



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Protótipo de sistema de tratamento físico-químico de efluentes da indústria corticeira

DEFINITIVO

Autor

Cácio Alves Almeida

Orientadores

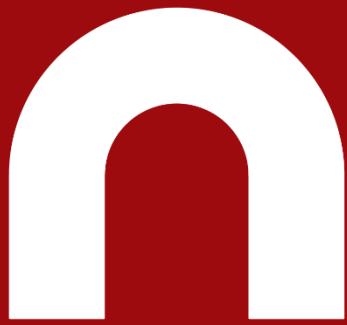
**Professor Doutor Pedro Jorge Borges Fontes Negrão
Beirão**

Professor Doutor Luís Miguel Moura Neves de Castro

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, Março de 2021



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Protótipo de sistema de tratamento físico-químico de efluentes da indústria corticeira

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Cácio Alves Almeida

Orientadores

Professor Doutor Pedro Jorge Borges Fontes Negrão Beirão

Professor Doutor Luís Miguel Moura Neves de Castro

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Pedro Jorge Borges Negrão Beirão, por ter estado sempre disponível para me aconselhar em todos os âmbitos do projeto, seja a ajudar-me a traçar o rumo a tomar em determinadas fases deste percurso, seja a ter a iniciativa de querer debater assuntos inerentes ao projeto ou a ter sido incansável em alertar-me, e bem, de não me desmazelar e continuar sempre proactivo na elaboração deste trabalho.

Ao Professor Luís Miguel Moura Neves de Castro que, tendo sido o idealizador deste tema de projeto, auxiliou muito ao nível técnico do projeto e foi uma grande ajuda no fornecimento do material necessário para a elaboração do projeto, fazendo questão de que nunca faltasse nada durante todo o percurso deste trabalho.

À minha família por me acompanhar dia-a-dia durante o meu percurso académico, a aconselhar-me sempre da melhor maneira e a permitir que não ocupasse a cabeça com trabalho, para além deste.

E aos meus amigos que me deram também muitos conselhos e ânimo neste longo caminho e sempre estiveram disponíveis para me ajudar a espairecer nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Este projeto teve como objetivo contribuir para a modernização da indústria corticeira, mais especificamente no que diz respeito à melhoria do processo de escoamento do efluente tóxico, gerado por um sistema de tratamento físico-químico, na lavagem de rolhas de cortiça.

Identificou-se a necessidade de desenvolver um projeto em torno deste processo, pela relação do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) com esta indústria. Além disso, as empresas reconhecem o problema da pegada ecológica que geram no decorrer dos seus processos industriais. Deste modo, o estudo de novas soluções produtivas por parte das instituições de ensino superior com a colaboração das empresas, deve ser considerado uma necessidade que abranja todos os setores industriais.

Relativamente à conceção do projeto, o objetivo foi criar e desenvolver um *design* estrutural e construir a respetiva estrutura para um protótipo de um sistema de tratamento físico-químico do efluente resultante do processo de lavagem de rolhas de cortiça, que lhe permitisse ter a capacidade de ser testado numa empresa da indústria corticeira, de forma a poder ser avaliada a sua eficácia e mais-valia para a referida indústria e, adicionalmente, servir como plataforma didática. Além disso traçou-se ainda, como objetivo secundário, conceber um sistema mais eficaz que os já existentes, onde, além de possuir a capacidade de tratamento do efluente, incorporasse posteriormente um dispositivo automatizado que reconhecesse a necessidade, a cada instante, de tratamento do mesmo efluente.

Palavras-Chave: indústria corticeira, pegada ecológica, sistema de tratamento físico-químico de efluente, *design* estrutural.

ABSTRACT

This project aims to contribute to the modernisation of the cork industry, specifically focused on improving the outflow of the toxic effluent process generated by a physical-chemical treatment of a cork washing system.

The necessity of developing such a project aroused due to the relation between the Superior Institute of Engineering of Coimbra (ISEC) and this industry. Besides that, cork companies recognize the problem of their ecological footprint, generated by the elapse of their industrial processes. The study of new productive solutions by engineering schools, in partnership with the companies, must be considered a necessity embracing all industrial sectors.

Regarding the project conception, the objective was to conceive and develop the structural design of a physical-chemical effluent treatment system. The system should be tested on a cork company so its effectiveness could be evaluated and posteriorly employed as a didactic platform. Besides that, the secondary goal was to create a more effective system when compared with those already existent. Besides handling the effluent treatment capacity, it also should possess the ability to recognize, in real-time, the need for the effluent treatment.

Keywords: cork industry, ecological footprint, physical-chemical effluent treatment system, structural design.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 FACTOS HISTÓRICOS ACERCA DA CORTIÇA	1
1.2 A CORTIÇA COMO ELEMENTO SUSTENTÁVEL	1
1.3 INDÚSTRIA CORTICEIRA EM PORTUGAL	2
2 PROCESSO DE LAVAÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA	5
2.1 ANÁLISE DO EFLUENTE GERADO	6
2.2 VALORES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS DE TOXICIDADE	6
3 TRATAMENTO DO EFLUENTE	9
3.1 PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO	9
3.1.1 PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO	9
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	13
4.1 BASTIDORES	15
4.1.1 PERFIL DA ESTRUTURA DOS BASTIDORES	15
4.1.2 ESTRUTURA DOS BASTIDORES	17
4.1.2.1 BASTIDOR DE TRATAMENTO DO EFLUENTE	17
4.1.2.2 BASTIDOR SEDIMENTADOR	18
4.1.2.3 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	19
4.2 SUPORTE DO QUADRO ELÉCTRICO	19
4.3 SUPORTE DOS TANQUES	21
4.3.1 TAMPOS DO BASTIDOR DE TRATAMENTOS DO EFLUENTE	22
4.3.2 TAMPOS DO BASTIDOR DO SEDIMENTADOR	22
4.3.3 FURAÇÃO E ESCAREAÇÃO	23
4.4 COMPONENTES	24
4.4.1 TANQUES	24
4.4.2 BOMBAS	25
4.4.2.1 SUPORTE DA BOMBA CENTRIFUGA DOS TANQUES TD E EB	28
4.4.3 SEDIMENTADOR LAMELAR	30
4.4.4 SUPORTE DOS SENSORES	31
4.4.4.1 SUPORTE ESTÁTICO DOS SENSORES DE pH	31
4.4.4.2 SUPORTE DINÂMICO DOS SENSORES DE pH	31
4.5 DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS	32

4.5.1	INSTALAÇÃO DE EB PARA TD.....	33
4.5.2	INSTALAÇÃO DE TD PARA ET.....	36
4.5.3	INSTALAÇÃO DE TF PARA TR3.....	39
4.6	DIMENSIONAMENTO DOS BASTIDORES E DO SUPORTE DO QUADRO ELÉCTRICO.....	42
4.6.1	DIMENSIONAMENTO DO BASTIDOR DE TRATAMENTOS.....	42
4.6.1.1	QUANTIFICAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES.....	42
4.6.1.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	43
4.6.1.3	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	46
4.6.2	DIMENSIONAMENTO DO BASTIDOR DO SEDIMENTADOR.....	48
4.6.2.1	OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS.....	48
4.6.2.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	49
4.6.2.3	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	51
4.6.3	DIMENSIONAMENTO DO SUPORTE QUADRO ELÉCTRICO.....	55
4.6.3.1	OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS.....	55
4.6.3.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	55
4.6.3.3	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	57
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Descortiçamento.....	2
Figura 2 - Tambor de lavagem	5
Figura 3 - Análises efetuadas ao efluente gerado (Castro, et al., 2019)	6
Figura 4 - Potencial de uma partícula coloidal.....	10
Figura 5 - Agregação das partículas coloidais (Couceiro, 2015).....	11
Figura 6 - Componentes do sistema de tratamento físico-químico de efluentes da indústria corticeira.....	14
Figura 7 - Dimensões do perfil	16
Figura 8 - Esboço 2D da secção do perfil	16
Figura 9 - Extrude do perfil.....	16
Figura 10 - Sistema de perfis.....	17
Figura 11 - Estrutura do bastidor de tratamento do efluente.....	17
Figura 12 - Estrutura do bastidor do sedimentador	18
Figura 13 - Fixador do topo do perfil	19
Figura 14 - Canto a 90°	19
Figura 15 - Estrutura de suporte do quadro elétrico	19
Figura 16 - Apoio rápido	20
Figura 17 - Elemento fixador 1	20
Figura 18 - Elemento fixador 2	21
Figura 19 - Tampos do bastidor do tratamento do efluente.....	22
Figura 20 - Tampos do bastidor do sedimentador	22
Figura 21 - Esboço 2D da furação dos tampos	23
Figura 22 - Esboço 3D do Extruded Cut.....	23
Figura 23 - Dimensões da cabeça de um parafuso	23
Figura 24 - Esboço 2D (escarear).....	23
Figura 25 - Esboço 3D do Revolved Cut (escarear).....	24
Figura 26 - Resultado final do processo de furar e escarear	24
Figura 27 - Tanque retangular com tampa.....	24
Figura 28 - Tanque retangular de boca larga	25
Figura 29 - Tanque redondo de boca larga.....	25
Figura 30 - Bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB	26
Figura 31 - Painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB.....	26
Figura 32 - Bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF	27
Figura 33 - Painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF	28
Figura 34 - Pontos de fixação do suporte bomba	29
Figura 35 - Modelo 3D do suporte	29
Figura 36 - Impressora 3D	29
Figura 37 - Disposição do suporte na bandeja da impressora 3D	30
Figura 38 - Sedimentador lamelar	31
Figura 39 - Suporte estático.....	31
Figura 40 - Suporte dinâmico	32
Figura 41 - Esquematização dos componentes	32
Figura 42 - Curva da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB	35
Figura 43 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação.....	36
Figura 44 - Curvas da bomba centrífuga nos tanques TD e ET	38
Figura 45 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação.....	39

Figura 46 - Curva da bomba centrífuga	41
Figura 47 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação.....	41
Figura 48 - Pontos críticos	42
Figura 49 - Fixação do bastidor de tratamentos.....	44
Figura 50 - Aplicação de forças (bastidor de tratamentos).....	45
Figura 51 - Malha aplicada à estrutura do bastidor de tratamentos (1ª simulação)	45
Figura 52 - Comportamento da estrutura do bastidor de tratamentos (1ª simulação)	46
Figura 53 - Comportamento da estrutura do bastidor de tratamentos (2ª simulação)	47
Figura 54 - Pontos críticos	48
Figura 55 - Fixação do bastidor do sedimentador.....	49
Figura 56 - Aplicação de forças (bastidor do sedimentador).....	50
Figura 57 - Comportamento da estrutura do bastidor do sedimentador.....	51
Figura 58 - Pico de tensão máximo.....	52
Figura 59 - Bastidor sedimentador com reforço	53
Figura 60 - Comportamento da estrutura do bastidor com reforço	54
Figura 61 – Suporte Quadro Elétrico.....	55
Figura 62 - Aplicação de forças (suporte do quadro elétrico)	56
Figura 63 - Malha aplicada ao suporte do quadro elétrico.....	57
Figura 64 - Comportamento da estrutura de suporte do quadro elétrico	58
Figura 65 - Layout do sistema.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de uma operação típica de lavação de 20000 rolhas de cortiça, com indicação do volume de água e quantidade de produtos químicos utilizados (Castro, et al., 2019).....	5
Tabela 2 - VMA típicos para descarga na rede de saneamento municipal.....	7
Tabela 3 - Valores médios característicos dos efluentes de lavação de 3 empresas de cortiça da região de Santa Maria da Feira (9 amostras) e dos efluentes após tratamento físico-químico	13
Tabela 4 - Caracterização do perfil.....	17
Tabela 5 - Legenda dos perfis usados na estrutura do bastidor de tratamento do efluente ..	18
Tabela 6 - Legenda dos perfis usados na estrutura do bastidor do sedimentador.....	18
Tabela 7 - Legenda dos componentes do suporte do quadro elétrico.....	20
Tabela 8 - Propriedades do PMMA	21
Tabela 9 - Legenda dos tampos do bastidor do tratamento do efluente	22
Tabela 10 - Legenda dos tampos do bastidor do sedimentador.....	22
Tabela 11 - Propriedades do tanque retangular com tampa	24
Tabela 12 - Propriedades do tanque retangular de boca larga.....	25
Tabela 13 - Propriedades do tanque redondo de boca larga.....	25
Tabela 14 - Propriedades da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB	26
Tabela 15 - Legenda do painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB	26
Tabela 16 - Propriedades da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB	27
Tabela 17 - Legenda do painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF	28
Tabela 18 - Legenda dos componentes	32
Tabela 19 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados	43
Tabela 20 - Campos do simulador.....	43
Tabela 21 - Resultados da 1ª simulação	46
Tabela 22 - Resultados da 2ª simulação	47
Tabela 23 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados	49
Tabela 24 - Resultados da 1ª simulação	51
Tabela 25 - Resultados da 2ª simulação	53
Tabela 26 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados	55
Tabela 27 - Resultados da 1ª simulação	57

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

SIMBOLOGIA

A – Área da secção do tubo

D – Diâmetro interno do tubo

H_0 – Altura geométrica

H_i – Altura manométrica

K – Coeficiente individual de perda de carga

K_T – Coeficiente de perda de carga dos acessórios

K' – Coeficiente de perda de carga total

L – Comprimento do tubo

Q – Caudal

Re – Número de *Reynolds*

V – Velocidade do fluido

SIMBOLOGIA GREGA

μ – Viscosidade dinâmica

ρ – Massa específica

λ – Fator de *Moody*

ABREVIATURAS

ASP – Aspiração

CAD – *Computer-Aided Design*

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

CIPR – Código Internacional de Práticas Rolheiras

COMP – Compressão

CQO – Carência Química de Oxigénio

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

EB – Efluente Bruto

ET – Efluente Tratado

HLDPE – Polietileno Linear de Alta Densidade

LLDPE – Polietileno Linear de Baixa Densidade

PLA – Polímero Poliácido Láctico

PMMA – Polimetacrilato de Metilo

PVC – Policloreto de Vinilo

TC – Tanque Coagulante

TD – Tanque de Decisão

TF – Tanque Floculante

TN – Tanque Neutralizante

TR1 – Tanque de Reação 1

TR2 – Tanque de Reação 2

TR3 – Tanque de Reação 3

SST – Sólidos Suspensos Totais

VMA – Valor Máximo Admissível

1 INTRODUÇÃO

1.1 FACTOS HISTÓRICOS ACERCA DA CORTIÇA

O potencial desta matéria-prima proveniente do sobreiro foi descoberto, há milhares de anos antes de Cristo, por vários povos (*Quercus Suber L.*) utilizando-a numa infinidade de objetos do quotidiano. Prova disso são os inúmeros vestígios encontrados em alguns países do Mediterrâneo.

Os Antigos Egípcios usaram a cortiça como utensílio náutico e em aplicações domésticas. A Civilização Romana explorou as virtudes da cortiça no calçado, na sua aplicação como vedante de ânforas para transportar líquidos e ainda nas próprias casas, para revestir telhados e tetos. Já nessa época se evidenciava a aptidão térmica da cortiça. Nos Descobrimentos, os portugueses souberam também tirar partido desta matéria-prima, aplicando-a nas caravelas que partiram à descoberta de novos mundos. Num passado ainda recente, foi também usada em equipamentos militares da II Guerra Mundial.

Apesar da multiplicidade de utilizações, a cortiça tem sido relacionada de forma mais imediata com o vinho. Desde o século II a.C. que há registos da aplicação da cortiça na vedação de ânforas, mantendo o vinho em bom estado de conservação, contudo esta prática só se generalizou no século XVII, quando um monge francês decidiu procurar uma alternativa às rolhas de madeira da época, que eram pouco vedantes, duvidosas na preservação do vinho e sempre prontas a saltar. Esta escolha impulsionou o crescimento das potencialidades da cortiça, continuando atualmente, num mundo em que a inovação e a ecologia passaram a andar de mãos dadas, este material a despertar o interesse de cada vez mais setores. Um dos produtos mais antigos em utilização permanente pela Humanidade continua, assim, a dar vida a novos produtos e aplicações (Amorim, 2019).

1.2 A CORTIÇA COMO ELEMENTO SUSTENTÁVEL

Os montados (florestas de sobreiros) são um pilar ambiental, social e económico determinante nos países do Mediterrâneo. Possuem uma ecologia única e frágil, constituindo um habitat, com as condições ideais de sobrevivência, para mais de 200 espécies de animais e 135 espécies de plantas.

Os montados assumem um papel notável, na luta contra fenómenos meteorológicos, como a erosão e a conseqüente desertificação. São uma barreira anti-incêndios, devido à fraca combustão da cortiça, e são significantes na regulação do ciclo hidrológico. Mas, o mais fascinante de tudo é a contribuição extraordinária, na preservação da qualidade do ar graças à sua capacidade de fixação do dióxido de carbono que de outra forma, seria libertado para a atmosfera.

Estima-se que, por cada tonelada de cortiça produzida, as florestas de sobre captam mais de 73 toneladas de CO₂, uma ajuda preciosa para a redução dos gases com efeito de estufa, a principal origem das alterações climáticas.

A capacidade de reter dióxido de carbono estende-se também aos produtos transformados de cortiça, que continuam a assegurar esta função de fixação de CO₂.



Figura 1 - Descortiçamento (Artipel, 2019)

Estas florestas são um dos melhores exemplos do equilíbrio entre a conservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável - só o facto de nenhum sobreiro ser abatido durante o processo de extração da cortiça constitui um caso único em termos de sustentabilidade (Amorim, 2019).

1.3 INDÚSTRIA CORTICEIRA EM PORTUGAL

Após a primeira guerra mundial, assistiu-se em Portugal a um grande desenvolvimento da indústria corticeira, o que contribuiu para que Portugal assegurasse a liderança da produção mundial de cortiça (Gil, 1998). Atualmente, Portugal mantém a liderança na produção de cortiça, apresentando uma produção média anual de cerca de 100 mil toneladas, que corresponde a 49,6% do total mundial, seguido de Espanha com 61,5 mil toneladas (30,5%) e de Marrocos com cerca de 12 mil toneladas (5,8%) (Associação Portuguesa de Cortiça, 2015). O principal sector de destino dos produtos de cortiça é a indústria vinícola que absorve 70,1% de tudo o que é produzido, seguido do sector da construção civil com 26,3%, está aqui incluído os pavimentos, isolamentos e revestimentos, os cubos, placas, folhas, tiras e, ainda, outros produtos de cortiça, por exemplo decoração casa/lar, escritório, matéria-prima (3,6%) (Associação Portuguesa de Cortiça, 2015).

