

Estudo e Conceção de Estrutura de Testes para Pico-Hídrica

Bruno Ricardo Moreira da Rocha

(Licenciado)

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Industrial – Ramo Mecânica

Trabalho realizado sob a orientação de:
Prof. Doutor Luís Queijo

Outubro de 2017

Estudo e Conceção de Estrutura de Testes para Pico-Hídrica

Relatório da UC de Tese
Mestrado em Engenharia Industrial
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

Bruno Rocha
Outubro de 2017

Dedicatória...

À minha família mais chegada, em especial à minha avó e afilhada.

*"Nós não herdamos a Terra dos nossos antepassados, pedimos
emprestado aos nossos filhos"*

Provérbio Índio

Agradecimentos

Quero agradecer a todas as pessoas que estiveram envolvidas e me acompanharam ao longo da realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luís Queijo, pelo acompanhamento e paciência, pela disponibilidade ao longo destes anos letivos e por me orientar na realização desta dissertação.

Ao Engenheiro Jorge Paulo e ao Eng. Abílio Marcelo pela ajuda, disponibilidade e boa disposição ao longo destes tempos, assim como a dedicação prestada.

Os meus pais pela oportunidade que me deram e apoio incondicional.

Aos meus amigos, pela amizade e ajuda.

Resumo

O presente documento tem como objetivo principal descrever e caracterizar as etapas que permitiram conceber uma estrutura capaz de permitir realizar estudos de viabilidade de produção energética.

Considerou-se útil fazer uma abordagem transversal aos vários aspetos que integram um projeto de desenvolvimento e construção de uma estrutura, tendo esta como finalidade, a realização de testes para aproveitamentos hídricos de pequena dimensão, e ainda descrever os processos e técnicas de fabrico utilizadas.

A recente preocupação ambiental, a nível mundial, nomeadamente com as emissões de gases poluentes prejudiciais para o ambiente, e as crescentes subidas dos preços dos combustíveis e fontes de energia encaminhou-nos no sentido de explorar, desenvolver e investir em novas fontes de energia, as chamadas fontes de energias renováveis, de forma a minimizar o impacto ambiental. Com o acordo de Paris, estabeleceu-se a necessidade de promover e implementar fontes de energia renováveis para a produção de energia de forma a assegurar um desenvolvimento sustentável a toda a população. A energia hidroelétrica oferece, já, uma boa resposta a esta procura.

Considerou-se a temática da produção de energia elétrica em sistemas isolados porque esta se mostra de grande interesse para a comunidade e tem um enorme potencial a nível futuro, sendo por isso, adequado permitir realizar estudos do comportamento energético perante diferentes quedas de água.

Sendo tecnicamente viável a intervenção ao nível de implementação de grupos hidrogeradores no contexto urbano, esta solução encontra-se dependente do estudo do rendimento associado devido ao caudal e altura de queda de água. Para este efeito procedeu-se à criação de uma estrutura metálica que permita executar e validar diferentes testes de caudal e alturas de queda de água.

Palavras-chave: Hidroelétrica, processos de fabrico, energias renováveis.

Abstract

The main objective of this document is to describe and characterize the steps that allowed the design of a structure capable of carrying out feasibility studies of energy production.

It was considered useful to take a transversal approach to the various aspects that are part of a project for the development and construction of a structure, the purpose of which is to carry out tests for small hydroelectric power plants and to describe the manufacturing processes and techniques used.

The recent global environmental concern, notably with the emission of environmentally harmful gaseous pollutants and the rising price of fuels and energy sources, has led us to explore, develop and invest in new sources of energy, the so-called renewable energy sources, to minimize the environmental impact. The agreement of Paris established the need to promote and implement renewable energy sources for energy production in order to ensure sustainable development for the whole population. Hydropower already offers a good response to this demand.

It was considered the issue of the production of electric energy in isolated systems because it is of great interest to the community and has enormous potential in the future, and it is therefore appropriate to allow studies on the energy behavior of different waterfalls.

Since it is technically feasible to intervene at the level of implementation of hydrogenerator groups in the urban context, this solution is dependent of the study of the associated yield due to the flow rate and height of water fall. For this purpose, a metallic structure was created to allow the execution and validation of different flow tests and water drop heights.

Keywords: Hydroelectric, manufacturing processes, renewable energy.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura	2
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Introdução	5
2.2	Energia	6
2.3	Energias renováveis	7
2.3.1	Energias renováveis em Portugal	8
2.3.1	Energia eólica	11
2.3.2	Energia solar	13
2.3.3	Energia Oceânica	14
2.3.4	Energia Geotérmica	15
2.3.1	Energia da Biomassa	18
2.3.2	Energia Hídrica	20
2.3.2.1	Conversão	20
2.3.2.2	Tecnologias	22
➤	Componentes de uma central hidroelétrica	23
•	Barragem	23
•	Turbina	24
•	Gerador elétrico	27
3	Equipamentos e técnicas utilizadas	29
3.1	Metrologia (Medições)	29

3.1.1	Paquímetro	30
3.1.2	Traçador de alturas digital.....	31
3.2	Corte.....	31
3.2.1	Serra	32
3.2.2	Guilhotina.....	33
3.3	Furação.....	34
3.3.1	Furadora radial	35
3.4	Fresagem.....	36
3.5	Soldadura	36
3.5.1	Soldadura MIG/MAG	37
3.6	Acabamentos: Tratamento da superfície e pintura.....	39
3.6.1	Pintura	40
3.7	Resumo	41
4	Projeto.....	43
4.1	Enquadramento	43
4.2	Desenvolvimento	44
4.2.1	Espaço envolvente.....	44
4.2.2	Estrutura	46
4.2.3	Testes e validação.....	47
4.2.3.1	Teste.....	48
4.3	Resumo	49
5	Construção da Estrutura	51
5.1	Introdução	51
5.2	Fabrico	51
5.2.1	Peças.....	52
5.2.2	Junção de peças	56
5.2.3	Acabamentos	61
5.3	Implementação e montagem	63

5.3.1	Ligações	63
5.3.2	Equipamentos necessários.....	66
5.3.3	Conclusões	67
6	Conclusões e Considerações.....	71
6.1	Perspetivas de desenvolvimentos futuros	73

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tecnologias das fontes de energias renováveis e respectivos usos [3].	7
Tabela 2. Classificação internacional por potência instalada [17].	21
Tabela 3. Classificação internacional por altura de queda de água [17].	21
Tabela 4. Lista de material comprado para o desenvolvimento do projeto.....	52

