modelo inicial adotou as dimensões do VFCI de Silves da JMO construído em aço inoxidável AISI 316L. Definiram-se as espessuras de 15 mm para as chapas de fundo e de 12 mm para as restantes chapas. Considerou-se todas as superfícies lisas, sem quinas vivas. As seguintes figuras mostram vários detalhes da modelação do tanque sem os acessórios e equipamentos

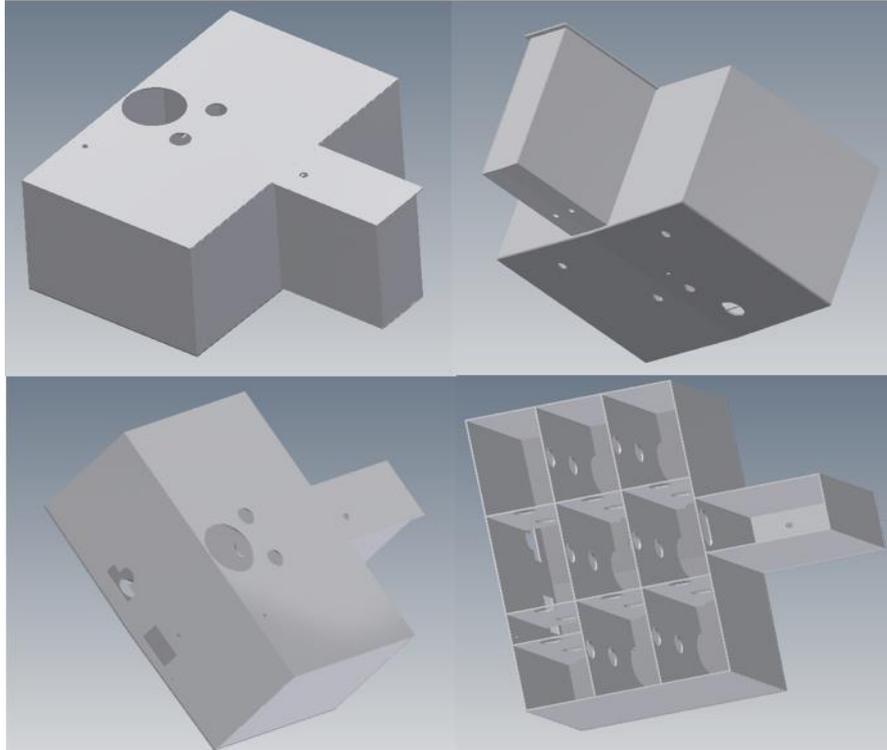


Figura V-1 - Vistas do modelo do tanque em polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro.