A Europa é o principal destino das exportações Portuguesas de cortiça absorvendo mais de 70% do total. Os principais países de destino das exportações Portuguesas de cortiça são a França, os EUA, a Espanha, a Itália e a Alemanha.

As rolhas continuam a liderar as exportações portuguesas de cortiça, assumindo 70,1% do total (correspondente a 592,6 M€), seguido da cortiça como material de

construção com 26,3% e 222,6 M€. Mas nas exportações em volume (milhares de toneladas) os materiais de construção lideram os produtos exportados com 70,4% e 128 milhões de toneladas, seguidos pelas rolhas de cortiça com 24,1% e 43,9 milhões de toneladas (Associação Portuguesa de Cortiça, 2015).

2 PROCESSO DE LAVAÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA

O processo de lavação de rolhas de cortiça encontra-se descrito no Código Internacional de Práticas Rolheiras (CIPR) (European Cork Federation, 2011) como prática obrigatória e caracteriza-se como um sistema de limpeza, desinfecção e branqueamento das rolhas de cortiça, conferindo-lhes um melhor aspeto visual e ausência de microrganismos.

A operação de lavação das rolhas de cortiça é levada a cabo em equipamentos de grande dimensão constituídos por um tambor no qual são colocados vários milhares de rolhas de cortiça e onde são adicionadas as sucessivas soluções de lavagem, nas quais as rolhas estão imersas enquanto o tambor roda.



Figura 2 - Tambor de lavação (APCOR, 2018)

A Tabela 1 resume um programa típico da operação de lavação de rolhas de cortiça, que pode variar em função dos requisitos do cliente e das características das rolhas a tratar. Além da quantidade de produtos químicos adicionados, são indicados o caudal de água e o tempo que as rolhas colocadas no tambor ficam a rolar em contacto com os produtos adicionados.

Tabela 1 - Exemplo de operação típica de lavação de 20000 rolhas de cortiça, com indicação do volume de água e quantidade de produtos químicos utilizados (Castro, et al., 2019)

	Operação de lavação	Volume de efluente (l)
1ª etapa - adição de produtos químicos	20 l de desinfetante à base de peróxidos, 17 l de água, 5 kg de substância redutora à base de sais de amoníaco, 2,5 l de produto de revestimento da superfície das rolhas à base de <i>latex</i> (rodar durante 30 minutos a quente)	40
2ª etapa - enxaguamento	3 minutos com água da rede	150
3ª etapa - adição de produtos químicos	5 kg de bissulfato de sódio, 40 l de água (rodar durante 15 minutos)	40
4ª etapa - enxaguamento e secagem	3 minutos com água da rede (centrifugar 10 minutos a quente, pré-secagem em rotação lenta durante 1 hora)	100

2.1 ANÁLISE DO EFLUENTE GERADO

Na Figura 3 apresentam-se os resultados das análises efetuadas ao efluente gerado, num processo de lavação industrial (correspondente ao descrito na Tabela 1), em termos dos parâmetros de pH, Carência Química de Oxigénio (CQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e condutividade, bem como do caudal de efluente descarregado ao longo da operação. As linhas a tracejado indicam os correspondentes Valores Máximos Admissíveis (VMA) para descarga na rede de saneamento.

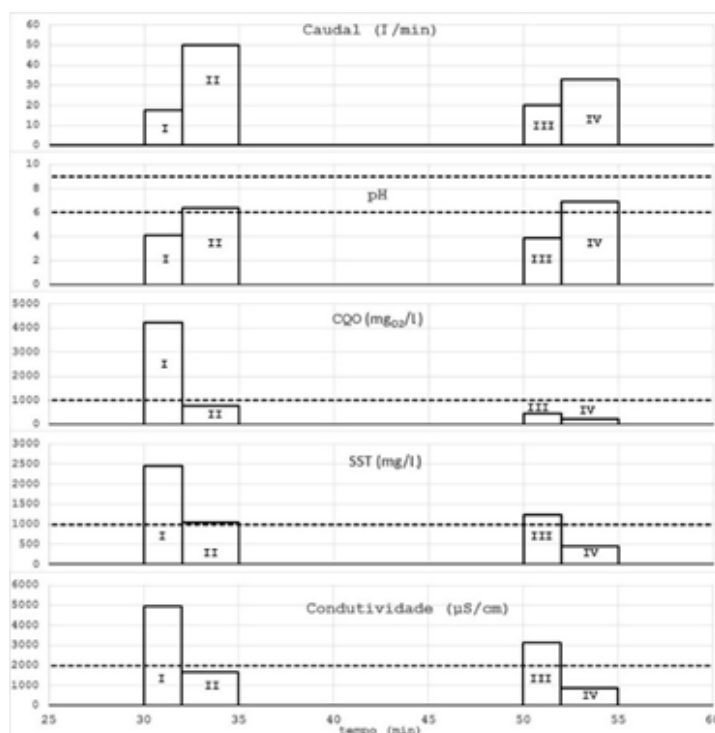


Figura 3 - Análises efetuadas ao efluente gerado (Castro, et al., 2019)

Conforme se pode observar, o efluente líquido libertado nas fases de enxaguamento II e IV cumpre, na globalidade, os VMA definidos para a descarga na rede de saneamento (no enxaguamento da fase II os SST ultrapassam ligeiramente o VMA).

2.2 VALORES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS DE TOXICIDADE

Na Tabela 2 encontram-se os VMA na rede de saneamento do concelho de Santa Maria da Feira (Regulamento n.º 340/2016 de 30 de março), onde se localizam a maioria das empresas de produção de rolhas do país, e que são semelhantes aos VMA praticados por diversas outras entidades gestoras de redes de saneamento em Portugal.

Tabela 2 - VMA típicos para descarga na rede de saneamento municipal

Parâmetro	VMA
pH (escala <i>Sorensen</i>)	6,0 – 9,0
Temperatura (°C)	35
Sólidos Suspensos Totais, SST (mg/l)	1000
Carência Química de Oxigênio, CQO (mg _{O2} /l)	1000
Carência Bioquímica de Oxigênio, CBO ₅ (mg _{O2} /l)	500
Fenóis (mg/l)	20
Cloretos (mg/l)	150
Condutividade (µS/cm)	2000

3 TRATAMENTO DO EFLUENTE

No procedimento de lavação, as rolhas são imersas e agitadas em sucessivas soluções preparadas com diversos produtos químicos, tais como: soluções desinfetantes e branqueadoras à base de peróxidos, soluções redutoras obtidas essencialmente com sais de amoníaco, soluções de preparação da superfície à base do polímero cis-poliisopreno (mais comumente conhecido por *latex*), entre outros. Esta operação gera um efluente líquido que apresenta uma elevada carga poluente associada à natureza dos produtos químicos utilizados e aos contaminantes e compostos extraídos das rolhas.

3.1 PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO

As unidades industriais do setor corticeiro encontram-se geralmente ligadas à rede de saneamento, onde descarregam o efluente proveniente da operação de lavação. Para diminuir a carga poluente enviada para a rede de saneamento torna-se necessário submeter o efluente bruto a um pré-tratamento para redução da carga orgânica. Normalmente, este tratamento prévio é baseado num processo físico-químico com sucessivas etapas de homogeneização, coagulação, neutralização, floculação e sedimentação e é implementado para que seja possível descarregar o efluente tratado em conformidade com os critérios de aceitação da entidade gestora da rede de saneamento.

3.1.1 PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO

O processo físico-químico realizado como tratamento do efluente bruto tem como objetivo limpar as partículas coloidais (substâncias poluentes). Estas substâncias possuem uma superfície carregada com carga negativa. O tamanho dos coloides em suspensão é de tal maneira pequeno que as forças de atração entre as partículas são menores do que as forças de repulsão. Sob estas condições, o processo de tratamento passa pelas etapas abaixo referidas:

Coagulação é o termo aplicado ao mecanismo de destabilização das partículas. Uma partícula coloidal é constituída por um núcleo central insolúvel e por uma dupla camada de iões (Couceiro, 2015). Como se pode observar na Figura 4, o potencial *Zeta* é máximo na camada de *Stern*, correspondendo também ao potencial elétrico máximo. Ao longo da camada difusa o potencial *Zeta* começa a decrescer, assim como o potencial elétrico. Conclui-se então, que com o afastamento do núcleo da partícula o potencial elétrico envolvente à partícula começa a diminuir (Couceiro, 2015).

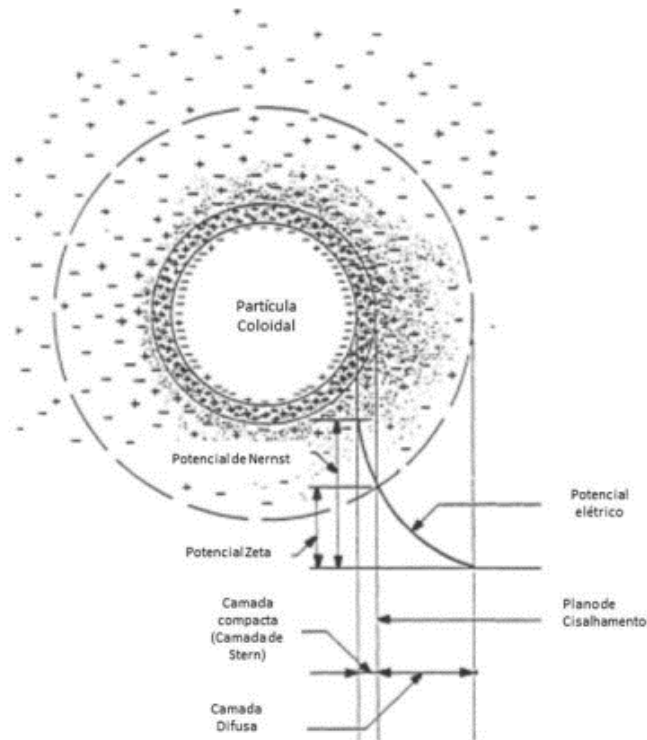


Figura 4 - Potencial de uma partícula coloidal (Guimarães, 2017)

Com isto, o coagulante, que neste caso é uma solução de cloreto férrico em solução, inicia a destabilização dos coloides comprimindo a dupla camada – as forças de repulsão eletrostática diminuem com a adição de eletrólitos que possibilitam reduzir as cargas das partículas coloidais e comprimem a camada difusa (Couceiro, 2015).

Neutralização é o termo aplicado à segunda fase do mecanismo de tratamento físico-químico. Visa a reposição do pH na gama aceitável para descarga na rede de saneamento, uma vez que a adição do coagulante na fase anterior se traduz por um abaixamento significativo do pH do efluente. A neutralização é efetuada pela adição de hidróxido de sódio em solução 40% (m/m) até que o pH se eleve a cerca de 6,5.

Floculação é o processo de formação de pontes entre partículas (Figura 5) com o auxílio de um polímero (poliacrilamidas), com o objetivo de formar novas partículas com uma maior densidade para melhorar a separação gravítica no processo de sedimentação. Uma ponte é formada quando duas ou mais partículas se adsorvem ao longo do polímero (Couceiro, 2015).

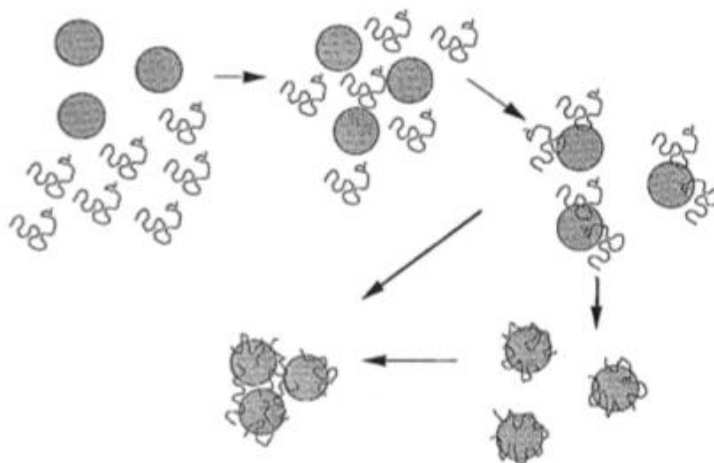


Figura 5 - Agregação das partículas coloidais (Couceiro, 2015)

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Pretendeu-se projetar e desenvolver um *design* estrutural e construir a respetiva estrutura para um protótipo de um sistema de seleção e tratamento físico-químico de efluentes provenientes da indústria corticeira, mais concretamente de efluentes gerados pela lavagem de rolhas de cortiça. O protótipo deveria ser suficientemente compacto e portátil para ser usado como equipamento laboratorial e de demonstração didática do processo de tratamento.

Posteriormente ser-lhe-á acoplado um dispositivo, alojado num quadro elétrico, que permita tratar físico-quimicamente, e de forma autónoma e automatizada, o efluente de lavagem proveniente da indústria corticeira que efetivamente necessita de tratamento, separando-o daquele que pode ser enviado diretamente para a rede de saneamento por se encontrar em conformidade com os VMA definidos pela entidade gestora da rede de saneamento. O sistema será capaz de reconhecer a necessidade, a cada instante, de tratamento do mesmo efluente.

Entre as diferentes fases da lavagem são realizadas diversas etapas de enxaguamento, pelo que parte da água residual resultante do processo de lavagem pode ser enviada diretamente para a rede de saneamento, sem necessidade de ser sujeita ao tratamento físico-químico que é tradicionalmente utilizado (Castro, et al., 2019).

As características médias dos efluentes brutos da lavagem recolhidos em 3 unidades fabris da indústria de cortiça (3 amostras em cada empresa) encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 3 - Valores médios característicos dos efluentes de lavagem de 3 empresas de cortiça da região de Santa Maria da Feira (9 amostras) e dos efluentes após tratamento físico-químico

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Efluentes brutos				
pH (escala Sorensen)	4,8	0,9	6,1	3,9
Temperatura (°C)	20,1	2,1	22,8	17,0
SST (mg/l)	1319,8	634,5	2253,1	272,8
CQO (mg_{O2}/l)	1349,1	441,6	1964,4	775,1
CBO₅(mg_{O2}/l)	314,3	216,7	650,1	130,7
Fenóis (mg/l)	1,27	0,76	2,26	0,15
Cloretos (mg/l)	173,8	59,1	205,1	54,3
Condutividade (µS/cm)	2185	880	3110	976

Conforme se pode observar na Tabela 3, apesar de no geral o efluente bruto não estar em condições de ser descarregado diretamente na rede de saneamento, uma vez que vários dos seus parâmetros apresentam valores médios superiores aos admissíveis para descarga apresentados na Tabela 2, em alguns pontos nas etapas de

enxaguamento os parâmetros do efluente revelam valores inferiores aos VMA definidos pela entidade gestora da rede de saneamento.

A capacidade de o sistema desenvolvido conseguir analisar e avaliar continuamente o efluente que deve efetivamente ser tratado é a característica de destaque deste projeto, pois atualmente, os sistemas de tratamento da indústria corticeira processam todo o efluente, independentemente das suas características, levando a um consumo desnecessário de energia e dos produtos químicos usados no tratamento, bem como à geração supérflua de lamas.

O sistema desenvolvido assenta na análise em contínuo da qualidade do efluente bruto e no eventual envio para tratamento físico-químico – por um processo sucessivo de coagulação, neutralização e floculação – da fração do efluente que carece de tratamento. O efluente bruto, após mistura com o efluente tratado, é enviado diretamente para a rede de saneamento em conformidade com os VMA da entidade gestora.

O sistema desenvolvido pode dividir-se em três zonas funcionais.

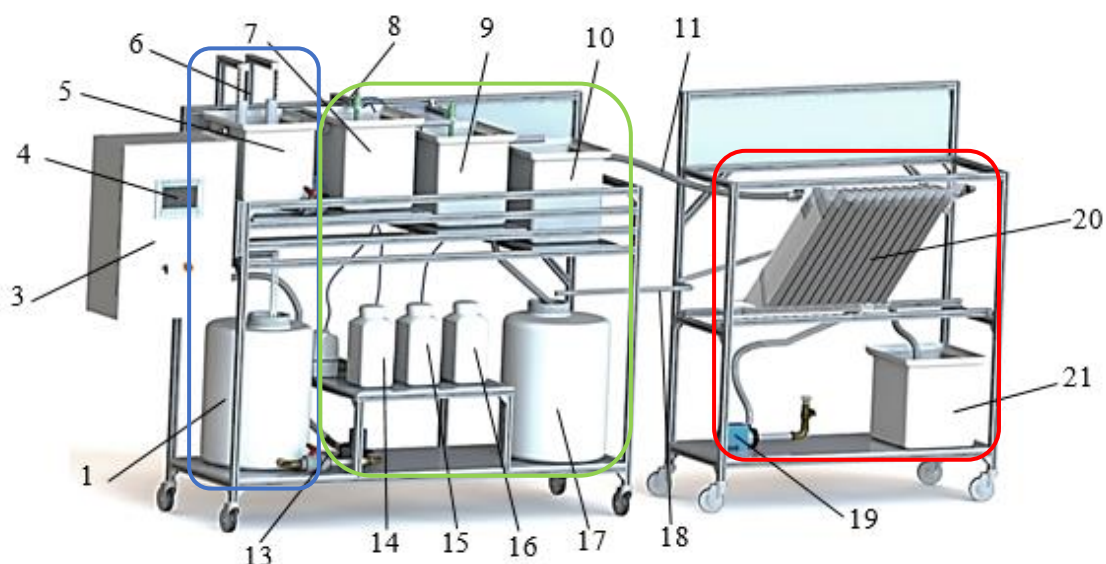


Figura 6 - Componentes do sistema de tratamento físico-químico de efluentes da indústria corticeira

A primeira zona, assinalada a azul, está vocacionada para promover a tomada de decisão acerca da necessidade de tratamento físico-químico do efluente bruto que entra no tanque de decisão (5). O efluente bruto é bombeado, pela bomba de alimentação (12) através de tubagens, para o tanque de decisão (5). Neste está inserido o conjunto de sensores de pH, turbidez e condutividade (6), que mede os valores dos parâmetros característicos do efluente bruto e os comunica à unidade de comando e controlo instalada no interior do quadro (3). Deste modo é possível verificar se os parâmetros medidos estão em conformidade com os valores pré-definidos no ecrã tátil (4). No caso de se verificar essa conformidade é tomada a decisão de

bombear o efluente diretamente para o tanque de recolha do efluente tratado (17). Caso contrário, se o efluente bruto não cumprir os VMA definidos pela entidade gestora da rede de saneamento, dá-se início ao processo de tratamento físico-químico.