Lista de Figuras

Figura 1. Peso das diferentes fontes de produções de eletricidade em Portugal Continental em 2014 [6].	8
Figura 2. Produção de eletricidade por fonte em Portugal Continental em 2014 [6].....	9
Figura 3. Valor consumido através de renováveis em Portugal e na Europa. [8]	10
Figura 4. Repartição por tecnologia da energia comercializada pela EDP Serviço Universal em 2016 [9].	11
Figura 5. Águas Termais [15].	16
Figura 6. Central Geotérmica [15].	17
Figura 7. Bomba de calor [15].	17
Figura 8. Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho [15].....	18
Figura 9. Exemplos de aproveitamentos de Biomassa [16].	19
Figura 10. Ilustração dos diferentes tipos de altura de queda de água [17].	22
Figura 11. Componentes de uma central hidroelétrica [18].	23
Figura 12. Barragem de gravidade [18].	23
Figura 13. Barragem de arco ou abobadada [18].	24
Figura 14. Turbina de Pelton [18].	25
Figura 15. Turbina de Turgo [18].....	25
Figura 16. Turbina de Crossflow (Banki) [18].....	25
Figura 17. Turbina de hélice (Kaplan) [18].....	26
Figura 18. Turbina de Francis [18].....	27
Figura 19. Gerador elétrico esquematizado [19].....	27
Figura 20. Imagem da constituição de um paquímetro [24].	30
Figura 21. Traçador de alturas digital [25].....	31
Figura 22. Serra longitudinal para corte de perfis metálicos.....	33
Figura 23. Máquina de corte de chapas por guilhotina.	34
Figura 24. Furadora radial.	35
Figura 25. Fresadora universal.	36
Figura 26. Componentes e princípios de funcionamento da soldadura MIG/MAG [29].....	38

Figura 27. Aparelho de solda MIG/MAG.	39
Figura 28. Compressor para aplicação de tinta por spray.	41
Figura 29. Desenho técnico das medidas do tanque após a intervenção.	45
Figura 30. Modelo esquematizado em <i>SOLIDWORKS</i> da sala.	46
Figura 31. Imagem modelo do projeto a ser criado.	47
Figura 32. Imagem representativa do <i>solidworks</i> da peça superior a ser testada.	48
Figura 33. Imagem da análise do deslocamento ocorrido por aplicação de uma força, utilizando o <i>solidworks</i>	49
Figura 34. Tubos de aço cortados.	53
Figura 35. Máquina de quinar chapas.	54
Figura 36. Peça em forma de L após várias operações.	55
Figura 37. Peça em forma de L fresada.	55
Figura 38. Base das pernas de suporte da estrutura.	56
Figura 39. Peça que permite a união das peças centrais.	56
Figura 40. Peças de união laterais com as ligações em L soldadas.	57
Figura 41. Base de fixação da estrutura soldada na perna.	58
Figura 42. Peças em L de fixação da estrutura do topo.	59
Figura 43. Estrutura superior de ajuste criada por múltiplas peças soldadas.	59
Figura 44. Cantoneiras em L antes de cravadas.	60
Figura 45. Cantoneira soldada numa das pernas centrais, servido como trilho para rolamentos.	60
Figura 46. União de fixação para os rolamentos.	61
Figura 47. Rolamento inserido na sua união de fixação.	61
Figura 48. Processo de pintura dos componentes.	62
Figura 49. Peças a secar após o processo de pintura.	62
Figura 50. Esquema representativo de aperto por torção. Está também representado o diagrama de tensões residuais no parafuso [31].	64
Figura 51. Ligações aparafusadas num dos cantos.	65
Figura 52. Ligações aparafusadas numa das pernas centrais.	65
Figura 53. Ligações aparafusadas nas estruturas maciças por buchas metálicas.	66
Figura 54. Nível de bolha de ar [32].	67
Figura 55. Vista completa da estrutura terminada aplicada no tanque.	68
Figura 56. Vista final da parte interior da estrutura (tanque e grelha).	69

Lista de Abreviaturas

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

cm – centímetro

CO₂ – Dióxido de Carbono

EDP – Energias de Portugal

EU - União Europeia

g - aceleração da gravidade [m/s²]

h - diferença de cotas ou altura de queda disponível

kg – quilograma

kg/m³ – quilograma por metro cúbico

kW – quilowatt

kWh - quilowatt hora

m – metro

m/s² – metro por segundo ao quadrado

m³/s – metro cúbico por segundo

MPa – megapascal

MW – megawatt

N - newton

P - potência mecânica produzida no veio da turbina [Watt]

Q - caudal de água que passa pela turbina [m³/s]

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

W – watt

Lista de Símbolos

$^{\circ}\text{C}$ - Grau Célcus

$^{\circ}$ - Grau

η - eficiência hidráulica da turbina

ρ – massa volúmica [kg/m^3]

1 Introdução

Neste capítulo é enquadrado o tema da presente dissertação e os objetivos da mesma. Adicionalmente, é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da dissertação e descreve-se a sua organização.

1.1 Motivação

Existe atualmente uma preocupação mundial tendo por base a dependência dos combustíveis fósseis e as consequências ambientais que advêm do uso excessivo destas fontes de energia provenientes dos combustíveis fósseis. Tendo como preocupação a crescente tendência de aumento de custos dos combustíveis fósseis e variâncias dos preços nas últimas décadas, deu-se um aumento na procura e conseqüente evolução de energias alternativas, energias renováveis e com menor carácter poluente, mas principalmente de fonte ilimitada.

Atualmente verifica-se um aumento de consumo energético a nível mundial, em que as energias renováveis representam 19% do consumo energético total [2]. Surgem como principais investidores a nível de energias renováveis, o Japão (com o maior investimento alguma vez realizado), seguido pelos Estados Unidos da América e o Brasil, tendo este último os maiores projetos energéticos renováveis a nível mundial, envolvendo a produção de álcool a partir de cana-de-açúcar.

No que diz respeito a Portugal e à sua dependência de combustíveis fósseis, podemos afirmar que Portugal foi considerado muito dependente desses combustíveis, mesmo para a produção de energia elétrica, tendo-se observado um aumento do consumo desses combustíveis entre 1990 – 2005, passando dos 82% para 87%. Tendo em consideração estes valores, foram introduzidas políticas de promoção e incentivo à redução de emissões de gases poluentes, assim como um programa de integração de fontes de energia renovável na rede elétrica, presente no Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis [1].