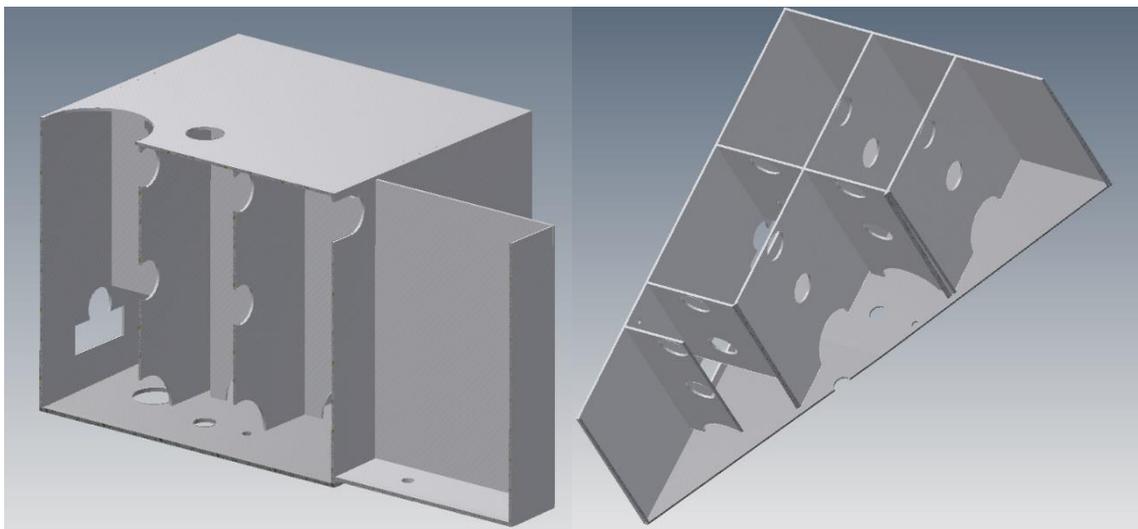
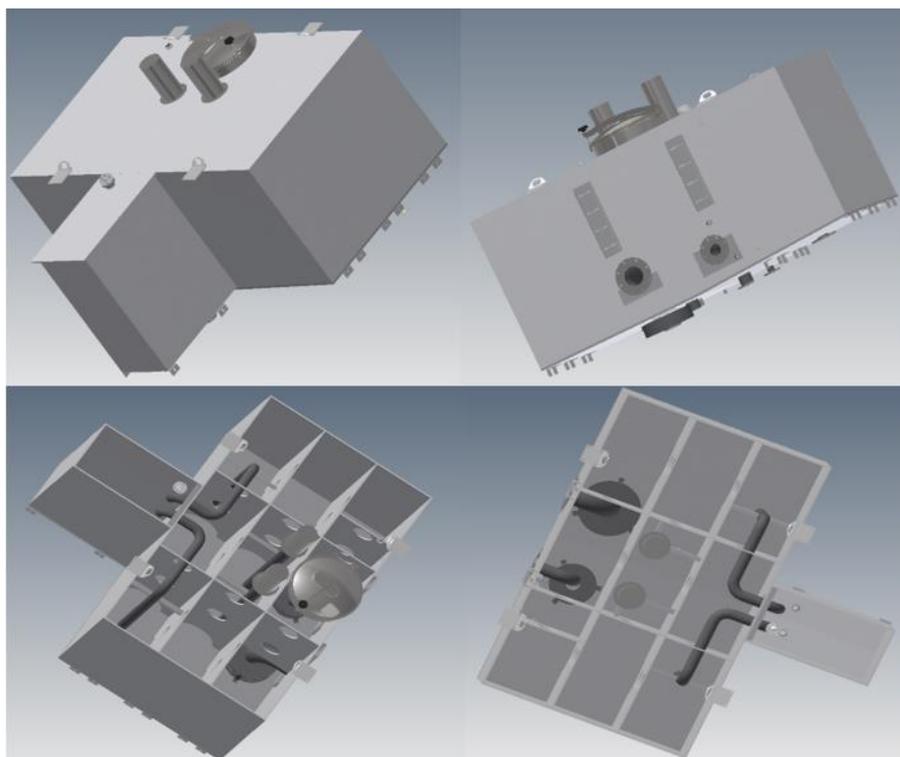


Figura V-2 – Vistas em corte do tanque em polipropileno copolímero reforçado com 30% de fibra de vidro.

Após a modelação das várias chapas, procedeu-se à montagem dos vários equipamentos e acessórios que fazem parte do tanque, tal como demonstrado no anexo I. (figura V-3).



*Figura V-3 – Detalhes em várias vistas do modelo inicial do tanque em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro com os vários equipamentos e acessórios montados, tal como acontece no tanque do VFCI de Silves da JMO.*

## Anexo VI – Custos de aquisição e propriedades das chapas de polipropileno copolímero dos diferentes fornecedores consultados

Na consulta efetuada, a empresa ZHT Group informou que o custo de aquisição das chapas que utilizam na construção dos seus tanque em polipropileno copolímero é de, aproximadamente, 4,5 euros por kg, sendo o fornecedor a empresa Röchling Engineering Plastics. No entanto, a empresa JMO não dispõem atualmente dos custos de exportação que teriam de ser adicionados ao referido valor. Sendo assim, foram contactados fornecedores nacionais para que o cálculo dos custos de materiais fosse mais realista. De seguida são apresentados os preços disponibilizados pelas empresas Luzacril e Lanema.

Tabela VI-1 – Preços das placas de polipropileno extrudido com diferentes espessuras fornecidas pela Luzacril.