A segunda zona, assinalada a verde, engloba o tratamento físico-químico, numa sucessão de fases de tratamento do efluente. O processo começa pelo efluente passar, por gravidade, do tanque de decisão (5) para o tanque de reação de coagulação (7), onde está inserido um sensor de pH (8) e onde é adicionado o coagulante proveniente do tanque de coagulante (14), por meio da primeira das 3 bombas doseadoras (12), até que o pH atinja um valor pré-definido no ecrã tátil (4). Daí passa por gravidade para o tanque de reação de neutralização (9) onde está inserido outro sensor de pH (8) e onde é adicionado o neutralizante proveniente do tanque de neutralizante (15) por meio da segunda das 3 bombas doseadoras (12), até que o pH atinja um valor pré-definido no ecrã tátil (4). Finalmente o efluente passa para o tanque de reação de floculação (10) onde é adicionado floculante proveniente do tanque de floculante (16) por meio da última das 3 bombas doseadoras (12), por forma a promover a agregação dos flocos anteriormente gerados. A suspensão obtida é enviada por gravidade, da tubagem de ligação (11), para o decantador lamelar (20).

A terceira e última zona, assinalada a vermelho, envolve a separação de fases num decantador lamelar (20) permitindo o envio do efluente já tratado pela tubagem de descarga do efluente tratado (18) para o tanque de recolha do efluente tratado (17). As lamas resultantes ficam depositadas no fundo do decantador lamelar (20). São posteriormente enviadas pela bomba de lamas (19) através de tubagens, para o tanque de recolha de lamas (21).

4.1 BASTIDORES

4.1.1 PERFIL DA ESTRUTURA DOS BASTIDORES

Os perfis que servem de estrutura aos dois bastidores foram desenhados através da ferramenta computacional *Solidworks*. Esta ferramenta baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de operações geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície começa geralmente com a definição de um esboço a duas dimensões (2D) que depois é transformado num modelo tridimensional (3D). O *SolidWorks* dispõe de um amplo leque de funcionalidades, incluindo funções específicas para chapa metálica, construção soldada e moldes (*Solidworks*, 2016).

O processo começou pela criação de um desenho onde se elabora a geometria 2D do perfil. O perfil em formato *Computer Aided Design* (CAD), com a geometria e dimensão original, foi recriado recorrendo a vários documentos informativos do fabricante relativamente ao perfil selecionado de 30x30.

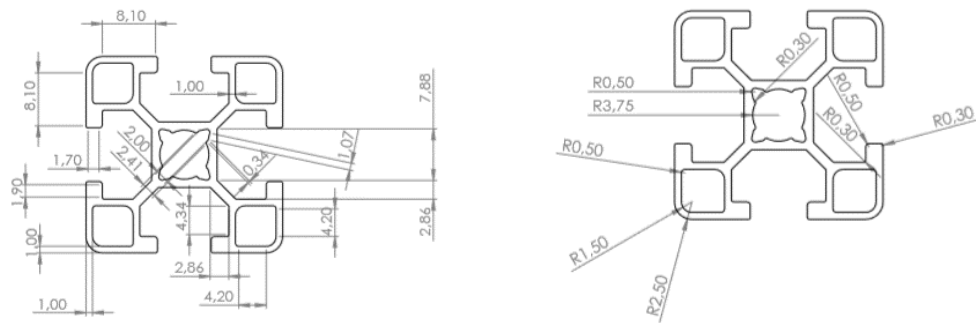


Figura 7 - Dimensões do perfil

Com as cotas obtidas através da Figura 7 foi realizado o esboço 2D no *Solidworks*, como se pode constatar através da Figura 8.

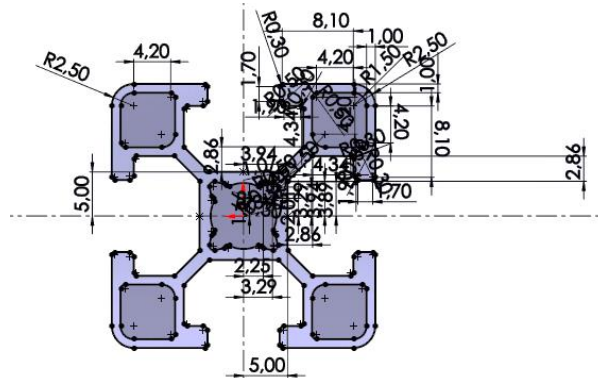


Figura 8 - Esboço 2D da secção do perfil

Foi através deste esboço 2D que, à exceção de alguns perfis com as suas particularidades, foram gerados todos os perfis necessários para criar as estruturas dos dois bastidores.

Para converter o esboço 2D em cada um dos perfis constituintes das estruturas dos dois bastidores recorreu-se à ferramenta *Features* do *Solidworks* para fazer, para cada um dos perfis, um *Extrude Boss* do esboço 2D com o comprimento correspondente.

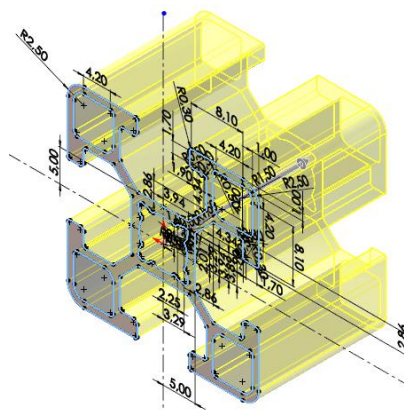


Figura 9 - Extrude do perfil

4.1.2 ESTRUTURA DOS BASTIDORES

A estrutura dos dois bastidores foi construída recorrendo a perfil de alumínio 30mm×30mm devido à sua versatilidade, facilidade de conexão, leveza e relativamente boa resistência mecânica, tendo em conta a sua massa específica.



Figura 10 - Sistema de perfis (Fluidotronica, 2017)

Tabela 4 - Caracterização do perfil

Características	Valores
Tipo liga de alumínio	Al Mg 0,7 Si EN-AW-6063 T66
Massa específica	2,75 g/cm ³
Módulo de elasticidade	70000 MPa
Tensão de cedência	200 MPa
Tensão de rotura	245 MPa

4.1.2.1 BASTIDOR DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

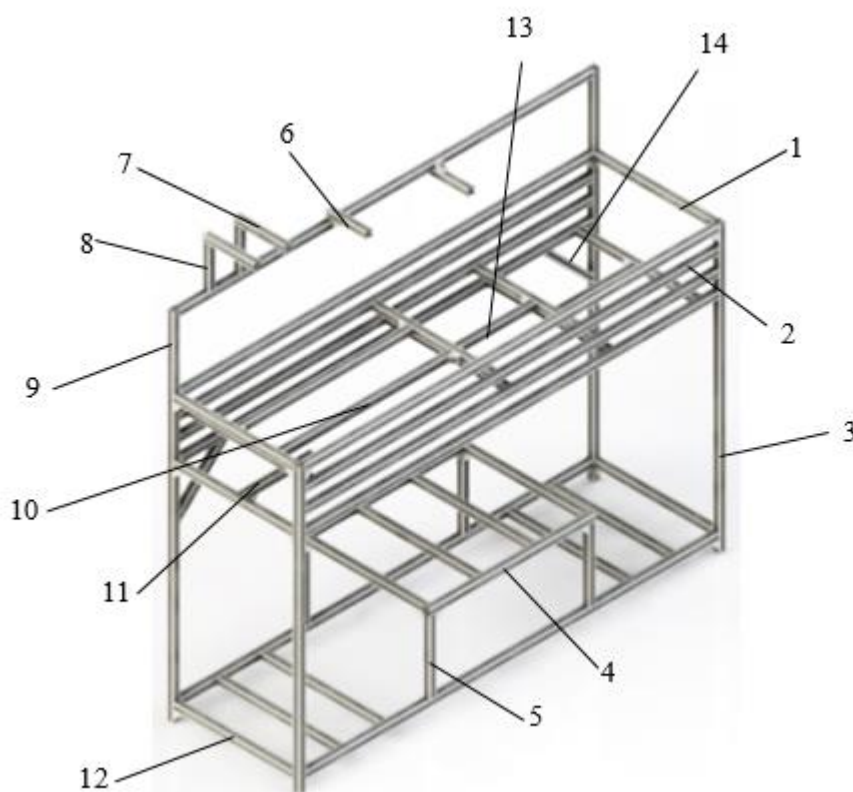


Figura 11 - Estrutura do bastidor de tratamento do efluente

Tabela 5 - Legenda dos perfis usados na estrutura do bastidor de tratamento do efluente

Nº	Descrição	Quant.	Nº	Descrição	Quant.
1	Perfil transversal 1	19	8	Perfil vertical tanque TD (suporte sensores)	2
2	Perfil horizontal 1	11	9	Perfil vertical traseiro	2
3	Perfil vertical frontal	2	10	Perfil horizontal suporte tanques TD e TR1	2
4	Perfil horizontal (apoio químicos)	2	11	Perfil suporte sensor de nível tanque EB	1
5	Perfil vertical (apoio químicos)	4	12	Canto 90º	39
6	Perfil suporte sensor	2	13	Perfil horizontal suporte tanque TR2 ou TR3	2
7	Perfil transversal tanque TD (suporte sensores)	2	14	Perfil travamento	2

4.1.2.2 BASTIDOR SEDIMENTADOR



Figura 12 - Estrutura do bastidor do sedimentador

Tabela 6 - Legenda dos perfis usados na estrutura do bastidor do sedimentador

Nº	Descrição	Quant.
1	Perfil horizontal	5
2	Perfil transversal	10
3	Perfil vertical frontal	2
4	Perfil vertical traseiro	2
5	Perfil horizontal (apoio sedimentador)	2
6	Canto 90º	12

4.1.2.3 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Fixadores do topo do perfil são utilizados na fixação de perfis dispostos a 90° entre si, onde não seja exigido um elevado nível de resistência mecânica.

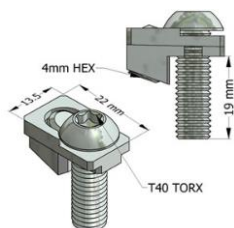


Figura 13 - Fixador do topo do perfil (MiniTec, 2017)

Cantos a 90° são utilizados na fixação de perfis dispostos a 90° entre si, onde seja exigido um elevado nível de resistência mecânica, de modo que a estrutura onde são aplicadas resista às solicitações externas ditas normais tendo em conta a sua aplicação.

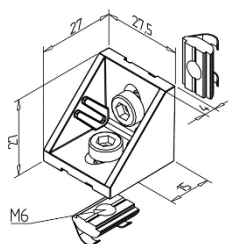


Figura 14 - Canto a 90° (MiniTec, 2021)

4.2 SUPORTE DO QUADRO ELÉCTRICO

A estrutura do suporte foi construída recorrendo ao mesmo perfil de alumínio utilizado na construção dos bastidores. O suporte foi concebido de modo que o quadro eléctrico possa ser retirado do bastidor de tratamentos sem recurso a qualquer tipo de ferramenta, proporcionando, em caso de necessidade um transporte fácil e rápido.

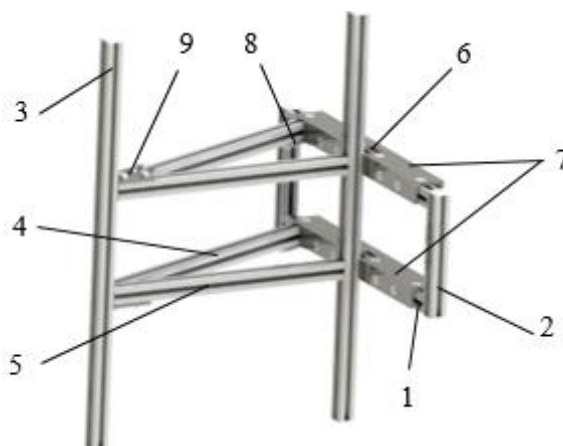


Figura 15 - Estrutura de suporte do quadro eléctrico

Tabela 7 - Legenda dos componentes do suporte do quadro elétrico

Nº	Descrição	Quant.
1	Perfil transversal apoio rápido	2
2	Perfil vertical apoio rápido	2
3	Perfil fixador quadro	2
4	Perfil sustentação peso 1	2
5	Perfil sustentação peso 2	2
6	Canto 90º	16
7	Apoio rápido	2
8	Elemento fixador 1	2
9	Elemento fixador 2	2

Os componentes Apoio rápido e Elemento fixador 1 e 2 foram fabricados no Laboratório de Tecnologia Oficinal do ISEC dada a falta de soluções comerciais para este caso em particular.

O Apoio rápido foi fabricado usando duas barras em L, de aço ao carbono, de secção 30mm×30mm e espessura 4mm, cortadas, soldadas e furadas para apresentar o aspeto da Figura 16.

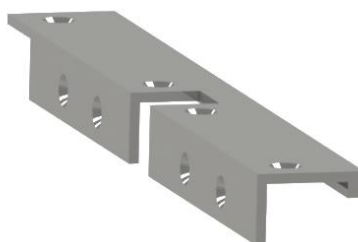


Figura 16 - Apoio rápido

O Elemento fixador 1 foi fabricado a partir de duas barras retangulares, de aço ao carbono, de secção 30mm×4mm, cortadas, soldadas e furadas para apresentar o aspeto da Figura 17.



Figura 17 - Elemento fixador 1

O Elemento fixador 2 foi fabricado a partir de duas barras retangulares, de aço ao carbono, de secção 30mm×4mm, cortadas, soldadas e furadas para apresentar o aspeto da Figura 18.



Figura 18 - Elemento fixador 2

4.3 SUPORTE DOS TANQUES

Os vários tanques que integram o sistema assentam em tampos feitos com base em placas de polimetacrilato de metilo (PMMA) ou acrílico vazado.

Este polímero oferece boas características para ser trabalhado (aplainado, serrado, lixado, colado, pregado e parafusado).

Oferece ainda outras grandes vantagens, como a sua resistência à água e humidade, o que se adequa perfeitamente ao meio em que se integrará, ao dano por riscos e impacto, que são também características importantes, dado a movimentação constante de alguns dos tanques do sistema para realizar cargas ou descargas de produtos provenientes de processos realizados, que condicionam seriamente a integridade estrutural das bases de suporte.

Tabela 8 - Propriedades do PMMA

Propriedades de Estabilidade Dimensional	Valores
Coeficiente linear de expansão térmica	$5 - 9 \times 10^{-5}$
Absorção de água (em 24 h)	0,1 a 0,4 %
Propriedades Físicas	Valores
Massa específica (kg/m ³)	1190
Temperatura de transição vítrea (°C)	90 a 110
Propriedades Mecânicas	Valores
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	2770
Resistência à tração (N/mm ²)	61
Resistência à compressão (N/mm ²)	105
Dureza <i>Rockwell</i>	70 a 105

Os tampos que suportam os tanques foram desenhados através da ferramenta computacional *Solidworks*, à semelhança da estrutura dos bastidores. A criação do modelo 3D de cada tampo foi efetuada através da mesma sequência processual.

4.3.1 TAMPOS DO BASTIDOR DE TRATAMENTOS DO EFLUENTE



Figura 19 - Tampos do bastidor do tratamento do efluente

Tabela 9 - Legenda dos tampos do bastidor do tratamento do efluente

Nº	Descrição
1	Tampo de proteção traseira
2	Tampo de apoio dos tanques TD e TR1
3	Tampo de apoio dos tanques EB e ET
4	Tampo de apoio dos tanques TR2 e TR3
5	Tampo de apoio dos tanques dos químicos

4.3.2 TAMPOS DO BASTIDOR DO SEDIMENTADOR



Figura 20 - Tampos do bastidor do sedimentador

Tabela 10 - Legenda dos tampos do bastidor do sedimentador

Nº	Descrição
1	Tampo de proteção traseira
2	Tampo de apoio do tanque de sedimentos

4.3.3 FURAÇÃO E ESCAREAÇÃO

O processo de furar e escarear foi executado da mesma forma para todos os tampos. Seguidamente descreve-se apenas um exemplo de cada passo realizado para fazer ambos os processos de maquinação em 3D CAD.

A furação dos tampos é necessária para que possa ser possível a sua fixação na estrutura dos bastidores através de conjuntos de parafusos e porcas.

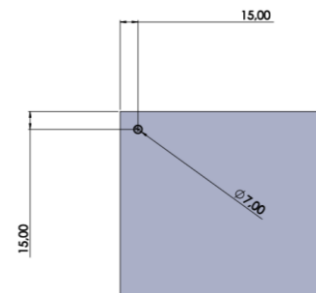


Figura 21 - Esboço 2D da furação dos tampos

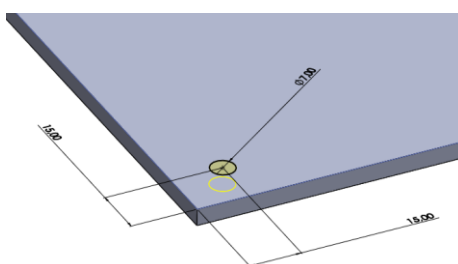


Figura 22 - Esboço 3D do *Extruded Cut*

Os furos dos tampos são posteriormente escareados dado que os parafusos utilizados para a fixação dos tampos são cónicos, pois permitem uma superfície de contacto entre o tanque e o tampo. Para escarear corretamente os tampos foi necessário obter as dimensões reais da cabeça do parafuso utilizado, pois só desta forma foi possível garantir um embutimento correto.



Figura 23 - Dimensões da cabeça de um parafuso (Central Industrial Solutions, 2016)

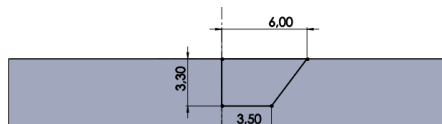


Figura 24 - Esboço 2D (escarear)

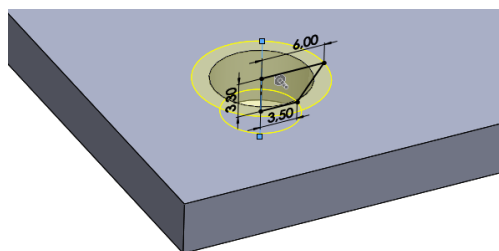


Figura 25 - Esboço 3D do *Revolved Cut* (escarear)

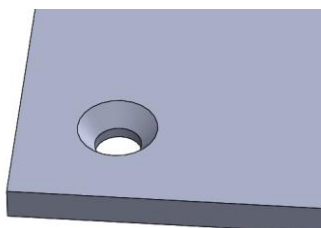


Figura 26 - Resultado final do processo de furar e escarear

4.4 COMPONENTES

4.4.1 TANQUES

O tanque retangular com tampa tem grande capacidade de resistência a ácidos, bases e álcoois. É ideal para servir como recipiente de mistura dos químicos com o efluente a tratar. Foram usados 4 destes tanques.



Figura 27 - Tanque retangular com tampa (Lab Genome, 2021)

Tabela 11 - Propriedades do tanque retangular com tampa

Capacidade	30 l
Dimensões	300x300x300 mm
Material	Polietileno linear de baixa densidade (LLDPE)

O tanque retangular de boca larga tem grande capacidade de resistência a ácidos, bases e álcoois. É ideal para servir como recipiente de armazenamento dos diferentes químicos de tratamento. Foram usados 3 destes tanques.