A produção hidroelétrica faz-se em centrais hídricas que podem ter armazenamento em albufeira ou serem a fio de água. Pequenas centrais hídricas têm potência até 10 MW e as grandes centrais hídricas mais de 10 MW. As centrais hídricas usam a diferença de potencial entre o nível a montante (albufeira) e do rio a jusante, na restituição. Essa energia faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que, por sua vez, produz eletricidade. As centrais a fio de água não possuem albufeira, aproveitando o fluxo natural do rio, quando este corre. As centrais hídricas são o modo mais eficiente de gerar eletricidade e contribuem para a estabilidade do sistema elétrico. Segundo os dados mais recentes, no ano de 2016, 11.5% da energia elétrica consumida em Portugal foi de origem hídrica e no mês de Fevereiro de 2017 o total de energia renovável consumida foi de 80.9% [2].

1.2 Objetivos

A presente dissertação de mestrado em engenharia industrial, apresenta como principais objetivos:

1. o desenvolvimento de uma plataforma que permita a realização de ensaios de teste, com diferentes alturas de queda de água;
2. conceção, fabrico e instalação em ambiente académico.

Em que foi necessário desenvolver as seguintes etapas:

- Conceber um projeto que se adegue ao espaço físico que possuímos;
- Testar a viabilidade da instalação que se pretende efetuar a nível estrutural;
- Construir uma estrutura metálica com recurso a diversas técnicas de processos de fabrico;
- Instalar a mesma num espaço previamente designado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão, onde futuramente possibilite realizar testes de diferentes quedas de água e caudais.

1.3 Estrutura

Para uma melhor organização desta tese procede-se a uma divisão por capítulos.

No capítulo 2 são apresentados os conceitos necessários para a compreensão deste trabalho, onde se aborda de uma forma generalizada os conceitos de energia e energias renováveis e o enquadramento nacional destas. Descrevem-se ainda as diversas fontes de energias renováveis existentes, a energia solar, geotérmica, hídrica, eólica e produzida através de biomassa. É dada uma especial atenção para a hídrica tendo em conta a aplicação futura do projeto a realizar.

No capítulo 3, procurou-se descrever as tecnologias utilizadas nas várias etapas de fabrico. Para a construção das diversas partes da estrutura e ao longo do processo foram utilizadas diversas técnicas de fabrico e foi necessário estudar o funcionamento de algumas ferramentas bem como aprender a trabalhar com as máquinas necessárias á execução do projeto.

No capítulo 4, faz-se uma alusão às decisões tomadas numa fase inicial, as quais motivaram o desenvolver do projeto na sua versão final. Foram ainda descritas as alterações efetuadas no espaço envolvente e recriadas virtualmente com recurso a um *software* CAD, utilizado também para a criação e validação do projeto virtualmente.

No capítulo 5 descreve-se a metodologia de trabalho ao longo do processo de construção onde se exemplificam as técnicas utilizadas para a conceção de determinadas peças bem como se revelam os produtos finais obtidos.

Por último, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões a retirar do projeto e as principais contribuições do mesmo, incluindo algumas reflexões acerca do trabalho desenvolvido. Apresentam-se, ainda, algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

As fontes de energia renováveis, cuja origem é, principalmente, derivada do enorme potencial da radiação solar, possuem a extraordinária particularidade de serem, simultaneamente, as fontes de energia mais antigas e mais modernas usadas pela Humanidade [3].

A energia solar, quer na forma direta de radiação solar, quer em formas indiretas, como a bioenergia, a água, ou o vento, foi a fonte de energia na qual as primitivas sociedades humanas se basearam para sobreviver na Terra. A lenha era usada para obter calor; a biomassa, para a alimentação, tanto humana como dos animais que puxavam os veículos de transporte; o vento, para a propulsão de barcos; a água e o vento, para mover moinhos [3].

À medida que se foram desenvolvendo, as sociedades criaram tecnologias para controlar a energia do sol, da biomassa, da água e do vento, em benefício do bem-estar social. A Revolução Industrial do século XVIII, em Inglaterra, e XIX um pouco por todo o mundo, marcou um ponto de viragem. Neste contexto de desenvolvimento e grandes alterações nos processos industriais, as vantagens do carvão, o primeiro e mais poderoso combustível fóssil, tornaram-se uma mais valia para o processo da Revolução Industrial. Ao carvão, juntou-se o petróleo e o gás natural. Estas fontes de energia altamente concentradas, abundantes e baratas foram usadas para satisfazer os consumos energéticos crescentes, ao nível das necessidades de calor; três quartos da energia consumida no mundo é providenciada pelo trio de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural [3].

No século XX, em particular a partir das décadas de 70-80, período que corresponde ao auge das crises petrolíferas que tiveram como consequência um extraordinário aumento dos preços, a situação começou a mudar de novo. A energia de origem fóssil deixou de ser barata, aumentaram as preocupações acerca dos efeitos ambientais nocivos da combustão e, em face

ao elevado ritmo de extração, passou a haver mais consciência da natureza finita dos combustíveis fósseis [3].

Os receios continuados acerca da sustentabilidade dos combustíveis fósseis e do nuclear foram o catalisador do renovado interesse pelas fontes renováveis de energia, nas últimas décadas. Idealmente, uma fonte de energia sustentável é aquela que não é substancialmente comprometida pelo seu uso continuado, não emite gases poluentes em quantidades significativas, não dá lugar a outros problemas ambientais e não envolve a perpetuação dos problemas graves de saúde. Neste contexto, as fontes renováveis parecem ser mais sustentáveis que os combustíveis fósseis e nucleares: são praticamente inesgotáveis, o seu uso provoca emissões mais reduzidas de gases nocivos ou outros poluentes e não foram identificados problemas de saúde com elas relacionados [1], [3].

2.2 Energia

A energia é um conceito de vasta aplicação em física. Pode adotar diversas formas, podendo transformar-se de uma noutra forma (conversão de energia), embora não se crie nem se destrua (princípio da conservação da energia) [4].

A energia é classificada em duas formas fundamentais: energia potencial, que é a energia armazenada num corpo ou num sistema em consequência da sua posição, forma ou estado (esta forma de energia inclui energia potencial gravítica, energia elétrica, energia nuclear e energia química) e energia cinética, que é a energia do movimento, e é usualmente definida como trabalho que será realizado sobre um corpo que possui energia, quando ele é levado ao repouso. O calor é outra forma de energia, que se deve à energia cinética associada aos átomos e moléculas de uma substância[4].

Os primeiros a definir a noção de energia foram o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) e o físico francês Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832) em relação à conversão do calor em energia mecânica, e vice-versa. Até meados do século XIX, o físico e matemático britânico William Thomson (1824-1904) e o físico alemão Rudolf Julius Clausius (1822-1888) provaram a diminuição da capacidade de realização de um trabalho por parte de um sistema isolado (degradação de energia). A formulação da teoria dos quanta de energia, descoberta pelo físico alemão Max Planck (1858-1947) em 1900, para além de considerar que

a energia possui uma natureza corpuscular e descontínua, permitiu abrir o caminho para a explicação de efeitos tais como o fotoelétrico e possibilitar o nascimento da teoria quântica da radiação. Finalmente, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) em 1905, ao demonstrar a equivalência entre massa e energia, constituiu a base dos processos nucleares [4].