Placas Polipropileno Extrudidas (Luzacril)					
Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Designação	Dimensões (mm)	Espessura (mm)	Preço Base de Venda (€)	Preço Unitário (€/Kg)
0,95	Polipropileno H 7032 Cinza	2000x1000	5,00	83,13	8,75
		2000x1000	6,00	99,75	
		2000x1000	15,00	249,38	
		2000x1000	40,00	665,00	
		3000x1500	3,00	112,22	
		3000x1500	4,00	149,63	
		3000x1500	5,00	187,03	
		3000x1500	10,00	374,06	
		4000x2000	5,00	332,05	
	Polipropileno H 9010 Branco	3000x1500	3,00	120,05	9,35
		3000x1500	4,00	160,06	
		3000x1500	5,00	200,07	

De referir que a empresa Luzacril informou que o material fornecido é de importação, precisamente da empresa Röchling Engineering Plastics, tal como acontece com a ZHT Group. A Luzacril forneceu ainda a ficha técnica do material, que a empresa Röchling Engineering Plastics comercializa sob o nome Polystone P homopolymer grey, com as propriedades quase idênticas às apresentadas na tabela 6 da secção 5.2, como se verifica na tabela VI-2.

Tabela VI-2 - Propriedades do Polystone P homopolymer importado pela empresa Luzacril.

Propriedades Polystone P Copolymer		
<b>Gerais</b>	Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	>0,90
<b>Mecânicas</b>	Tensão de rotura (MPa)	>30
	Elongamento (%)	>50
	Módulo de elasticidade (MPa)	>1500
	Resistência ao impacto (kJ/m <sup>2</sup> )	>30
<b>Térmicas</b>	Calor específico (kJ/kg K)	1,70
	Temperatura de fusão (°C)	162 - 167
	Condutividade térmica (W/m· K)	0,20
	Coeficiente linear de expansão térmica (10 <sup>-6</sup> /K)	120 - 190
	Temperatura de serviço [°C] (longo termo)	0 – 100
	Temperatura de serviço [°C] (máx.)	150

A tabela VI-3 apresenta os preços praticados na Lanema para as placas de polipropileno.

*Tabela VI-3 - Preços das placas de polipropileno natural com diferentes espessuras fornecidas pela Lanema.*

<b>Placas Polipropileno Natural (Lanema)</b>				
<b>Designação</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Preço Base de Venda (€)</b>	<b>Preço Unitário (€/Kg)</b>
<b>PP Plate Natural</b>	1500x3000	12,00	625,00€ + iva	11,50
	1500x3000	15,00	781,00€ + iva	11,50

Verifica-se que a Lanema comercializa placas de polipropileno com preços superiores. Juntando a isto o facto de a Luzacril importar as placas da empresa sugerida pela ZHT Group, considerou-se no cálculo dos custos de materiais os preços praticados pela Luzacril.

De qualquer forma, há que referir que os cálculos estruturais descritos no Capítulo 5.4 foram feitos admitindo reforço de 30% de fibra de vidro, enquanto que os orçamentos obtidos se referem a chapas de polímero não reforçado. As fibras de vidro têm baixo custo e os compósitos de fibras curtas são facilmente fabricados pelos mesmos processos que os polímeros não reforçados, como é o caso da moldação por injeção e extrusão. Não obstante, os valores dos custos das chapas usados no estudo comparativo devem ser tomados como estimativas.

## Anexo VII – Cálculo detalhado dos custos de materiais do do modelo do tanque em polipropileno copolímero do VFCl de Silves da JMO

Neste anexo calcula-se o custo total de materiais do tanque de água modelado em polipropileno copolímero reforçado com fibra de vidro. Para isso, como se referiu na secção 5.2, foi necessário calcular os custos das chapas, dos acessórios e dos reforços que foi necessário acrescentar em relação ao modelo inicial. As seguintes tabelas detalham os cálculos de custos efetuados.

*Tabela VII-1 – Cálculo detalhado dos custos das chapas usadas no modelo projetado do tanque em polipropileno copolímero.*