Figura 28 - Tanque retangular de boca larga (Avantor, 2021)

Tabela 12 - Propriedades do tanque retangular de boca larga

Capacidade	4 l
Dimensões	300x300x300 mm
Material	Polietileno linear de alta densidade (HLDPE)

O tanque redondo de boca larga tem grande capacidade de resistência a ácidos, bases e álcoois. É ideal para servir como recipiente de armazenamento do efluente por tratar e tratado dada a sua grande capacidade de armazenamento, que permite uma duração de processamento suficiente para a observação de todas as fases do tratamento físico-químico. Foram usados 2 destes tanques.



Figura 29 - Tanque redondo de boca larga (Caixas e Tanque, 2020)

Tabela 13 - Propriedades do tanque redondo de boca larga

Capacidade	80 l
Dimensões	Ø430x560 mm
Material	Polietileno linear de alta densidade (HLDPE)

4.4.2 BOMBAS

A bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB possui uma gama de modos de funcionamento e de caudal/altura de bombagem que se adequam à quantidade média necessária de efluente a bombear nos estágios do processo em que é acionada ($\pm 0,5$ l/s) e à necessidade de, nestes locais, existir uma bomba polivalente que, em fase de teste do sistema, permita adequar-se aos vários modos de funcionamento a testar.



Figura 30 - Bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB (Stairs, s.d)

Tabela 14 - Propriedades da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB

Modelo	AHWS-25-60-180
Tensão	220 – 240 V
Frequência	50 – 60 Hz
Potência máxima	40 W
Caudal máximo	60 l/min.
Altura manométrica máxima	6 m
Pressão máxima	145 psi

A bomba possui vários modos de funcionamento que fazem variar as suas características (caudal, altura de bombagem e pressão). Na Figura 30 encontra-se representado o painel de controlo da bomba, com o esquema dos vários botões e indicadores luminosos.

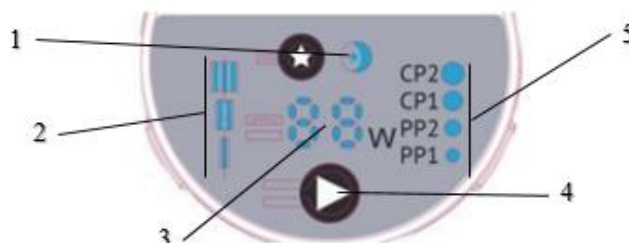


Figura 31 - Painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB (Stairs, s.d.)

Tabela 15 - Legenda do painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB

Nº	Descrição
1	Iluminação noturna
2	Indicadores luminosos da configuração da velocidade constante: I → Velocidade mínima; II → Velocidade média; III → Velocidade máxima.
3	Mostrador da potência instantânea consumida
4	Botão do seletor de configuração
5	Indicadores luminosos da configuração da curva de pressão: CP2 → Curva de pressão constante máxima; CP1 → Curva de pressão constante mínima; PP2 → Curva de pressão proporcional mínima; PP1 → Curva de pressão proporcional máxima.

Foi necessário fabricar um suporte em plástico para esta bomba dado esta não possuir nenhuma face que permitisse um apoio firme sobre os tampos do bastidor. O suporte foi construído num polímero poliácido láctico (PLA) caracterizado pela facilidade de fabricação através da impressão 3D, que permite a criação dos mais variados *designs*. O PLA é caracterizado por possuir características muito favoráveis à geração de peças por impressão 3D, bem como resistência mecânica adequada o suficiente para a aplicação em questão. Deste modo cumprem-se todas as características desejadas tais como, fácil fixação do suporte à bomba e boa base de contacto com o tampo.

A bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF possui uma gama de modos de funcionamento e de caudal/altura de bombagem que se adequam à quantidade média necessária de efluente a bombear nos estágios do processo em que é acionada ($\pm 0,00075$ l/s) e à necessidade de nestes locais existir uma bomba polivalente que, em fase de teste de todo o sistema, permita adequar-se aos vários modos de funcionamento a testar (na secção 4.5 estão apresentados os cálculos efetuados para o dimensionamento da bomba para cada uma das instalações).



Figura 32 - Bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF (KnF, s.d.)

Tabela 16 - Propriedades da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB

Modelo	LIQUIPORT 300
Tensão	100 – 240 V
Frequência	50 – 60 Hz
Potência máxima	32 W
Caudal máximo	3 l/min.
Altura manométrica máxima	3 m
Pressão máxima	15 psi

A bomba possui um funcionamento simples, apresentando no painel de controlo apenas um botão rotativo para variar o caudal. Na Figura 33 encontra-se representado o painel de controlo da bomba com a esquematização dos vários botões e indicadores luminosos.

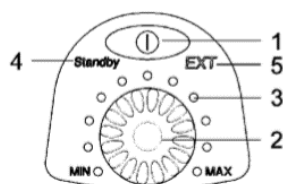


Figura 33 - Painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF (KnF, s.d.)

Tabela 17 - Legenda do painel da bomba centrífuga aplicada nos tanques TC, TN e TF

Nº	Descrição
1	Botão ON/OFF
2	Regulador do caudal
3	Indicador do caudal
4	Indicador de <i>standby</i>
5	Indicador do modo analógico

A bomba peristáltica aplicada no sedimentador possui uma gama de modos de funcionamento e de caudal/altura de bombagem que se adequam à quantidade média necessária de efluente a bombear nos estágios do processo em que é acionada ($\pm 0,00075$ l/s) e à necessidade de nestes locais existir uma bomba polivalente que, em fase de teste de todo o sistema, permita adequar-se aos vários modos de funcionamento a testar (nos anexos do relatório encontram-se os cálculos efetuados para o dimensionamento da bomba para cada uma das instalações).

4.4.2.1 SUPORTE DA BOMBA CENTRIFUGA DOS TANQUES TD E EB

Mais um vez foi necessário fabricar um suporte para a bomba, dado esta não possuir uma base que permitisse um apoio estável sobre o tampo do bastidor. O suporte foi construído num polímero poliácido láctico (PLA), recorrendo ao mesmo processo anteriormente descrito. Deste modo cumprem-se todas as características desejadas tais como, fácil fixação do suporte à bomba e boa base de contacto com o tampo.

A conceção dos suportes seguiu os seguintes procedimentos:

- Estudo do *design* de suporte da bomba: depois de alguma reflexão acerca do posicionamento do suporte e pontos de fixação na bomba, concluiu-se que o suporte ficaria por baixo da bomba, fixando-a nas zonas da bomba assinaladas na Figura 34, possibilitando uma visualização e acesso sem constrangimentos.



Figura 34 - Pontos de fixação do suporte bomba (Stairs, s.d)

- Desenho 3D através do *Solidworks*: na Figura 35 encontra-se o modelo 3D do suporte. O seu *design* foi pensado para a obtenção da melhor relação possível entre resistência mecânica e volume de material, dado que além da resistência mecânica ser um fator muito importante, o volume de material na impressão 3D, também é um fator crítico no que diz respeito ao tempo e custo de fabricação.



Figura 35 - Modelo 3D do suporte

- Impressão 3D: com o auxílio do programa de afinação de parâmetros *Creality Slicer* da impressora 3D foi possível ajustar parâmetros como, velocidade de impressão, velocidade de deslocamento e densidade de material no interior do suporte.



Figura 36 - Impressora 3D (The Madden House, s.d.)

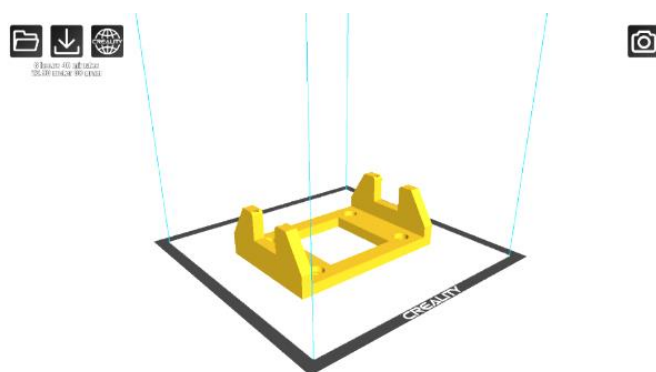


Figura 37 - Disposição do suporte na bandeja da impressora 3D

4.4.3 SEDIMENTADOR LAMELAR

O sedimentador lamelar instalado no sistema de tratamento físico-químico de efluentes da indústria corticeira é uma unidade de tratamento secundário e tem como principal função a retirada de sólidos formados durante a remoção dos poluentes presentes nos efluentes, que não podem ser lançados diretamente para o saneamento (Sakai, 2016). É um tanque prismático contendo no seu interior placas (lâminas) que têm como principal função o aumento da superfície de sedimentação, possibilitando, assim, a aplicação de maiores taxas de escoamento superficial (Sakai, 2016). O fluxo do fluido é ascendente e à medida que o fluido passa pelas lamelas, as partículas de maior densidade deslizam pelas lamelas em sentido oposto ao do fluido e acabam por se depositar no fundo do sedimentador. Este último processo descrito tem como sustentação científica a Lei de *Reynolds* que se encontra a seguir explicada (Sakai, 2016).

Cientificamente falando, o sedimentador lamelar aplica a lei de *Reynolds* e o conceito de regime laminar de fluxo para obter uma resultante vetorial favorável à sedimentação rápida de partículas sólidas, no caso, dos flóculos formados durante o tratamento do efluente.

Reynolds verificou que, num fluido em movimento no interior de uma conduta, em regime laminar (baixa velocidade), a velocidade no centro da conduta é máxima, sendo nula na parede da conduta. Esta propriedade aliada ao estudo das forças vetoriais pode explicar o funcionamento do sedimentador lamelar. Quando um flóculo é levado para cima por dentro do sedimentador lamelar a soma das forças vetoriais geram um vetor resultante em direção às placas do sedimentador, fazendo com que o flóculo encoste na placa, onde a velocidade é nula (Sakai, 2016). Nesse instante o vetor velocidade é substituído por um vetor perpendicular em relação à placa do módulo, e a resultante das novas forças é um vetor descendente, o que faz com que os flóculos sejam arrastados para o fundo do sedimentador (Sakai, 2016).

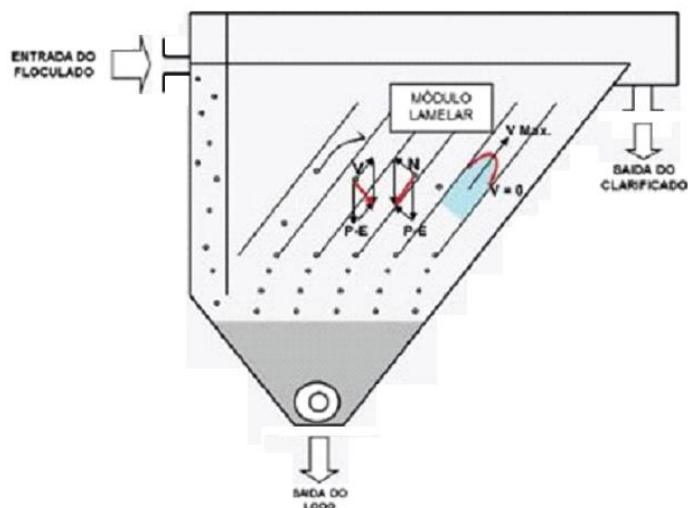


Figura 38 - Sedimentador lamelar (Tecitec, s.d.)

Apesar de haver inúmeros tipos de sedimentadores, foi escolhido este tipo, principalmente por ser o mais compacto. Para este projeto esta era uma característica muito importante, tendo em conta o objetivo de desenvolver um sistema de tratamento suficientemente compacto para servir como equipamento de laboratório e de demonstração do processo de tratamento de efluentes. No entanto, como desvantagem, apresenta uma eficácia inferior.

4.4.4 SUPORTE DOS SENSORES

4.4.4.1 SUPORTE ESTÁTICO DOS SENSORES DE pH

Este suporte foi fabricado com o objetivo de fixar os sensores de pH dos tanques TR1 e TR2, de forma que o elétrodo do sensor fique 30 mm submerso no efluente. A fabricação foi efetuada através de impressão 3D, tal como o suporte das bombas (ver secção 4.4.2.1). O polímero utilizado foi o PLA branco.

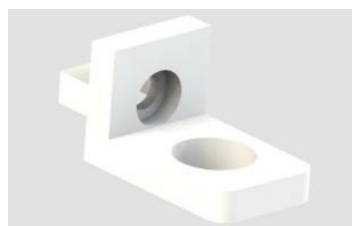


Figura 39 - Suporte estático

4.4.4.2 SUPORTE DINÂMICO DOS SENSORES DE pH

Este suporte foi aplicado no tanque TD com o objetivo de permitir aos sensores de nível o contínuo contacto com o efluente, ajustando-se à superfície do efluente, a qual pode variar dependendo do estágio do ciclo do processo de tratamento.

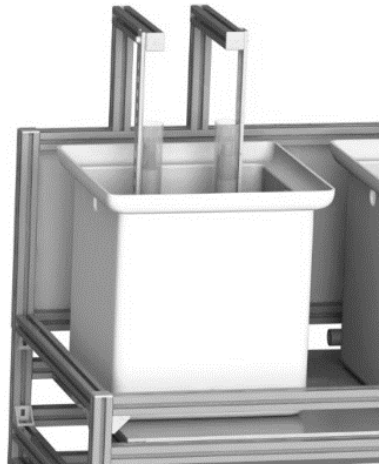


Figura 40 - Suporte dinâmico

A Figura 41 esquematiza os componentes constituintes do suporte.

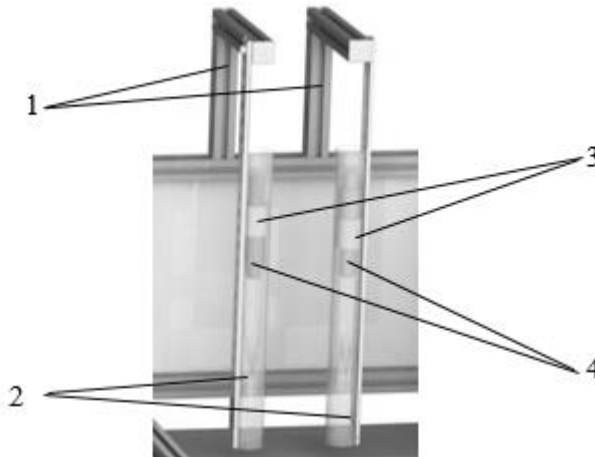


Figura 41 - Esquematização dos componentes

Tabela 18 - Legenda dos componentes

Nº	Descrição	Material
1	Perfil de suporte	Calha DIN 35 mm
2	Tubo guia	Tubo PVC 40 mm
3	Boias	Esponja de polietileno
4	Sensores (pH e condutividade)	Diverso

4.5 DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS

Através dos cálculos relativos às condições de funcionamento da instalação e posterior comparação com as curvas da bomba fornecidas pelo fabricante foi possível garantir que as bombas referidas anteriormente (ver secção 4.4.2) cumprem as especificações exigidas. O cálculo das condições de funcionamento da instalação desenvolve-se da forma seguidamente descrita.

4.5.1 INSTALAÇÃO DE EB PARA TD

1º - Cálculo número de *Reynolds*

Aspiração / Compressão:

O número de *Reynolds* é igual na zona de aspiração (a montante da bomba) e na zona de compressão (a jusante da bomba), pois a tubagem possui as mesmas características em todo o seu percurso. Por isso basta calculá-lo uma vez:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad (1)$$

Onde ρ é a massa específica do fluido, V é a velocidade do fluido, D é o diâmetro interno do tubo (0,02 m) e μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

Considerou-se a massa específica do efluente igual à da água, isto é, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, o mesmo sucedendo para a viscosidade dinâmica do fluido, ou seja, $\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$. Para o cálculo da velocidade V recorreu-se à equação da continuidade, sendo Q considerado 0,5 l/s (ver secção 4.4.2):

$$Q = V \times A \quad (2)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,01^2 \text{ m}^2} = 1,590 \text{ m/s}$$

$$Re_{Asp/Comp} = \frac{1000 \times 1,590 \times 0,02}{1 \times 10^{-3}} = 31800$$

2º - Cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios

O coeficiente de perda de carga pelos acessórios K_T é a soma do valor do coeficiente na zona de aspiração (a montante da bomba) e na zona de compressão (a jusante da bomba):

$$K_T = \frac{\lambda \times L}{D} + \Sigma K \quad (3)$$

Onde λ é o fator de *Moody*, L é o comprimento do tubo (0,15 m), D é o diâmetro interno do tubo (0,02 m) e ΣK é o somatório do coeficiente individual de perda de carga dos acessórios (0,4 para a saída do tanque, 0,6 para curva a 90º e 0,05 para a válvula esférica instalada à saída do tanque).

Aspiração:

O fator de *Moody* λ presente na equação (3) foi obtido através de (regime turbulento):

$$\lambda = 0,0055 \times \left[1 + \left(20000 \times \frac{\varepsilon}{D} \times \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad (4)$$

Onde Re é o número de *Reynolds* já calculado. Assim:

$$\lambda = 0,0055 \times \left[1 + \left(20000 \times \frac{1 \times 10^{-3}}{0,02} \times \frac{10^6}{31800} \right)^{1/3} \right] = 0,078$$

Com o fator de *Moody* calculado anteriormente, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios K_T :

$$K_{TAsp} = \frac{\lambda \times L}{D} + \Sigma K = \frac{0,078 \times 0,15}{0,02} + (0,4 + 0,6 + 0,05 + 0,6) = 2,235$$

Compressão:

Com o fator de *Moody* λ calculado anteriormente através da equação (4), procedeu-se ao cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios K_T através da equação (3):

$$K_{TComp} = \frac{\lambda \times L}{D} + \Sigma K = \frac{0,078 \times 1,5}{0,02} + (0,6 + 0,6 + 0,6) = 7,65$$

Onde L é o comprimento do tubo (1,5 m), D é o diâmetro interno do tubo (0,02 m) e ΣK é o somatório do coeficiente individual de perda de carga dos acessórios (0,6 para cada curva a 90°, no total de três curvas).

3º - Cálculo de K'

$$K' = \frac{8 \times K_T}{\pi^2 \times D^4 \times g} \quad (5)$$

Onde K_T é o coeficiente de perda de carga pelos acessórios ($K_{TAsp} = 2,235$ para aspiração e $K_{TComp} = 7,650$ para compressão), D é o diâmetro interno do tubo (0,02 m) e g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s).