2.3 Energias renováveis

Sempre que nos referimos a energias renováveis, estamos a referir-nos a um vasto número de tecnologias capazes de disponibilizar serviços de energia sob a forma de eletricidade, aquecimento, arrefecimento e soluções de transporte, de forma sustentável. O setor das energias renováveis levanta ainda bastantes questões, no entanto, estas não devem concentrar-se apenas em saber se o sistema de energia deve ter uma estrutura centralizada ou descentralizada, ou então, qual a tecnologia que se virá a impor no futuro. Todas as soluções e todos os tipos de energias renováveis devem ser considerados como interdependentes, numa perspectiva de diversificação do aprovisionamento energético, da mitigação das alterações climáticas e do desenvolvimento sustentável [3].

A Tabela 1 mostra a relação entre as tecnologias das fontes de energias renováveis e os seus possíveis usos.

Tabela 1. Tecnologias das fontes de energias renováveis e respetivos usos [3].

	Eletricidade	Aquecimento e Arrefecimento	Transporte
Eólico	Em terra (<i>onshore</i>) No mar (<i>offshore</i>)		
Hídrico	Mini-hídrico (<10MW) Grande-hídrico (>10MW)		
Solar	Fotovoltaico Solar termoelétrico de concentração	Solar térmico	
Oceânico	Ondas Marés		
Geotérmico	Convencional Sistemas geotérmicos avançados	Uso direto Bombas de calor geotérmicas	

Bioenergia	Biomassa Biogás	Biomassa Biogás	Bioetanol Biodiesel Biogás
-------------------	--------------------	--------------------	----------------------------------

Existe um vasto número de tecnologias associadas às energias renováveis disponíveis hoje em dia, em diferentes graus de maturidade tecnológica e comercial, algumas das mais relevantes serão mencionadas posteriormente [5].

2.3.1 Energias renováveis em Portugal

Portugal atingiu, em 2014, um valor recorde na produção de eletricidade renovável até então e de emissões de CO₂ evitadas.

Em 2014 a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal foi responsável por 62,7% do total de energia elétrica consumida, como ilustrado na Figura 1, com um aumento de 6% em relação a 2013. Considerando apenas a produção nacional, a contribuição das renováveis cifrou-se no valor recorde de 63,8%. Em cada hora de consumo de eletricidade em 2014, trinta e oito minutos tiveram origem em centrais renováveis.

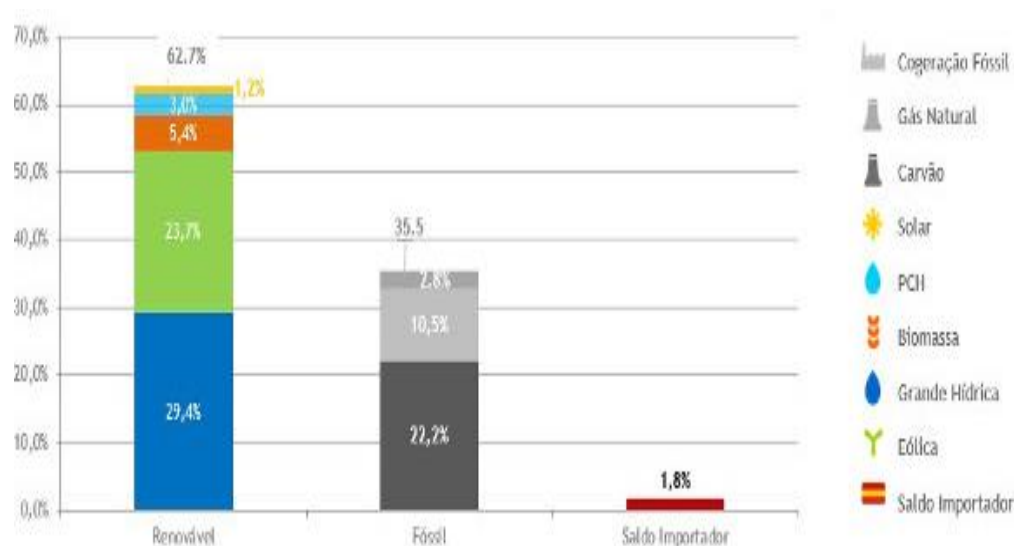


Figura 1. Peso das diferentes fontes de produções de eletricidade em Portugal Continental em 2014 [6].

Em consequência deste aumento de produção das renováveis no ano de 2014, assistiu-se a uma redução do valor de eletricidade importada para 1,8% do consumo, valor mais baixo desde 2002.

O ano de 2014 foi mais húmido que a média em 27%, seguindo a tendência de 2013 com um valor de 22%. Este último ano foi também favorável em termos de vento, tendo-se verificado um valor semelhante a 2013.

Na fotovoltaica, o aumento da capacidade instalada permitiu um aumento de 31% em relação a 2013 tendo superado 1% do consumo o que revela o potencial de crescimento deste sector [6].

Pode verificar-se a produção de eletricidade em Portugal Continental por fonte na Figura 2 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, tendo por base dados da APREN.

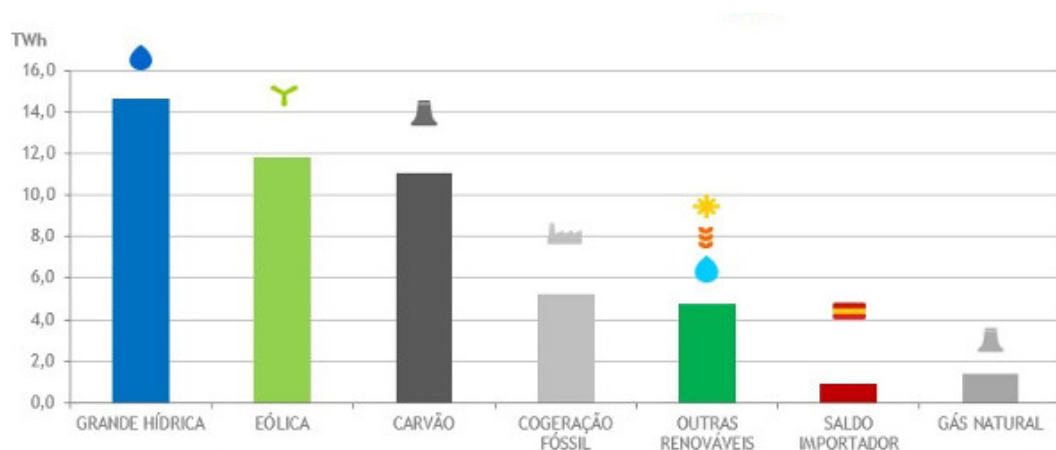


Figura 2. Produção de eletricidade por fonte em Portugal Continental em 2014 [6].