Chapas Tanque		Massa (Kg)	Quant.	Espessura (mm)	Dimensões Aproximadas (mm)	Preço (€/Kg)	Custo Total (€)
<b>Chapa Fundo (Tanque)</b>	Principal	54,484	1	15,00	2500x1400	8,75	476,74
	Refrigeração	6,458	1	15,00	850x450	8,75	56,51
<b>Chapa Lateral</b>		19,578	2	12,00	1400x1050	8,75	171,31
<b>Tampos (Tanque Principal)</b>	Superior	41,654	1	12,00	1400x2330	8,75	364,48
	Frente	6,209	1	12,00	1100x450	8,75	54,33
	Traseiro	32,221	1	12,00	2350x1050	8,75	281,94
<b>Tampos (Tanque Refrigeração)</b>		6,161	1	12,00	880x520	8,75	53,91
<b>Anteparas</b>	Frente	5,359	2	12,00	500x1050	8,75	46,90
	Centrais	5,228	2	12,00	450x1050	8,75	45,75
<b>Paralelas aos Eixos (Tanque Principal)</b>	Traseira (Esq.)	5,408	1	12,00	500x1050	8,75	47,32
	Traseira (Dir.)	4,056	2	12,00	500x750	8,75	35,49
<b>Anteparas Paralelas aos Eixos (Tanque Refrigeração)</b>		12,285	2	12,00	850x1100	8,75	107,49
<b>Anteparas Perpendiculares aos Eixos</b>		29,072	2	12,00	2500x1050	8,75	254,38
<b>Custo Total (€)</b>							<b>1996,55</b>

Tabela VII-2 - Cálculo dos custos de outros equipamentos utilizados no modelo projetado do tanque em polipropileno copolímero.

Outros Componente	Designação	Chapa	Qt.	Massa (Kg)	Preço	Custo Total (€)	
Copo Sucção	Bomba Inferior	Fundo Copo	1	3,734	5,13	19,19	
		Parede Chapa	1	3,467	5,13	17,80	
	Bomba Superior	Chapa Topo	1	4,413	5,13	22,64	
		Chapa Perfurada	1	1,022	5,13	5,24	
	Motobomba	Chapa Topo	CHAPA INOX 316L FOSCA 3MM 3000X 1500	1	2,579	5,13	13,23
		Chapa Perfurada		1	0,655	5,13	3,36
Apertos	Rede	6		0,177	5,13	5,45	
	Grade	4		0,191	5,13	3,92	
	Tanque1	12		0,179	5,13	11,02	
	Tanque2	13		0,175	5,13	11,67	
Chapas Fixadoras	Respiros	Frente		2	0,472	5,13	4,84
		Transversal		2	0,188	5,13	1,93
	Abastecimento	Frente		2	0,252	5,13	2,59
		Traseira		2	0,230	5,13	2,36
Chapa Refrigeração	Tanque Refrigeração	1		0,484	5,13	2,48	
Entalhe	Bomba	1		1,078	5,13	5,53	
	Motobomba	1		1,566	5,13	8,03	
<b>Custo Total (€)</b>						<b>141,28</b>	

Tabela VII-3 - Cálculo dos custos das barras introduzidas na estrutura utilizada no tanque em polipropileno copolímero

Barras Tanque adicionadas	Material	Qt.	Massa (Kg)	Preço (€/kg)	Peso Total (kg)	Custo Total (€)
Barras	Tampo Frente	2	1,596	8,93	3,192	28,51
	Chapa Lateral					
	Chapa Fundo	1	8,562	8,20	8,562	70,21
<b>Custo Total (€)</b>						<b>147,02</b>

Tabela VII-4 - Cálculo dos custos dos reforços utilizados no modelo projetado do tanque em polipropileno copolímero.

<b>Custos reforços interiores</b>	<b>Designação</b>	<b>Material</b>	<b>Qt.</b>	<b>Massa (Kg)</b>	<b>Preço</b>	<b>Custo Total (€)</b>
<b>Reforço</b>	Reforço interior anteparas	Chapa aço inox 316L	12	2,53	5,13	155,75
	Reforço copo de sucção	Chapa aço inox 316L	2	2,863	5,13	29,38
<b>Parafusos (Reforço)</b>	Parafusos para apertar reforços	Aço inox M10x40	72	-	0,21	15,12
<b>União Tampos</b>	Tampos para reforçar anteparas e chapas laterais	Chapa aço inox 316L	20	0,480	5,13	49,25
	Tampos 30mm para reforçar chapas laterais de refrigeração	Chapa aço inox 316L	72	0,084	5,13	31,03
<b>Parafusos (União Tampos)</b>	Parafusos para união tampos às anteparas	Aço inox M8x40	224	-	0,21	47,04
<b>Cola</b>	Cola Gofix Supergrip MMA 400ml 8105		10	-	38,5	385,00
<b>Custo Total (€)</b>						<b>712,57</b>