Aspiração:

$$K'_{Asp} = \frac{8 \times 2,235}{\pi^2 \times 0,02^4 \times 9,81} = \frac{17,88}{1,549 \times 10^{-5}} = 1154193,91$$

Compressão:

$$K'_{comp} = \frac{8 \times K_T}{\pi^2 \times D^4 \times g} = \frac{8 \times 7,650}{\pi^2 \times 0,02^4 \times 9,81} = \frac{61,2}{1,549 \times 10^{-5}} = 3950596,61$$

4º - Obter equação da curva da instalação

$$H_i = H_0 + K' \times Q^2 \tag{6}$$

Onde H_i é a altura manométrica (variável), H_0 é a altura geométrica (0,912 m), K' é o coeficiente de perda de carga total (soma de K'_{Asp} e K'_{Comp}) e Q é o caudal (variável).

$$H_i = 0,912 + 5104790,52 \times Q^2$$

5º - Comparação da curva característica da bomba com a da instalação

As curvas características dadas pelo fabricante da bomba estão representadas a seguir.

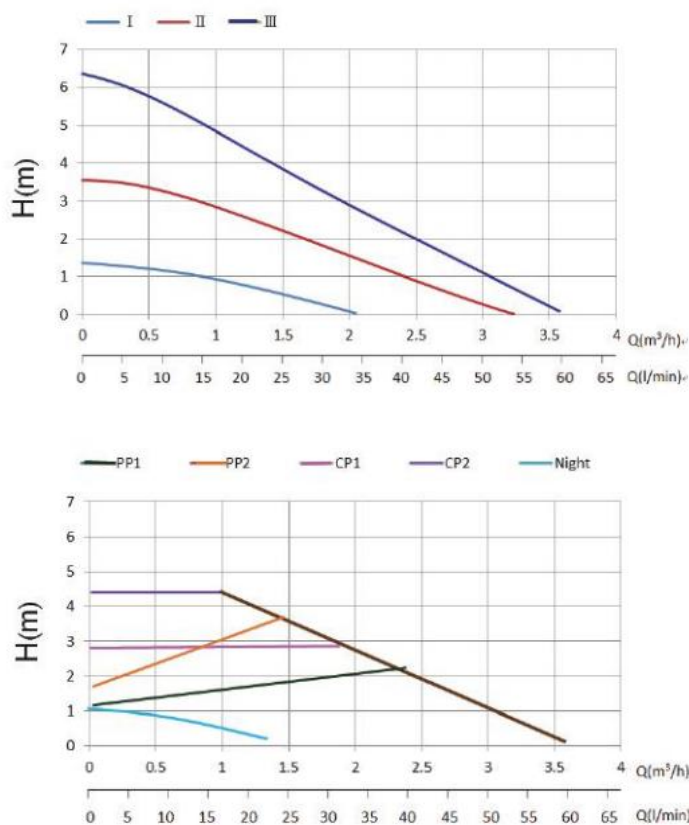


Figura 42 - Curva da bomba centrífuga aplicada nos tanques TD e EB

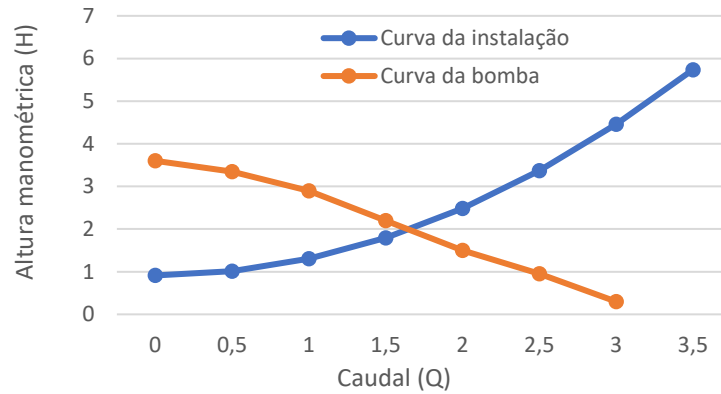


Figura 43 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação

Comparando a curva da bomba com a da instalação pode concluir-se que as curvas se interseçam aproximadamente a meio da sua gama de funcionamento. Isto indica que esta bomba é indicada para a instalação com uma larga margem de erro e permite, em fase de teste, se necessário, variar as suas características para melhor desempenho de todo o sistema.

4.5.2 INSTALAÇÃO DE TD PARA ET

1º - Cálculo número de Reynolds

Aspiração / Compressão:

Recorre-se novamente à equação (1), onde ρ é a massa específica do fluido (1000 kg/m^3), V é a velocidade do fluido, D é o diâmetro interno do tubo ($0,02 \text{ m}$) e μ é a viscosidade dinâmica do fluido ($1 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$).

Neste caso específico, dadas as tubagens terem as mesmas características em todo o seu percurso, o número de *Reynolds* é igual nas duas zonas, bastando por isso calcular uma vez.

Para o cálculo da velocidade do fluido recorreu-se novamente à equação (2) considerando o caudal $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$ (caudal de $0,5 \text{ l/s}$ referido na seção 4.4.2):

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,01^2 \text{ m}^2} = 1,59 \text{ m/s}$$

$$Re_{Asp/Comp} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{1000 \times 1,592 \times 0,02}{1 \times 10^{-3}} = 31831$$

2º - Cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios (K_T)

Aspiração:

Recorre-se novamente à equação (3), onde L é o comprimento do tubo (0,38 m), D é o diâmetro do tubo (0,02 m) e ΣK é o somatório dos coeficientes individuais de perda de carga dos acessórios (0,4 para a saída do tanque, 0,6 para a curva a 90°, 0,05 para a válvula esférica e 0,6 para a curva a 90°). Os valores do comprimento e diâmetro do tubo foram facilmente obtidos executando simples medições.

O fator de *Moody* λ foi obtido através de:

$$\lambda = 0,0055 \times \left[1 + \left(20000 \times \frac{\varepsilon}{D} \times \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad (7)$$

Onde ε é a rugosidade (0,001 mm), D é o diâmetro interno do tubo (0,02 m) e Re é o número de *Reynolds* calculado anteriormente (31831).

$$\lambda = 0,0055 \times \left[1 + \left(20000 \times \frac{0,000001}{0,02} \times \frac{10^6}{31831} \right)^{1/3} \right] = 0,021$$

Com o fator de *Moody* λ calculado pela equação (7) procedeu-se ao cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios K_T .

$$K_T = \frac{0,021 \times 0,38}{0,02} + (0,4 + 0,6 + 0,05 + 0,6) = 2,499$$

Compressão:

Recorre-se novamente à equação (3), onde $\lambda = 0,014$, $L = 2$ m, $D = 0,02$ m e ΣK é o somatório de 0,6 (Curva 90°) e 0,6 (Curva 90°). Os valores do comprimento do tubo, diâmetro do tubo e coeficiente de perda de carga foram facilmente obtidos mediante simples medições.

$$K_T = \frac{0,021 \times 2}{0,02} + (0,6 + 0,6) = 3,3$$

3º - Cálculo do K'

Aspiração:

Recorre-se novamente à equação (5), onde $K_{TAsp} = 2,499$, $D = 0,02$ m e $g = 9,81$ m/s.

$$K'_{Asp} = \frac{8 \times 2,499}{\pi^2 \times 0,02^4 \times 9,81} = 1077764,07$$

Compressão:

Recorre-se novamente à equação (5), onde $K_{TComp} = 3,5$, $D = 0,02$ m e $g = 9,81$ m/s.

$$K'_{Comp} = \frac{8 \times 3,5}{\pi^2 \times 0,02^4 \times 9,81} = 1807462,50$$

4º - Obter equação da curva da instalação

Recorre-se novamente à equação (7), onde $H_0 = -0,645$ m e K' é o somatório de K'_{Asp} (1077764,07) com K'_{Comp} (1807462,50):

$$H_i = -0,645 + 2885226,57 \times Q^2$$

5º - Comparação da curva característica da bomba com a da instalação

As curvas características dadas pelo fabricante da bomba estão representadas a seguir.

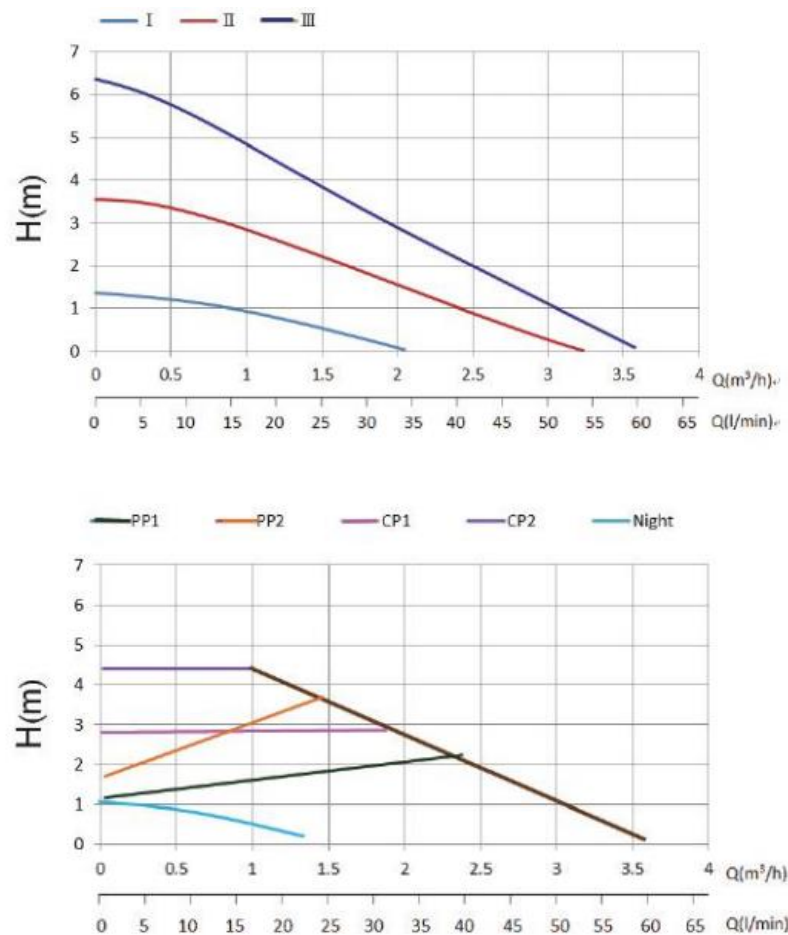


Figura 44 - Curvas da bomba centrífuga nos tanques TD e ET

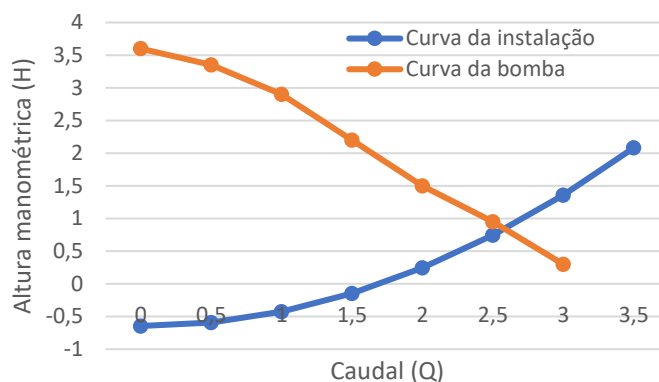


Figura 45 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação

Comparando a curva da bomba com a da instalação pode concluir-se que as curvas se intersectam aproximadamente a meio da sua gama de funcionamento. Isto indica que esta bomba é indicada para a instalação com uma larga margem de erro e permite, em fase de teste, se necessário, variar as suas características para melhor desempenho de todo o sistema.

4.5.3 INSTALAÇÃO DE TF PARA TR3

O dimensionamento das bombas neste caso foi facilitado, procedendo-se à realização de cálculos apenas para a bomba com a instalação mais exigente, pois as características da instalação de qualquer uma das três bombas é similar, variando apenas o comprimento da instalação na secção da compressão. Desta forma foi escolhida a instalação do tanque TF para o tanque TR3.

1º - Cálculo número de Reynolds

Aspiração / Compressão

Aplicando novamente a equação (1), onde $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $D = 0,008 \text{ m}$ e $\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$.

Para o cálculo da velocidade do fluido recorreu-se novamente à equação (2) considerando o caudal $0,000033 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$V = \frac{0,000033 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,004^2 \text{ m}^2} = 0,657 \text{ m/s}$$

$$Re_{Asp/Comp} = 5256$$

2º - Cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios (K_T)

Aspiração:

Recorre-se novamente à equação (3), onde $L = 0,5$ m, $D = 0,008$ m e ΣK é o somatório de 0,4 (saída do tanque), 0,6 (curva 90º), 0,05 (válvula esférica) e 0,6 (curva 90º). Os valores do comprimento do tubo e do diâmetro do tubo foram facilmente obtidos mediante simples medições.

O fator de *Moody* λ foi obtido através da equação (7), onde $\varepsilon = 0,001$ mm, $D = 0,008$ m e $Re = 5256$:

$$\lambda = 0,0055 \times \left[1 + \left(20000 \times \frac{0,001}{8} \times \frac{10^6}{5256} \right)^{1/3} \right] = 0,177$$

Com o fator de *Moody* calculado, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de perda de carga pelos acessórios (K_T).

$$K_T = \frac{\lambda \times L}{D} + \Sigma K = \frac{0,177 \times 0,5}{0,008} + (0,4 + 0,6 + 0,05 + 0,6) = 12,71$$

Compressão:

Recorre-se novamente à equação (3), onde $\lambda = 0,014$, $L = 1,5$ m, $D = 0,008$ m e ΣK é o somatório de 3 coeficientes de 0,6 (curva 90º). Os valores do comprimento do tubo, diâmetro do tubo e coeficiente de perda de carga foram facilmente obtidos mediante simples medições.

$$K_T = \frac{0,177 \times 1,5}{0,008} + (0,6 + 0,6 + 0,6) = 34,98$$

3º - Cálculo do K'

Aspiração:

Recorre-se novamente à equação (5), onde $K_{TAsp} = 12,71$, $D = 0,008$ m e $g = 9,81$ m/s.

$$K'_{Asp} = \frac{8 \times 12,71}{\pi^2 \times 0,008^4 \times 9,81} = 256393397,2$$

Compressão:

Recorre-se novamente à equação (5), onde $K_{TComp} = 34,98$, $D = 0,008$ m e $g = 9,81$ m/s.

$$K'_{Comp} = \frac{8 \times 34,98}{\pi^2 \times 0,008^4 \times 9,81} = 705636588,1$$

4º - Obter equação da curva da instalação

Recorre-se novamente à equação (7), onde $H_0 = 0,912$ m, K' é o somatório do K'_{Asp} (256393397,2) e K'_{Comp} (705636588,1).

$$H_i = H_0 + K' \times Q^2 = 0,912 + 962029985,3 \times Q^2$$

5º - Comparação da curva característica da bomba com a da instalação

As curvas características dadas pelo fabricante da bomba encontram-se representadas a seguir.

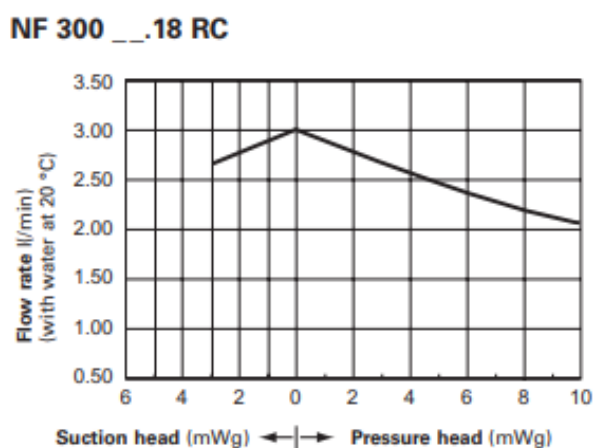


Figura 46 - Curva da bomba centrífuga

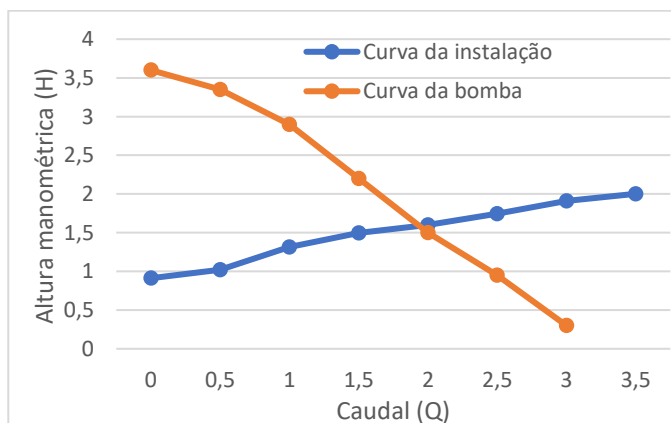


Figura 47 - Interseção entre a curva da bomba e da instalação

Comparando a curva da bomba com a da instalação pode concluir-se que as curvas se interseçam aproximadamente a meio da sua gama de funcionamento. Isto indica que esta bomba é indicada para a instalação com uma larga margem de erro e permite, em fase de teste, se necessário, variar as suas características para melhor desempenho de todo o sistema.

4.6 DIMENSIONAMENTO DOS BASTIDORES E DO SUPORTE DO QUADRO ELÉCTRICO

O dimensionamento foi um processo indispensável no desenvolvimento da estrutura dos bastidores e do quadro elétrico, pois o *design* base da estrutura foi feito com base na conjectura das boas práticas do desenvolvimento estrutural, o que naturalmente não assegura a existência da estabilidade mecânica necessária.

O procedimento da simulação dos esforços teve as seguintes etapas:

1. Obter as solicitações aplicadas na estrutura;
2. Preparar a simulação;
3. Simular e analisar resultados;
4. Proceder aos ajustes caso necessário.

A ferramenta computacional utilizada para a simulação dos esforços foi mais uma vez o *Solidworks*.

4.6.1 DIMENSIONAMENTO DO BASTIDOR DE TRATAMENTOS

4.6.1.1 QUANTIFICAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES

As zonas assinaladas na Figura 48 são os pontos considerados críticos a estudar.