No que diz respeito à energia solar, verificou-se um aumento do investimento nesta área, no intervalo de 2007 a 2009, em parte devido aos incentivos financeiros e benefícios fiscais existentes na época. Na conjuntura atual, esse aumento verificado no passado diminuiu bastante, devido às condições e benefícios a nível fiscal terem diminuído ou até mesmo terem-se extinguido, sendo que a principal razão para este abrandamento ou até mesmo quase estagnação do investimento nesta área se dever ao facto do valor pago por kWh produzido ter diminuído quase 2/3 do valor pago inicialmente (relativamente a 2008).

Devido aos fatores que prejudicam o investimento nas áreas da energia solar, o Governo viu-se na necessidade de criar novas medidas de incentivo ao investimento. Tal foi visado com a alteração da legislação em vigor aplicada ao conceito das energias renováveis, mais propriamente ao nível das instalações fotovoltaicas, como por exemplo, a introdução da legislação do autoconsumo e a introdução do contador de eletricidade bidirecional.

Já no ano de 2015 em Portugal, 28% da energia consumida foi produzida por fontes renováveis. O valor consumido através de renováveis em Portugal é o oitavo mais elevada entre os países europeus e o quinto mais elevado entre os países que partilham o euro [7], como se pode observar na Figura 3.

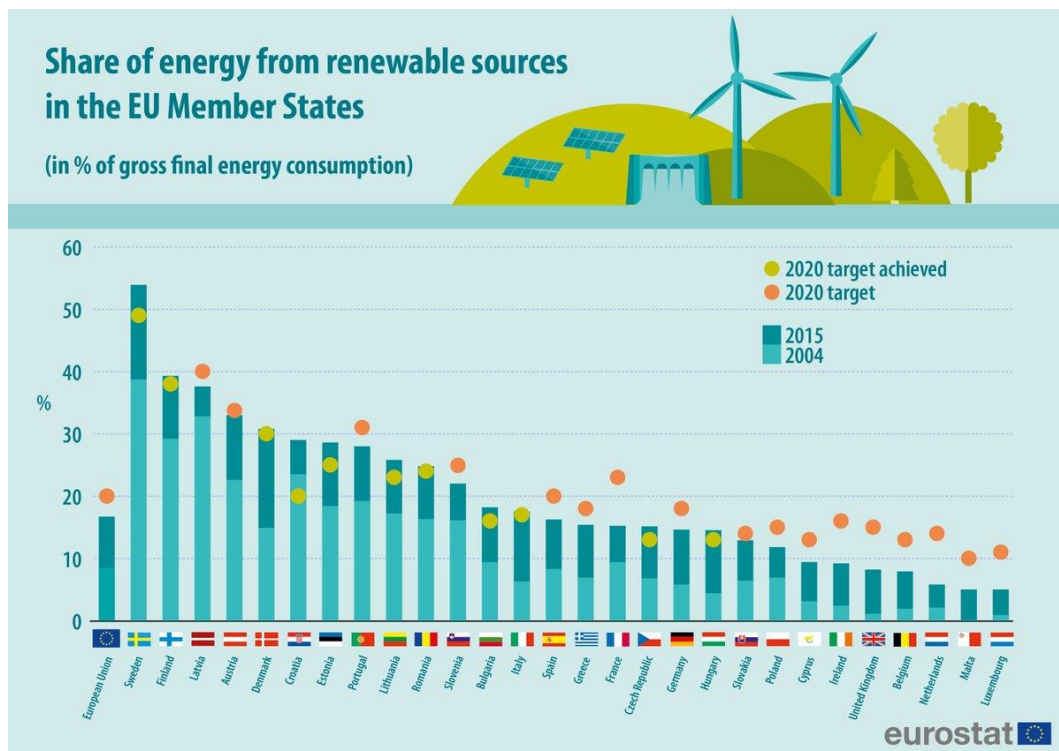


Figura 3. Valor consumido através de renováveis em Portugal e na Europa. [8]

Atualmente verifica-se um panorama animador no que diz respeito à produção de energia elétrica através de fontes renováveis, sendo que, nem toda a eletricidade comercializada em Portugal é produzida no nosso país, sendo uma pequena parte da energia importada tem origem em centrais nucleares [9].

Podemos observar na Figura 4, relativamente à eletricidade comercializada pela EDP em 2016 em Portugal, a proveniência e as quantidades de energia produzida pelas diversas tecnologias.

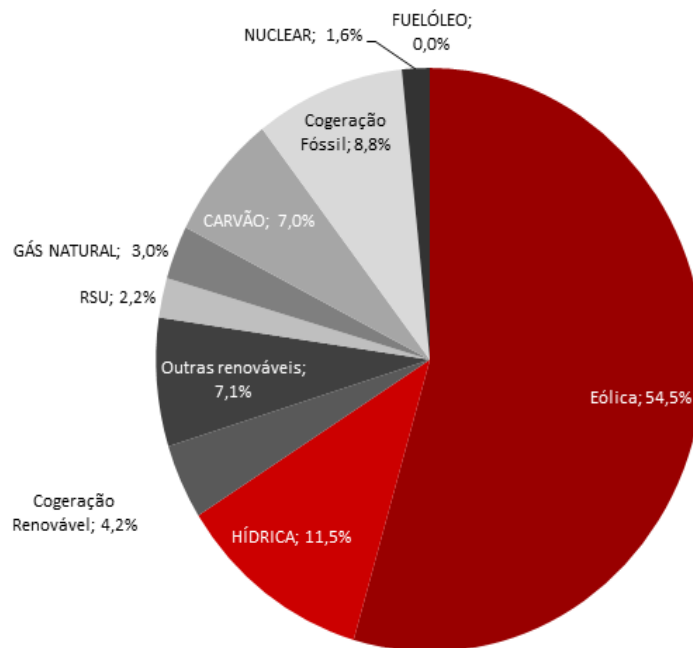


Figura 4. Repartição por tecnologia da energia comercializada pela EDP Serviço Universal em 2016 [9].

2.3.1 Energia eólica

A energia eólica diz respeito à transformação da energia do vento em energia útil e é uma forma de obter energia de forma renovável e limpa, uma vez que, não produz poluentes. Esta é uma fonte de energia que está permanentemente ao dispor do Homem.