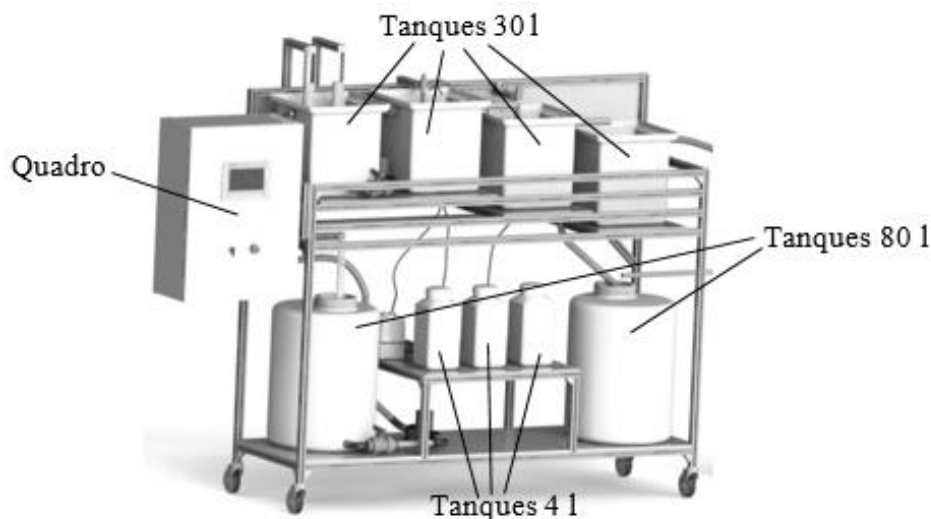


Figura 48 - Pontos críticos

Na Tabela 19 encontra-se discriminada a massa de todos os componentes assinalados.

Tabela 19 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados








Componente	Método de cálculo	Massa
Quadro elétrico	Utilização de balança	40 kg (\pm 392 N)
Tanques 30 l	Utilização da expressão $\rightarrow \mu = \frac{m}{V}$	30 kg (\pm 294 N)
Tanques 4 l	Nota: considerou-se a massa específica do efluente igual à da água a 20 °C (998,23 kg/m ³).	4 kg (\pm 39 N)
Tanques 77 l		80 kg (\pm 785 N)

4.6.1.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Esta etapa consiste em preencher os requisitos do simulador por forma a chegar a resultados mais reais.

Na Tabela 20 encontram-se os campos do simulador onde se indica todas as características que envolvem a estrutura a estudar.

Tabela 20 - Campos do simulador

	Campos	Designação
 Static 1 (-Default-)	1º Campo	Atribuiu-se o tipo de material aos componentes integrantes da estrutura.
 Part1	2º Campo	Atribuiu-se o tipo de contacto entre os vários componentes.
 Connections		
 Fixtures	3º Campo	Atribuiu-se os pontos onde a estrutura está fixa.
 External Loads	4º Campo	Indicou-se a magnitude das forças aplicadas na estrutura, bem como o seu local.
 Mesh		
 Result Options	5º Campo	Criou-se criou a malha de pontos finitos.

1º Campo

Os componentes estruturais considerados foram perfis de alumínio (6063-T6).

Considerou-se a construção da estrutura dos bastidores maioritariamente um sistema de vigas soldadas, desprezando os sistemas de fixação dos perfis (canto a 90° + parafusos), pela complexidade da geometria interna dos perfis e do contacto entre os sistemas de fixação e os perfis.

Contudo em determinados pontos da estrutura, que serão melhor especificados no 5º Campo 5, admitiu-se uma versão mais realista do sistema de fixação, considerando não uma soldadura entre os perfis de alumínio, mas sim a soldadura dos cantos a 90° com os perfis de alumínio.

2º Campo

Considerou-se um contacto do tipo soldado (*bonded*), que não traduzindo fielmente a realidade (fixação por sistemas de parafuso) diminui consideravelmente a complexidade e o tempo de simulação o que nesta situação considerai ser mais

vantajoso comparativamente com o maior grau de precisão que ganharia com uma reprodução mais fiel da realidade.

Para compensar a discrepância dos valores de tensão e deformação e valores de resistência mecânica mais elevados na estrutura, considerou-se um coeficiente de segurança de 1,3 para compensar a incerteza.

3º Campo

A estrutura foi fixa aos pés do bastidor de tratamentos.

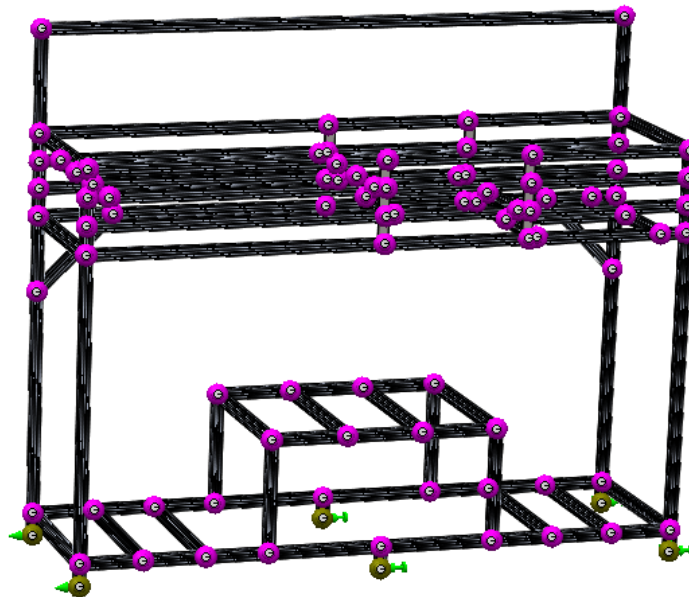


Figura 49 - Fixação do bastidor de tratamentos

4º Campo

Esta estrutura foi submetida à aplicação dos pesos dos componentes mais críticos, discriminados no 1º Campo.

A determinação do local da sua aplicação foi feita analisando a geometria dos componentes e seus elementos de suporte.

Na Figura 50 encontra-se indicada, em forma de vetores, a localização da aplicação dos pesos dos componentes, sendo em todos os casos cargas do tipo distribuído e o valor da magnitude o assinalado no 1º Campo.

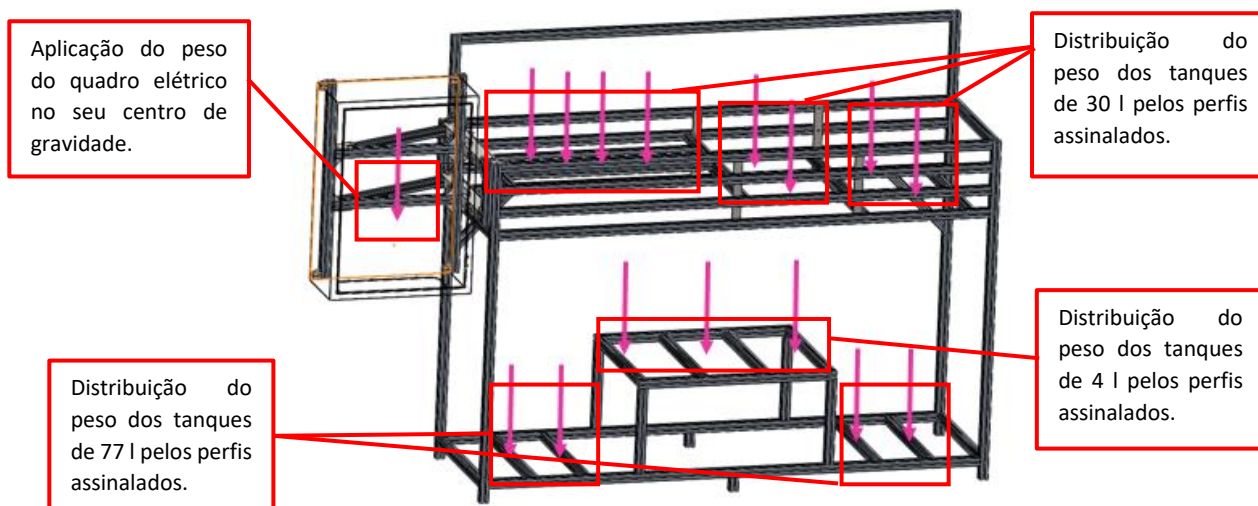


Figura 50 - Aplicação de forças (bastidor de tratamentos)

5º Campo

A malha atribuída aos elementos da estrutura variou com as simulações realizadas.

A malha tipo viga foi aplicada em componentes sujeitos a tensões maioritariamente normais (zona do bastidor onde foi considerado vigas soldadas), pela facilidade de simulação e resultados assertivos.

A malha tipo sólido foi aplicada em componentes sujeitos a tensões de corte e torção que requerem uma análise mais complexa (zona do bastidor onde foi considerado o canto 90º soldado ao perfil de alumínio) para a simulações obter resultados realísticos.

Na 1ª simulação o estudo focou-se no comportamento da estrutura de tratamentos à aplicação dos esforços gerados pelos tanques

Foi aplicada apenas malha tipo viga iniciando-se as análises com um tamanho de elemento máximo de 40 mm, com a redução gradual da malha (afinamento) de 6 mm até aos 16 mm, onde se constatou a estabilização dos valores de tensão e deformação dados pela simulação.

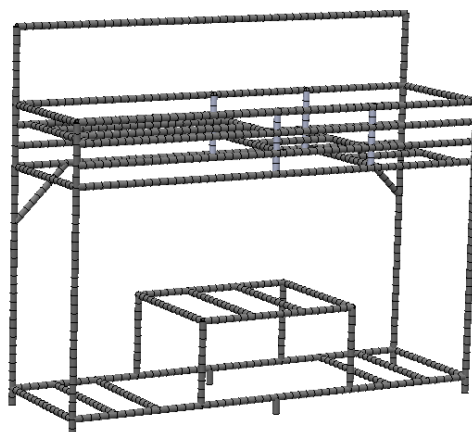


Figura 51 - Malha aplicada à estrutura do bastidor de tratamentos (1ª simulação)

Na 2ª simulação o estudo focou-se no comportamento da estrutura de tratamentos à aplicação dos esforços gerados pelos tanques e pelo quadro elétrico. Foi aplicada malha tipo viga iniciando-se as análises com um tamanho de elemento máximo de 14 mm, com a redução gradual da malha (afinamento) de 2 mm até aos 6 mm, e malha tipo sólido iniciando-se as análises com um tamanho de elemento máximo de 55 mm, com a redução gradual da malha (afinamento) de 8 mm até aos 23 mm, onde se constatou a estabilização dos valores de tensão e deformação dados pela simulação.

4.6.1.3 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Na 1ª simulação aplicaram-se os esforços obtidos na secção 4.6.1.1, à exceção do peso do quadro elétrico.

Tabela 21 - Resultados da 1ª simulação

Afinação da malha				
1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo	4º Estudo	5º Estudo
Tamanho elementos ↓ 40 mm	Tamanho elementos ↓ 34 mm	Tamanho elementos ↓ 28 mm	Tamanho elementos ↓ 22 mm	Tamanho elementos ↓ 16 mm
Nº de nós ↓ 1077	Nº de nós ↓ 2408	Nº de nós ↓ 2958	Nº de nós ↓ 3744	Nº de nós ↓ 5156
Nº de elementos ↓ 1079	Nº de elementos ↓ 1247	Nº de elementos ↓ 1522	Nº de elementos ↓ 1915	Nº de elementos ↓ 2621
Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,488 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,561 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,561 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,561 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,561 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Deslocamento máx. ↓ 5,769 mm	Deslocamento máx. ↓ 6.027 mm	Deslocamento máx. ↓ 6.025 mm	Deslocamento máx. ↓ 6.027 mm	Deslocamento máx. ↓ 6.027 mm

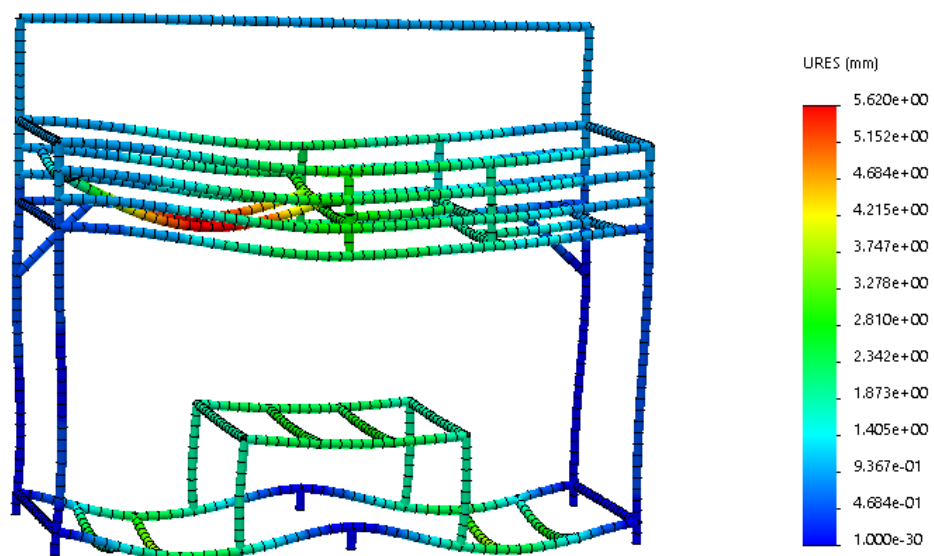


Figura 52 - Comportamento da estrutura do bastidor de tratamentos (1ª simulação)

Na 2ª simulação foram aplicados todos os esforços obtidos na secção 4.6.1.1.

Tabela 22 - Resultados da 2ª simulação

Afinação da malha				
1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo	4º Estudo	5º Estudo
Tamanho elementos ↓ 60 (Sólido)/15 (Viga)	Tamanho elementos ↓ 52 (Sólido)/13 (Viga)	Tamanho elementos ↓ 44 (Sólido)/11 (Viga)	Tamanho elementos ↓ 36 (Sólido)/9 (Viga)	Tamanho elementos ↓ 28 (Sólido)/7 (Viga)
Nº de nós ↓ 704269	Nº de nós ↓ 925770	Nº de nós ↓ 1063934	Nº de nós ↓ 1200336	Nº de nós ↓ 1419157
Nº de elementos ↓ 406217	Nº de elementos ↓ 525396	Nº de elementos ↓ 597441	Nº de elementos ↓ 658047	Nº de elementos ↓ 795922
Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,600 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Sólido $1,533 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,564 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Sólido $1,354 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,567 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Sólido $1,284 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,560 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Sólido $1,414 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Viga $1,723 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Sólido $1,929 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Deslocamento máx. ↓ 5,878 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,756 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,753 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,746 mm	Deslocamento máx. ↓ 7,054 mm

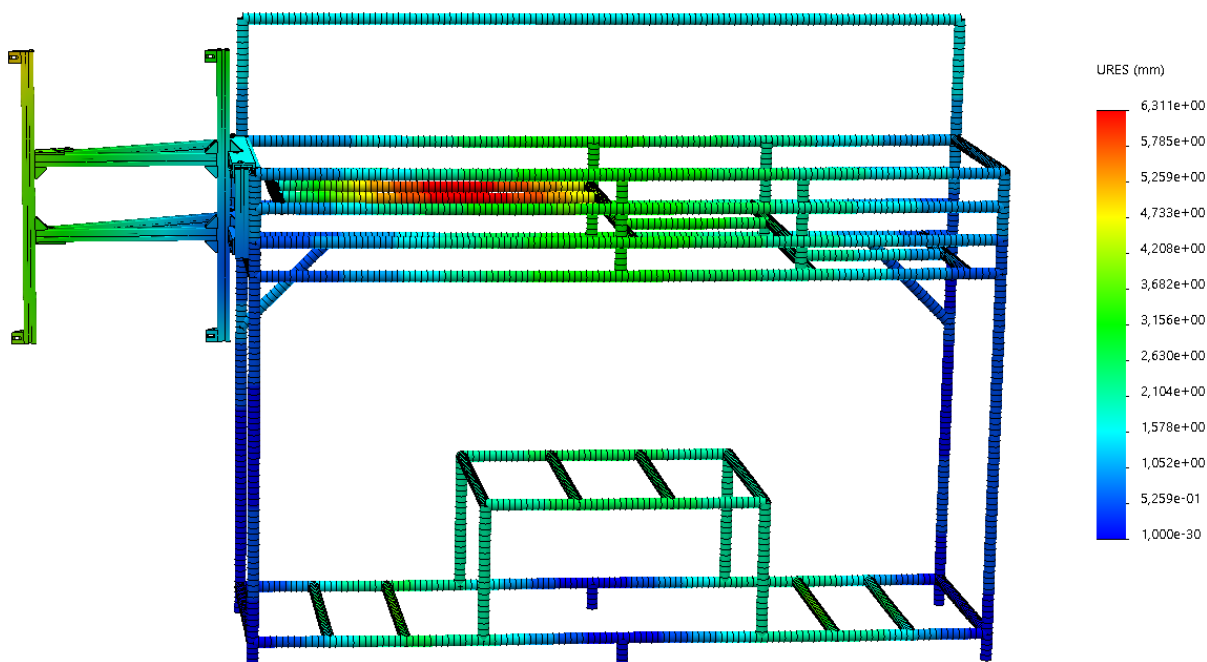


Figura 53 - Comportamento da estrutura do bastidor de tratamentos (2ª simulação)

Analisando as simulações conclui-se que a estrutura do bastidor de tratamento sem o quadro acoplado (1ª simulação) demonstra, observando a Tabela 21, com a afinação da malha uma tendência clara, tanto ao nível da tensão como do deslocamento, na estabilização dos valores.

Sendo o valor máximo da tensão na última afinação de $1,561 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ não ultrapassa o valor de tensão de cedência do material, $2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ e o valor máximo da deformação 6,027 mm, o que não sendo desejável na zona onde se encontra (perfis suporte tanques TD e TR1), por essa flecha interferir com a ligação por tubagem dos tanques, não é crítica, dado que a concavidade não é grande o suficiente para interferir no deslocamento do fluido

A Tabela 22, referente à estrutura com o acoplamento do quadro (2ª simulação), demonstra com a afinação da malha uma tendência até ao quarto estudo de estabilização dos valores, sendo que no quinto e último estudo, surgiu uma desestabilização tanto ao nível da tensão como da deformação (que não consegui acertar).

Os picos das grandezas ocorreram em zonas diferentes, sendo o da tensão no encaixe do suporte do quadro ao bastidor e o da deformação nos perfis de suporte dos tanques TD e TR1. O valor de 7,054 mm da deformação não é preocupante pela razão já explicada na análise da 1ª simulação, o valor da tensão é mais crítico ($1,9292 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), muito próximo da tensão de cedência do material ($2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), contudo dada a necessidade de alterações estruturais relativamente profundas nessa zona e se ter usado um fator de segurança de 1,3, que dá alguma margem erro, optou-se por não alterar a estrutura.

4.6.2 DIMENSIONAMENTO DO BASTIDOR DO SEDIMENTADOR

4.6.2.1 OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS

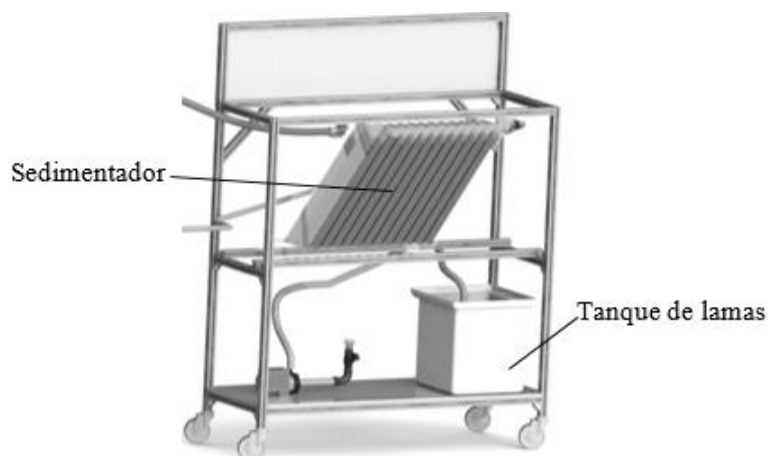


Figura 54 - Pontos críticos

Na Tabela 23 encontra-se a massa de todos os componentes assinalados.

Tabela 23 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados

Componente	Método de cálculo	Massa
Sedimentador	Utilização de balança	23 kg (sedimentador) + 81kg (efluente) = 104 kg (± 1020 N)
Tanque de lamas	Utilização da expressão $\rightarrow \mu = \frac{m}{V}$ Nota: considerou-se a massa específica do efluente igual à da água a 20 °C (998,23 kg/m ³).	2,4 kg (tanque) + 30 kg (efluente) = 32,4 kg (± 318 N)

4.6.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

1º Campo

Esta etapa consiste em preencher os requisitos do simulador de forma a chegar a resultados realistas. Os elementos de fixação foram desprezados por se ter considerado a construção da estrutura do bastidor um sistema de vigas soldadas (explicado no 2º campo. Os componentes estruturais considerados foram perfis de alumínio (6063-T6).

2º Campo

O contacto entre os vários pontos de fixação da estrutura foi considerado do tipo soldado, o que apesar de não traduzir a realidade (fixação por sistemas de parafuso), diminui consideravelmente a carga de complexidade da simulação. Para compensar a discrepância dos valores de tensão e deformação e valores mais elevados de resistência mecânica na estrutura, atribuiu-se às forças aplicadas uma percentagem adicional de 30%.

3º Campo

A estrutura fixou-se nos pés do bastidor do sedimentador.

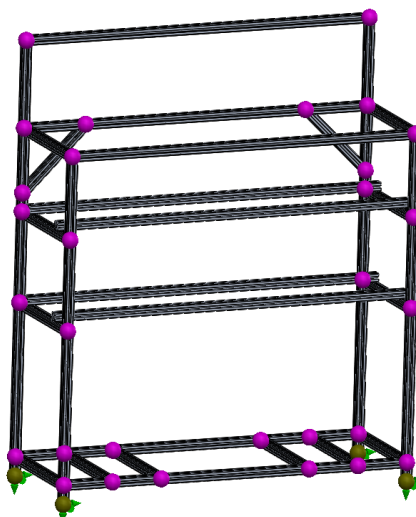


Figura 55 - Fixação do bastidor do sedimentador

4º Campo

Esta estrutura foi submetida à aplicação dos pesos dos componentes mais críticos, discriminados no 1º Campo. A determinação do local da sua aplicação foi feita analisando a geometria dos componentes e seus elementos de suporte.

Na Figura 56 encontra-se indicada em forma de vetores a localização da aplicação dos pesos de ambos os componentes, sendo em ambos os casos carga distribuída e o valor da magnitude a assinalada no 1º Campo.

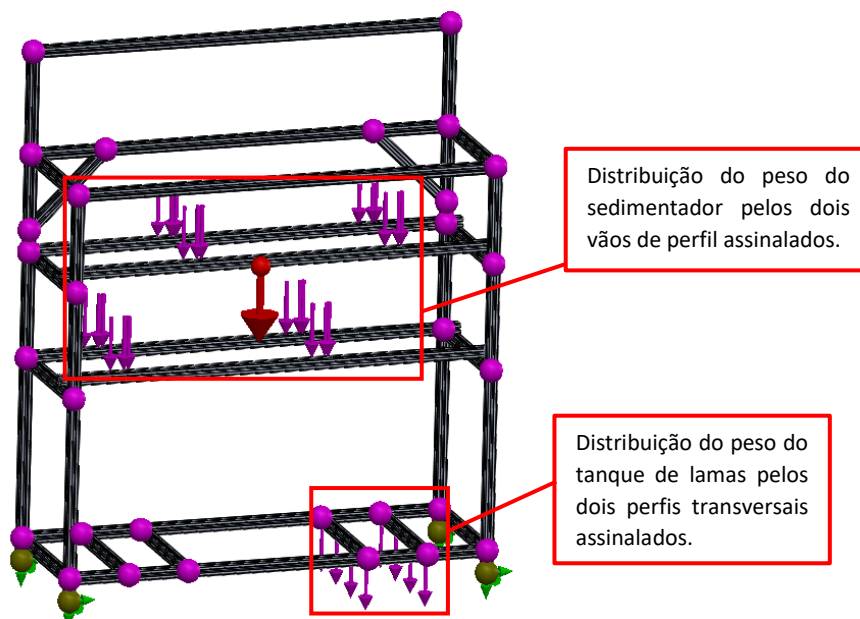


Figura 56 - Aplicação de forças (bastidor do sedimentador)

5º Campo

Foi aplicada malha tipo viga nos quatro perfis de suporte do sedimentador e nos dois perfis de suporte do tanque de lamelas. Esta decisão deveu-se ao facto de os esforços aplicados gerarem maioritariamente tensões normais que mais facilmente são analisadas e processadas realizando a simulação através deste tipo de malha.

Na simulação iniciaram-se as análises com a aplicação de um tamanho de elemento máximo de 14 mm, com afinamento gradual de 2 em 2 mm até aos 6 mm, onde se constatou a estabilização dos valores de tensão e deformação dados pela simulação.

No resto do bastidor foi aplicada malha tipo sólido, pois os esforços aplicados nestes componentes geram tensões de corte e torção que requerem uma análise mais complexa para se poder obter simulações concretas com resultados que traduzam o melhor possível a realidade. Na simulação iniciaram-se as análises com a aplicação de um tamanho de elemento máximo de 55 mm, com afinamento gradual de 8 em 8 mm até aos 23 mm, onde se constatou a estabilização dos valores de tensão e deformação dados pela simulação.

4.6.2.3 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Tabela 24 - Resultados da 1ª simulação

Afinação da malha				
1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo	4º Estudo	5º Estudo
Tamanho elementos ↓ 14 mm / 55 mm	Tamanho elementos ↓ 12 mm / 47 mm	Tamanho elementos ↓ 10 mm / 39 mm	Tamanho elementos ↓ 8 mm / 31 mm	Tamanho elementos ↓ 6 mm / 23 mm
Nº de nós ↓ 829847	Nº de nós ↓ 841388	Nº de nós ↓ 859968	Nº de nós ↓ 1380941	Nº de nós ↓ 1502767
Nº de elementos ↓ 480613	Nº de elementos ↓ 487286	Nº de elementos ↓ 500544	Nº de elementos ↓ 759805	Nº de elementos ↓ 828280
Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $9,052 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,401 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $8,525 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,407 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,226 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,399 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,343 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,404 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $2,157 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,402 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Deslocamento máx. ↓ 5,140 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,026 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,105 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,258 mm	Deslocamento máx. ↓ 5,164 mm

Na Figura 58 está representado um modelo exemplificativo gerado pelo simulador, que traduz o comportamento do bastidor do sedimentador, ao nível da tensão normal, perante os esforços aplicados nos componentes estruturais considerados tipo viga (*beam*).

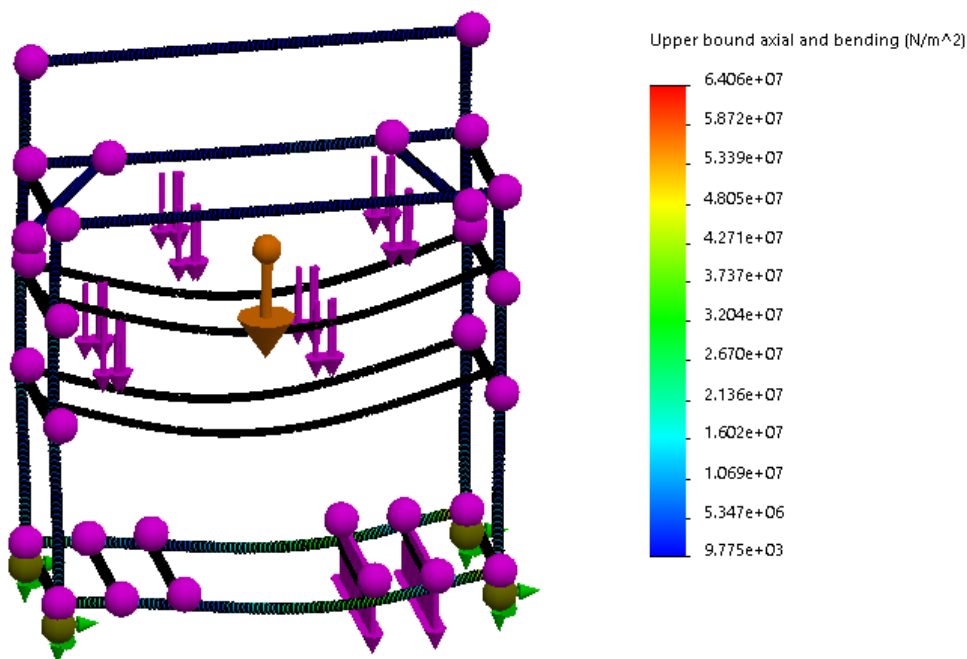


Figura 57 - Comportamento da estrutura do bastidor do sedimentador

Analisando a simulação conclui-se que a estrutura do bastidor sedimentador demonstra (Tabela 24), com a afinação da malha até ao 4º estudo, uma relativa estabilização dos valores, tanto ao nível da tensão de cedência como do deslocamento. Contudo no 5º e ultimo estudo, o valor da tensão nos corpos tipo sólido aumentou, de forma súbita, para os $2,157 \times 10^8$ N/m² ultrapassando a tensão de cedência do material.

O pico da tensão foi detetado num dos perfis horizontais de suporte do sedimentador, como se pode ver na Figura 58, e o seu local em concreto não foi imprevisível dado ser uma das poucas zonas do perfil que é submetido a tensões de flexão e corte.

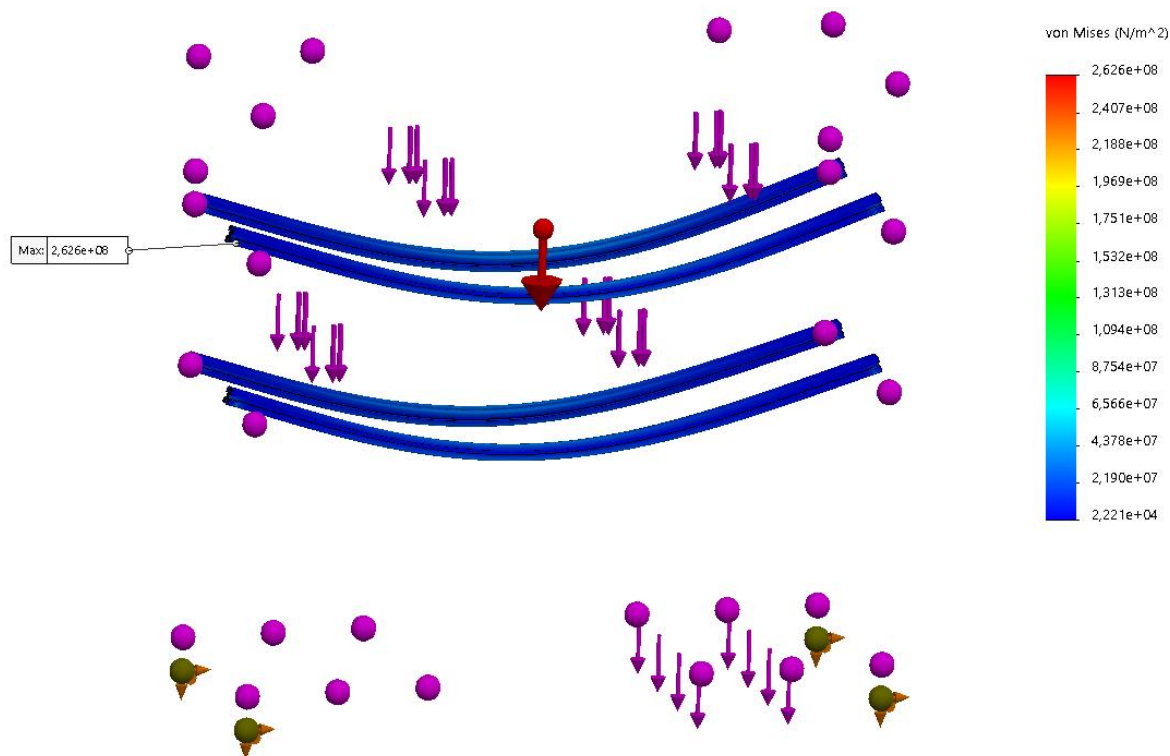


Figura 58 - Pico de tensão máximo

Com estes resultados foi necessário proceder a um novo estudo e reformulação da estrutura de suporte do sedimentador, sendo que a prioridade foi encontrar uma solução o mais simples possível de forma a não conflitar com a caracter prático que se sempre se pretendeu no *design* da estrutura.

Para proceder à reformulação da estrutura foi necessário identificar primeiro, as soluções que à partida não coexistiam com o *design* “limpo” que se pretendia obter. Sendo assim, foram postas de parte soluções que necessitassem do uso do espaço da bandeja inferior do bastidor, valorizando uma solução mais condensada na zona da estrutura de suporte primordial. Com esse objetivo procurou-se reforçar os quatro perfis ilustrados na Figura 58, de forma que a flexão resultante do peso do sedimentador diminuísse substancialmente, dado que desta forma se alivia a tensão de flexão na zona de fixação, na qual se verificou o pico da tensão. Contudo, ocorrerá com esta solução um aumento das tensões de corte no mesmo local, mas como é sabido nestas circunstâncias o perfil tem uma capacidade de resistência muito maior ao corte do que à flexão, não sendo nesta fase algo de preocupante.

Com a análise executada, a solução prática resultante foi ligar os vãos de perfil assinalados na Figura 59 através de dois perfis do mesmo material com secção 60x30.

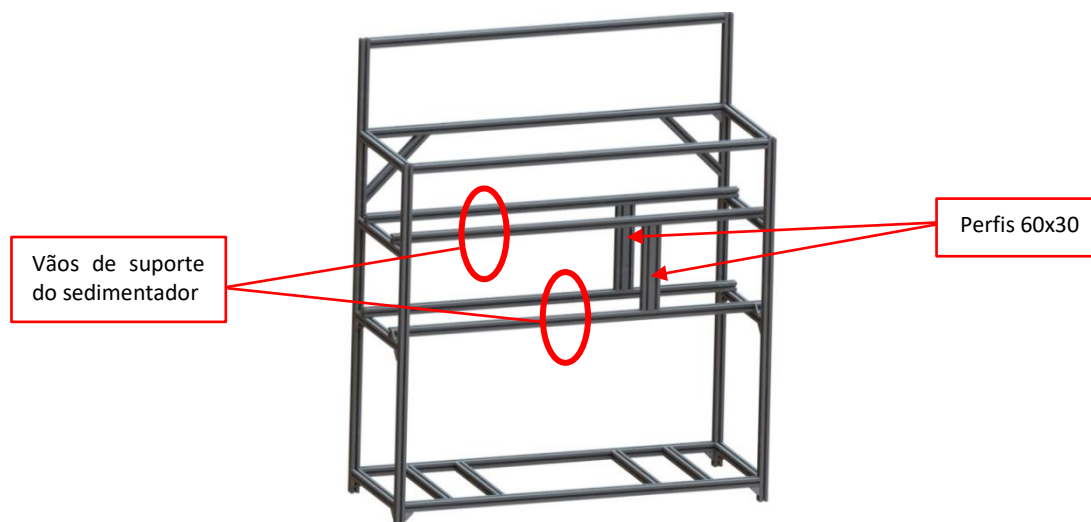


Figura 59 - Bastidor sedimentador com reforço

Ao estarem ligados, os dois vãos obrigam a que a tensão por flexão seja mais bem distribuída, diminuindo a hipótese do surgimento de picos de tensão de gama similar à detetada na 1ª simulação.

A 2ª simulação foi feita considerando a estrutura com o reforço no apoio do sedimentador.