A energia eólica “surgiu” com a crise do petróleo, nos anos 70. Um pouco por toda a Europa foi-se sentindo medo devido à escassez do petróleo, o que levou a procurar outras fontes de energia. No entanto, a origem da energia eólica não se situa exatamente na década de 70.

A origem da energia eólica é muito mais remota. Desde a antiguidade que se percebeu a força do vento. O vento era aproveitado nos barcos que se moviam impulsionados por este através de velas.

Os próprios moinhos trabalhavam graças à força do vento. Bombear água ou moer grãos para obter farinha eram ações conseguidas graças à energia do vento.

A energia do vento pode, portanto, ser aproveitada e transformada em energia elétrica e mecânica.

Hoje em dia, a energia do vento é essencialmente aproveitada para produzir eletricidade. Esta transformação é conseguida através de aerogeradores. Os aerogeradores são colocados estrategicamente em zonas ventosas, que normalmente são em zonas de maior altitude [10].

O vento forte é capaz de rodar as pás de uma turbina. Um aerogerador comunica com um eixo central e este, por sua vez, é acoplado a uma caixa multiplicadora onde a velocidade de rotação é incrementada, segundo características específicas de cada fabricante [10].

Os aerogeradores possuem um sistema capaz de controlar a velocidade do rotor de forma a manter uma velocidade estável com a variação da velocidade do vento. O gerador ligado ao transmissor mecânico produz energia elétrica [11].

Uma concentração ou aglomerado de aerogeradores denomina-se de parque eólico, sendo utilizados para produzir energia elétrica, geralmente para alimentar localidades remotas e distantes da rede de transmissão [11].

Existem dois tipos de parques eólicos - onshore e offshore. Os parques eólicos onshore encontram-se localizados ao largo da costa ou no interior. Os parques eólicos offshore são parques onde os aerogeradores são instalados no mar [10].

Um dos grandes inconvenientes a apontar à energia eólica é a poluição sonora. As turbinas não são de todo silenciosas e o desconforto pode fazer-se sentir, mesmo a grandes distâncias. Mas até esta desvantagem está a ser minimizada pela tecnologia, com uma diminuição do ruído provocado pelos aerogeradores de última geração [1].

A poluição visual é uma outra desvantagem apontada apenas por alguns. Não é, portanto, um ponto unânime. Há quem considere que um parque eólico tem grande impacto visual e há quem não considere.

Atualmente esta é a maior fonte de produção de energia elétrica em Portugal [9].

2.3.2 Energia solar

O termo energia solar designa, de uma forma genérica, todo o tipo de captação de energia luminosa com origem no Sol. Essa mesma energia que é absorvida e armazenada, posteriormente é utilizada para outras finalidades e para as mais diversas situações rotineiras, diminuindo assim a utilização de outras energias prejudiciais para o meio ambiente.

Este tipo de energia proveniente do Sol é captada através de recursos materiais, como por exemplo os coletores solares extremamente populares nos dias de hoje. Existem também os painéis fotovoltaicos, que são formados através de células fotovoltaicas e que têm como principal objetivo a transformação de energia solar em energia elétrica. Esta energia pode ser utilizada para diversos fins, seja a título particular ou até mesmo empresarial, no entanto nos dias que correm, a sua utilização é maioritariamente particular, sendo assim utilizada para o aquecimento de água sem recurso a energia elétrica [12].

A utilização da energia solar começou a ser maior aposta nos últimos anos; assim que os recursos não naturais começaram a falhar, a utilização de recursos naturais, mesmo que modificados, foi vista como a melhor alternativa possível para manter a presença dessa mesma energia, sem danificar o ambiente e ainda utilizando métodos bastante simples.

Atualmente existem dois métodos (direto e indireto) para a captura dessa mesma energia solar, sendo que cada um deles possui as suas vantagens e desvantagens. Com o método direto, significa que existe apenas uma transformação entre a energia solar e um tipo de energia que possa ser utilizado pelo homem (como por exemplo: a transformação da energia solar recebida pelas células fotovoltaicas para a criação de eletricidade ou em energia térmica). Com o método indireto a energia solar irá sofrer várias transformações até que surja energia utilizável pelo homem (por exemplo: a energia proveniente do sol armazenada na biomassa) [12].

O funcionamento de um sistema de energia solar requer alguns cuidados, assim como alguns materiais essenciais para que toda a transformação seja feita corretamente.

Assim, para o sistema de energia solar térmica funcionar corretamente são precisas três partes essenciais: o painel solar (para a captação da radiação solar), o depósito de água (para o armazenamento da água que irá ser aquecida) e o sistema de apoio (para complementar a energia solar captada) [1].

O funcionamento em si é extremamente simples: os raios solares atingem toda a cobertura transparente do painel solar que armazena essa mesma radiação no seu interior. De seguida a radiação é absorvida por uma placa metálica (placa absorvora) convertendo assim os raios solares em calor, calor esse que é conduzido através dos tubos do sistema que contêm a água. No final essa mesma água é conduzida até ao depósito da água para a armazenagem em pleno [1].

Existem também vários tipos de sistemas, com diversas configurações e até estruturas, que podem ser aplicados. No entanto, o funcionamento é quase sempre o mesmo e o objetivo é geral: a captação de energia solar e a sua transformação em energia elétrica, mecânica ou térmica.

2.3.3 Energia Oceânica

Os oceanos antes somente explorados pela vida marinha, também são grandes potenciais geradores de energia elétrica. Desde 1979 que se estuda a utilização deste tipo de energia, realizando-se testes a uma máquina movida pela força das ondas aproveitando o seu potencial energético. Desde então tem havido uma evolução e os estudos tecnológicos têm sido aprofundados [13].

Alguns países como a Grã-Bretanha, Portugal, Brasil e Países Escandinavos estão bastante empenhados no avanço da exploração do potencial das ondas do mar para produzir eletricidade. Já foram obtidas grandes descobertas acerca da geração de energia a partir das ondas e marés, sendo que muito ainda deve ser feito para que este processo chegue ao alcance de todos, tendo em mente que a possibilidade de usar os oceanos em prol da sustentabilidade já é um grande feito [13].

Na Ilha do Pico, nos Açores, está em operação uma central com 400 kW, sendo a primeira central no mundo a produzir eletricidade a partir da energia potencial das ondas, de uma forma regular. Atualmente os protótipos flutuantes ficam localizados longe da costa.

O futuro deste tipo de produção de eletricidade reside em centrais offshore em que se prevê para Portugal um potencial elevado, a meta é que até 2025 cerca de 20% da eletricidade consumida tenha origem pela energia de ondas e marés [13]. Esta perspetiva pressupõe que

com o aperfeiçoamento das diferentes tecnologias, que ainda estão a dar os primeiros passos, possam ser aprimoradas, obtendo maior expansão no nosso país.

Outra forma de aproveitamento dos oceanos para a produção de eletricidade é a energia das marés, mas em Portugal a diferença de nível entre a maré cheia e a baixa não é suficiente para concretizar este processo. No nosso país são conhecidos os chamados moinhos de maré, na margem sul do estuário do Tejo, que funcionam desde o século XIV (Moinho de Corroios), denominado como a mais antiga fonte de geração de energia elétrica [14].

2.3.4 Energia Geotérmica

A energia geotérmica é considerada uma das energias mais limpas e fiáveis no leque de energias renováveis utilizáveis. A palavra geotérmica, vem da junção do prefixo “geo” que significa terra e sufixo “térmica”, tal como o próprio nome indica, é a energia obtida a partir do calor proveniente do interior do planeta Terra.

O calor terrestre existe nas camadas inferiores do nosso planeta, mas em algumas partes do globo está mais perto da superfície do que noutras, nesses locais em que está mais perto da superfície torna-se mais fácil a sua utilização.

O calor é trazido para perto da superfície, devido a movimentos da crosta terrestre, por intrusão de magma fundido e pela circulação de águas subterrâneas formando reservatórios de água quente sob grande pressão [15].

Devido à necessidade de adquirir energia elétrica de uma forma mais limpa e em quantidades cada vez maiores, foram desenvolvidos modos de usufruir desse calor para a geração de eletricidade. No entanto esta energia sob a forma de calor pode também ser utilizada de forma direta.

Há, portanto, duas formas de utilizar a energia geotérmica.

Utilização direta: reservatórios geotérmicos de temperaturas baixas moderadas (20°C – 150°C) podem ser aproveitados diretamente para fornecer calor para a indústria, aquecimento de ambiente, termas (Figura 5) e outros aproveitamentos comerciais



Figura 5. Águas Termais [15].

Centrais Geotérmicas (Figura 6): aproveitamento direto de fluidos geotérmicos em centrais a altas temperaturas ($> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$), para movimentar uma turbina e produzir energia elétrica[15].

A utilização da energia geotérmica é conseguida através da perfuração de poços de modo a alcançar os reservatórios, trazendo para a superfície o vapor da água quente de alta pressão, dirigindo o vapor e água quente a unidades distintas nas turbinas das centrais geotérmicas[15].

A energia térmica é, assim, convertida em energia elétrica. O fluido geotérmico arrefecido é injetado de volta ao reservatório onde é reaquecido, preservando o equilíbrio e a sustentabilidade do recurso [15].

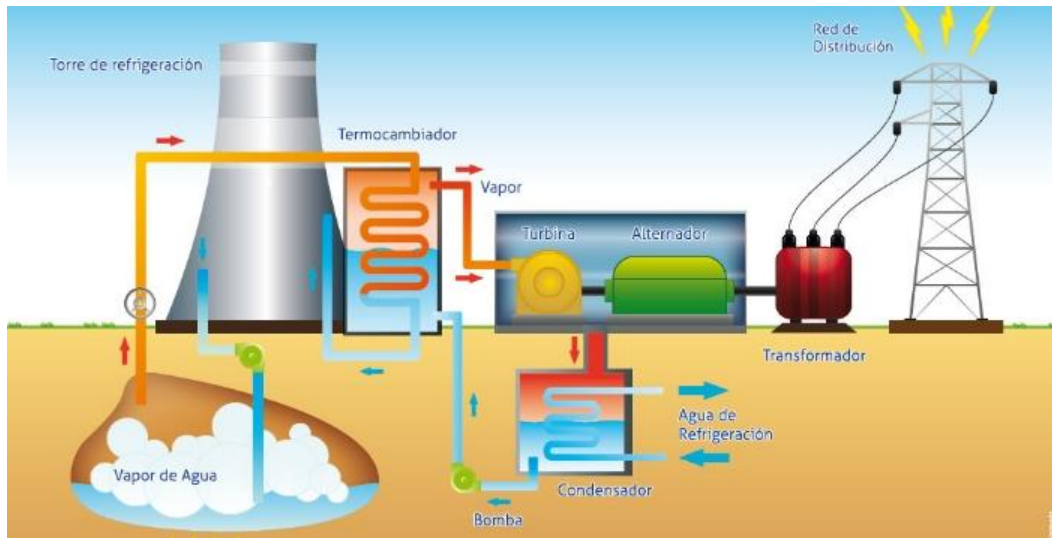


Figura 6. Central Geotérmica [15].

Bombas de calor geotérmicas (Figura 7): os sistemas geotérmicos de aquecimento e arrefecimento funcionam pelo bombeamento da água através de um tubo inserido no solo, que através da diferença de temperatura do subsolo aquecem ou arrefecem água e, em seguida, o ar dentro dos edifícios[15].

Além de utilizar as energias renováveis em vez de um combustível fóssil para aquecer os edifícios, um sistema de energia geotérmica usa 70% menos energia para executar o mesmo que um sistema convencional de aquecimento e refrigeração e 30% a 50% menos energia do que um novo sistema de aquecimento e refrigeração[15].

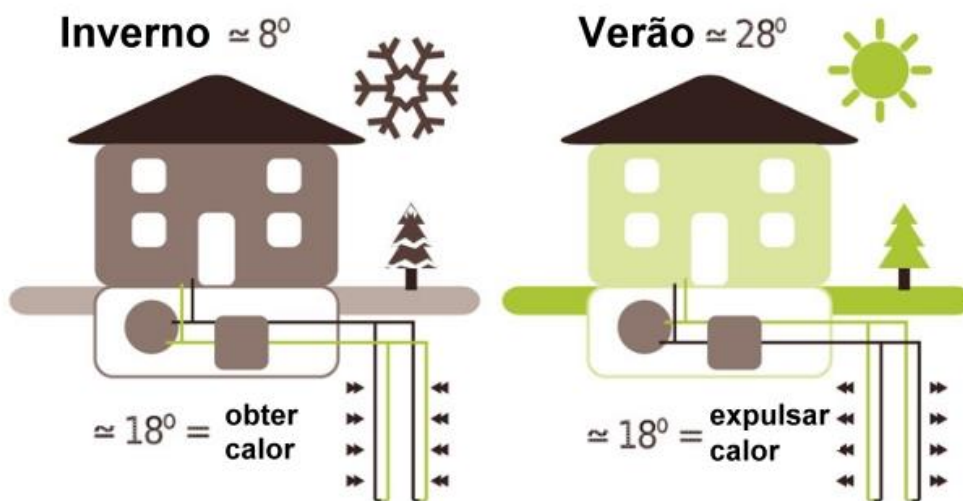


Figura 7. Bomba de calor [15].