Tabela 25 - Resultados da 2ª simulação

Afinação da malha				
1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo	4º Estudo	5º Estudo
Tamanho elementos ↓ 14 mm / 55 mm	Tamanho elementos ↓ 12 mm / 47 mm	Tamanho elementos ↓ 10 mm / 39 mm	Tamanho elementos ↓ 8 mm / 31 mm	Tamanho elementos ↓ 6 mm / 23 mm
Nº de nós ↓ 911646	Nº de nós ↓ 969860	Nº de nós ↓ 996658	Nº de nós ↓ 1205145	Nº de nós ↓ 1508696
Nº de elementos ↓ 521143	Nº de elementos ↓ 558501	Nº de elementos ↓ 575719	Nº de elementos ↓ 595354	Nº de elementos ↓ 630142
Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,938 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,275 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,633 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,278 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,656 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,280 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,642 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,300 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $1,635 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Malha tipo Viga $6,292 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Deslocamento máx. ↓ 4,606 mm	Deslocamento máx. ↓ 4,584 mm	Deslocamento máx. ↓ 4,630 mm	Deslocamento máx. ↓ 4,620 mm	Deslocamento máx. ↓ 4,641 mm

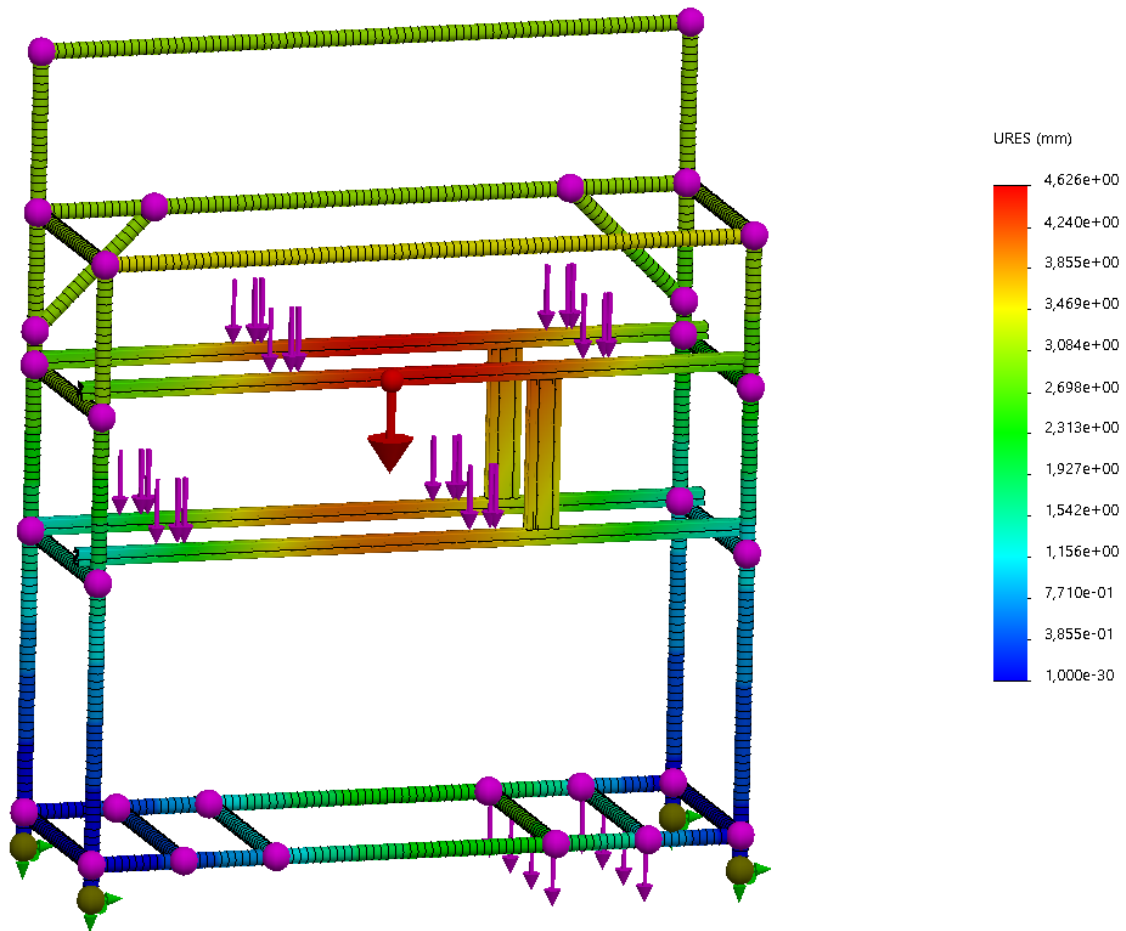


Figura 60 - Comportamento da estrutura do bastidor com reforço

Analisando a 2ª simulação conclui-se que a reestruturação da estrutura foi um sucesso. Na Tabela 25 observa-se, com a afinação da malha uma tendência clara, tanto ao nível da tensão como da deformação, de estabilização dos valores ao longo de todos estudos inerentes à simulação. O pico máximo da tensão registado desta vez foi de $1,938 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, o que apesar de se encontrar muito próximo da tensão de cedência do material ($2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), como surgiu logo no 1º estudo da simulação, onde existe uma maior margem de erro relativamente à precisão dos resultados, não se torna um fator de alarme, ainda mais porque nos seguintes estudos a tensão normalizou num valor sempre a rondar $\pm 1,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, valor no qual, perante o nível de solicitações por parte do/s operador/es na normal utilização do bastidor, é satisfatório, não necessitando (na minha perspetiva) de nova reformulação estrutural.

O deslocamento diminuiu, como era expectável, sendo o seu pico máximo 4,630 mm registado no 3º estudo.

4.6.3 DIMENSIONAMENTO DO SUPORTE QUADRO ELÉCTRICO

4.6.3.1 OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS



Figura 61 – Suporte Quadro Elétrico

Na Tabela 26 encontra-se desciminada a massa de todos os componentes assinalados.

Tabela 26 - Indicação da massa de todos os componentes assinalados

Componente	Método de cálculo	Massa
Suporte do quadro elétrico + Quadro elétrico	Utilização de balança	50 kg (± 490 N)

4.6.3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

1º Campo

Este estudo foi realizado com base numa representação o mais próxima possível da realidade, sendo recriado os pontos exatos de fixação. Neste caso houve uma preocupação redobrada em fazer um estudo o mais realista possível dada a relação desfavorável entre o *design* estrutural e a carga a que deve estar sujeito.

Todos os elementos da estrutura foram configurados como sólidos, pois é necessário este formato para executar a malha da estrutura e posterior simulação o mais próximo da realidade possível. Os componentes estruturais considerados foram perfis de alumínio (6063-T6) e sistemas de fixação.

2º Campo

O contacto entre os vários pontos de fixação do suporte foi considerado do tipo soldado (*bonded*), que não traduzindo fielmente a realidade (fixação por sistemas de parafuso) diminui consideravelmente a complexidade e o tempo de simulação. Nesta situação considera-se ser mais vantajoso comparativamente com o maior grau de precisão que se ganharia com uma reprodução mais fiel da realidade.

Para compensar a discrepância dos valores de tensão e deformação, valores de resistência mecânica na estrutura mais elevados, atribuiu-se às forças aplicadas uma percentagem de 30% adicional.

3º Campo

O suporte fixou-se no sistema de engate rápido descrito na secção 4.2.

4º Campo

Esta estrutura foi submetida à aplicação do peso do quadro elétrico. Ao contrário de outros componentes já analisados, o local da sua aplicação foi o seu centro de gravidade, pois era necessário saber ao certo a reação do suporte à instabilidade gerada pela posição descentrada do quadro elétrico.

Na Figura 62 encontra-se indicada em forma de um vetor a localização da aplicação do peso do quadro elétrico, sendo o valor da magnitude o assinalado no 1º Campo.

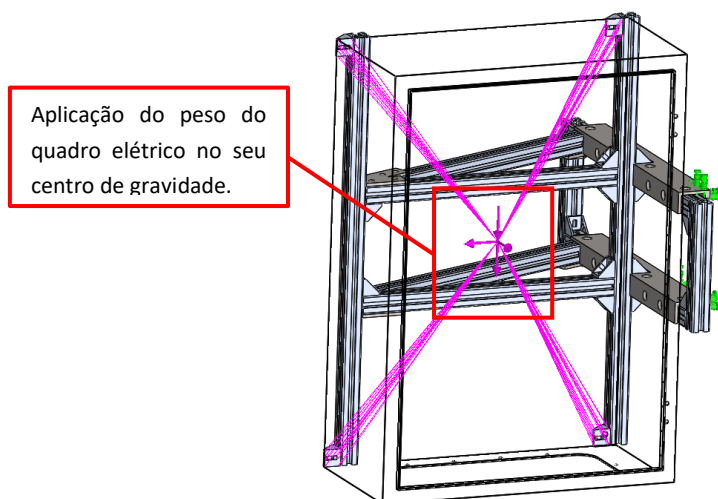


Figura 62 - Aplicação de forças (suporte do quadro elétrico)

5º Campo

Foi aplicada uma malha do tipo sólido em toda a estrutura do suporte. Pela simples interpretação da forma geométrica da estrutura e o posicionamento do quadro elétrico (carga), foi previsto serem geradas tensões normais e momentos que a malha tipo viga não teria capacidade de interpretar nem de gerar uma simulação fidedigna.

O tipo de malha escolhido foi o *curvature based mesh*, pois em determinados pontos da estrutura existem pontos críticos, principalmente nas zonas de junção entre os vários elementos, onde é necessária a capacidade de adaptação deste tipo de malha a formas complexas. Os elementos iniciaram-se com um tamanho máximo de 55 mm, com a redução gradual da malha (afinamento) de 10 mm até aos 15 mm, onde se constatou a estabilização dos valores de tensão e deformação dados pela simulação.

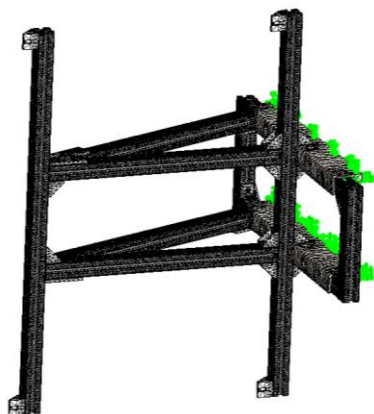


Figura 63 - Malha aplicada ao suporte do quadro elétrico

4.6.3.3 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A 1ª simulação foi efetuada relativamente à capacidade de suporte do peso do quadro elétrico num cenário de completa imobilidade do bastidor de tratamentos (situação comum). A maior preocupação foi analisar as suas deformações e tensões geradas.

Tabela 27 - Resultados da 1ª simulação

Afinação da malha				
1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo	4º Estudo	5º Estudo
Tamanho elementos ↓ 55 mm	Tamanho elementos ↓ 45 mm	Tamanho elementos ↓ 35 mm	Tamanho elementos ↓ 25 mm	Tamanho elementos ↓ 15 mm
Nº de nós ↓ 625881	Nº de nós ↓ 801417	Nº de nós ↓ 1001632	Nº de nós ↓ 1407556	Nº de nós ↓ 2327523
Nº de elementos ↓ 355404	Nº de elementos ↓ 447441	Nº de elementos ↓ 552159	Nº de elementos ↓ 778887	Nº de elementos ↓ 1264567
Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $3,958 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $4,978 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $3,546 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $4,232 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	Tensão máx. ↓ Malha tipo Sólido $3,942 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Deslocamento máx. ↓ 0,4401 mm	Deslocamento máx. ↓ 0,4494 mm	Deslocamento máx. ↓ 0,4649 mm	Deslocamento máx. ↓ 0,4771 mm	Deslocamento máx. ↓ 0,4964 mm

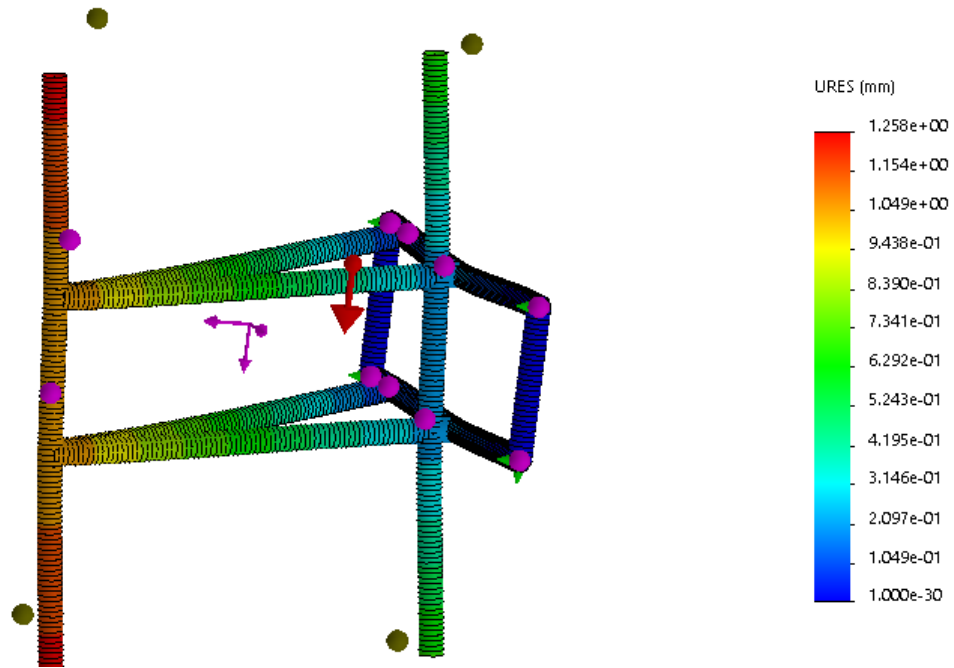


Figura 64 - Comportamento da estrutura de suporte do quadro elétrico

Analisando a simulação, observando a Tabela 27, conclui-se que a estrutura de suporte do quadro elétrico encontra-se perfeitamente capaz de cumprir o seu objetivo, demonstrando com a afinação da malha uma constante estabilidade ao longo de todos os estudos, sendo os valores da tensão muito inferiores à tensão de cedência do material ($2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$) e o deslocamento ser praticamente inexistente, tendo em conta naturalmente a função em particular desta estrutura.

5 CONCLUSÃO

O projeto foi concluído com sucesso e mecanicamente, o sistema, obedece a todos os requisitos idealizados para poder ser considerado vantajoso relativamente a outras soluções, já existentes, de tratamentos de efluentes da indústria corticeira, O protótipo pode ser enviado às empresas colaboradoras para ser testado com exemplos práticos mais realistas. Simultaneamente pode servir de plataforma didática no Departamento de Engenharia Química e Biológica do ISEC.

O *layout* do sistema foi concebido para que todos os processos de tratamento inerentes ao seu funcionamento fossem de fácil visualização para que, principalmente, no caso de se encontrar a servir como plataforma didática, os alunos possam facilmente perceber o seu funcionamento e interpretar todo o procedimento e resultados. Houve também, ainda dentro da linha de pensamento anterior, grande preocupação em estarem todos os *displays* e comandos eletrónicos visíveis e com fácil acesso para que o registo e afinação da máquina seja o mais direto possível.



Figura 65 - *Layout* do sistema

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim. (15 de Agosto de 2019). Benefícios Ambientais e Sociais. Obtido de Amorim: <https://www.amorim.com/a-cortica/beneficios-ambientais-e-sociais/>
- Amorim. (15 de Agosto de 2019). Breve sinopse histórica. Obtido de Amorim: <https://www.amorim.com/a-cortica/breve-sinopse-historica/>
- APCOR. (2018). *cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/rolhas-naturais/APCOR*. Obtido de www.apcor.pt: <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/rolhas-naturais/>
- Artipel. (2019). *empresa/Empresa: Artipel*. Obtido de Artipel: <http://artipel.pt/empresa/>
- Associação Portuguesa de Cortiça. (2015). # CORK.
- Avantor. (2021). */store/product/8071999/bottles-wide-neck-rectangular-or-square-with-screw-cap/*. Obtido de www.se.vwr.com: <https://se.vwr.com/store/product/8071999/bottles-wide-neck-rectangular-or-square-with-screw-cap>
- Caixas e Tanque. (2020). *tanque-de-poliester-reforcado-com-fibra-de-vidro/Caixas e Tanque*. Obtido de www.caixasestanque.com.br: <https://www.caixasestanque.com.br/tanque-de-poliester-reforcado-com-fibra-de-vidro>
- Castro, L., Beirão, P., Amaral, A., Roseiro, L., Quitério, R., Almeida, C., & Pinheiro, M. N. (2019). *Pedido Provisório de Patente nº 115697: Sistema Automático de Seleção e Tratamento de Efluentes da Lavação da Indústria Corticeira*.
- Central Industrial Solutions. (2016). *product/m6x12-countersunk-screw/Central Industrial Solutions*. Obtido de www.centralindustrial.ca: <https://centralindustrial.ca/product/m6x12-countersunk-screw/>
- Couceiro, R. A. (2015). *Gestão/Tratamento de águas residuais numa indústria de*. Lisboa: Rúben André Almeida Couceiro.
- European Cork Federation. (2011). Código Internacional das Práticas Rolheiras Versão 6.03.
- Fluidotronica. (2017). *pt/produtos/minitec/*. Obtido de www.fluidotronica.com: <https://www.fluidotronica.com/pt/produtos/minitec/>
- Font, D. C. (s.d.).
- Gil, L. (1998). *Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação*. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial.
- Guimarães, N. (2017). *Impacto da Coagulação Química na Remoção de Compostos Orgânicos em Efluente Tratado por Processo de Lodos Ativado*. São Paulo.
- KnF. (s.d.). */en/de/solutions/laboratory-equipment/details/liquiport-nf-1100-s/KnF*. Obtido de www.knf.com: <https://knf.com/en/de/solutions/laboratory-equipment/details/liquiport-nf-1100-s>
- KnF. (s.d.). *Lab LIQUIPORT DIAPHRAGM LABORATORY PUMP OPERATING INSTRUCTIONS/KnF*. Obtido de www.labfriendcoredataprod.blob.core.windows.net:

<https://labfriendcoredataprod.blob.core.windows.net/labfriendcore-data-prod/files/KNF%20NF%20Series%20Diaphragm%20Pump%20Instruction%20Manual.pdf>

Lab Genome. (2021). *14100-0002-thermo-scientific-nalgene-heavy-duty-rectangular-tanks-rectangular-tank-with-cover-ldpe-2-gal-8-x-8-x-8-each-of-1/labgenome*. Obtido de www.labgenome.com/: <https://labgenome.com/14100-0002-thermo-scientific-nalgene-heavy-duty-rectangular-tanks-rectangular-tank-with-cover-ldpe-2-gal-8-x-8-x-8-each-of-1/>

MiniTec. (2017). */Products/30%20SERIES%20PROFILES/30%20SERIES%20CATALOG%20PAGES/21.0016_Power-Lock_Fastener_30_SF.html/minitecframing*. Obtido de <http://www.minitecframing.com/>: http://www.minitecframing.com/Products/30%20SERIES%20PROFILES/30%20SERIES%20CATALOG%20PAGES/21.0016_Power-Lock_Fastener_30_SF.html

MiniTec. (2021). *products/configurable_products/1600-angle-30-gd-z-conductive-21-0905-6/MiniTec*. Obtido de [minitecautomation](http://www.minitecautomation.com/): https://www.minitecautomation.com/products/configurable_products/1600-angle-30-gd-z-conductive-21-0905-6

Sakai, S. (7 de Julho de 2016). *Decantação Lamelar: Design compacto, com eficácia de gigantes*. Obtido de Tratamento de água: <https://www.tratamentodeagua.com.br/decantacao-lamelar-design-compacto-com-eficacia-de-gigantes/>

Solidworks. (24 de Outubro de 2016). *Solidworks. (24 de Outubro de 2016). 3D CAD Design Software SOLIDWORKS*. Obtido de Solidworks: <http://www.solidworks.com>

Stairs. (s.d). *product-533927/AHW-series/STAIRS*. Obtido de <http://www.stairs.com.tw/>: <http://www.stairs.com.tw/en/product-533927/AHW-series.html>

Stairs. (s.d.). */files/19.Circulator_Pump-Grade_A/STAIRS*. Obtido de <http://www.stairs.com.tw/>: http://www.stairs.com.tw/files/19.Circulator_Pump-Grade_A.pdf

Tecitec. (s.d.). *Decantador-Lamelar-Tecitec-Catalogo.pdf/tecitec*. Obtido de <http://www.tecitec.com.br/>: <http://www.tecitec.com.br/upload/uploads/catalogos/Decantador-Lamelar-Tecitec-Catalogo.pdf>

The Madden House. (s.d.). *product/creality-3d-ender-3-v-slot-prusa-i3-diy-3d-printer-kit/The Madden House*. Obtido de www.themaddenhouse.com: <https://themaddenhouse.com/product/creality-3d-ender-3-v-slot-prusa-i3-diy-3d-printer-kit>