É no arquipélago dos Açores, devido à sua localização na fronteira de placas, que a exploração de energia geotérmica se encontra mais desenvolvida. Existem centrais instaladas nas diversas ilhas que contabilizam uma potência anual de 235,5 MW [15].

Uma vez que a rede elétrica deste arquipélago é autónoma (não se encontrando ligada à rede europeia de eletricidade), estas centrais assumem um papel fundamental no desenvolvimento de toda a região. Na Figura 8, podemos ver uma dessas centrais dos Açores. A entidade governamental responsável pela gestão dos recursos geotérmicos dos Açores é a Eletricidade dos Açores [15].



Figura 8. Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho [15].

2.3.1 Energia da Biomassa

No conceito de geração de energia, o termo biomassa aglomera todos os derivados recentes de organismos vivos que são utilizados como combustíveis ou para a produção desses mesmos combustíveis. Podemos verificar na Figura 9 alguns tipos de aproveitamento da biomassa.



Figura 9. Exemplos de aproveitamentos de Biomassa [16].

Do ponto de vista ecológico, biomassa é a quantidade total da matéria viva existente num ecossistema ou numa população quer animal quer vegetal. Estes dois conceitos estão, por conseguinte, interligados entre eles, embora sejam algo diferentes [16].

Simplificando, podemos dizer que são designados por biomassa os resíduos sólidos naturais e os resíduos resultantes da atividade humana, ou seja são biomassa os subprodutos da pecuária, da agricultura, da floresta ou da exploração da indústria da madeira, por exemplo [16]. É também considerada biomassa a parte biodegradável dos resíduos sólidos urbanos (lixo doméstico).

Para a definição de biomassa no contexto da geração de energia não são contabilizados os tradicionais combustíveis fósseis, apesar de estes serem também derivados do ramo vegetal e mineral (são exemplos o carvão mineral do ramo vegetal, o petróleo e gás natural do ramo mineral), no entanto estes são resultado de várias transformações que requerem vários milhões de anos para acontecer [16].

A biomassa pode ser considerada um recurso natural renovável, contrariamente aos combustíveis fósseis.

2.3.2 Energia Hídrica

O aproveitamento hidroelétrico, aproveita a existência de um desnível no leito de um rio para converter a energia potencial associada em energia cinética, ligada com o caudal do rio e, posteriormente, em energia mecânica, fazendo passar a água em movimento por uma turbina hidráulica. Um gerador elétrico converte esta energia mecânica em energia elétrica. Sempre que as condições geográficas o permitem são contruídos grandes reservatórios, chamados de albufeiras, nos quais a água pode ser convenientemente armazenada para posterior uso em momentos mais convenientes[1].

As centrais que não estão dimensionadas com uma albufeira, são designadas de centrais de fio de água. Estas são menos valiosas, pois não possuem capacidades de regularização.

A maior parte das centrais hidroelétricas tem uma potencia instalada elevada, normalmente na ordem das centenas de MW ou mesmo milhares. A construção das albufeiras implica o alargamento de diversas áreas, com a conseqüente perturbação de ecossistemas; por outro lado, o habitat natural dos seres vivos aquáticos também é afetado. Estes impactos ambientais não negligenciáveis, fazem com que a classificação da grande hidroelétrica como uma fonte de energia renovável não seja pacífica [3]

Já os aproveitamentos hidroelétricos de pequena potência (inferior a 10 MW) são sempre englobados dentro das energias renováveis. Esta forma de obtenção de energia elétrica tem um rendimento elevado, atingindo máximos próximos de 90% [3].

2.3.2.1 Conversão

A energia disponível resulta da transformação da energia potencial de uma massa de água em energia cinética, ao haver um deslocamento para uma cota inferior. Isto pode ser traduzido pela equação 1:

$$P = \eta \rho g Q h \quad (1)$$

onde:

P é a potência mecânica produzida no veio da turbina [Watt]; η é a eficiência hidráulica da turbina; ρ é a massa volúmica da água [kg/m^3]; g a aceleração da gravidade [m/s^2]; Q é o caudal de água que passa pela turbina [m^3/s]; h a diferença de cotas tendo em

conta o atrito nas tubagens condutoras (cerca de 20% de perdas) ou altura de queda disponível [17].

Para a conversão em energia elétrica, a energia cinética da água é transformada em energia cinética de rotação da turbina hidráulica, e esta energia mecânica da turbina finalmente em energia elétrica. A cada processo estará associado um rendimento na ordem dos 80% a 90%, dependendo da tecnologia empregue. [17]

Em Portugal os aproveitamentos hidroelétricos estão classificados com base na sua potência instalada em grande hídrica (igual ou superior a 10 MW) e mini-hídrica (inferiores 10 MW) [17].

Existem ainda classificações internacionais que subdividem estes aproveitamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação internacional por potência instalada [17].

<i>Classificação</i>	<i>Potência</i>
Grandes Hídricas	>10 MW
Pequenas hídricas	500 kW a 10 MW
Mini-hídricas	100 kW a 50 kW
Micro-hídricas	<100 kW

Esta divisão também pode ser feita por altura de queda de água (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação internacional por altura de queda de água [17].

<i>Classificação</i>	<i>h [m]</i>
Queda baixa	2-20
Queda média	20-150
Queda alta	>150

A maior parte dos aproveitamentos hidroelétricos utiliza barragens num rio para armazenar água num reservatório. Este armazenamento é feito em forma de energia potencial,

e como referido acima, a energia potencial é transformada em energia cinética quando a água é libertada do reservatório, fluindo através da turbina para produção de energia elétrica. Nem sempre é necessária a utilização de grandes barragens para a produção hidroelétrica. Diversos aproveitamentos utilizam condutas que canalizam a água do rio através da turbina o que acontece normalmente em pequenas aplicações[17].

Existem ainda centrais hidroelétricas que além de converterem em eletricidade a água turbinada, podem bombear a água que já passou pelas turbinas para o reservatório a montante usando energia elétrica, de forma a armazenar energia potencial: as chamadas barragens reversíveis. Este tipo de soluções é habitualmente utilizado quando existe excesso de energia elétrica na rede, como em sistemas elétricos com energia eólica, aumentando assim a flexibilidade do sistema elétrico. Podemos verificar na Figura 10, as diferenças entre os tipos de barragens com diferentes alturas de queda.

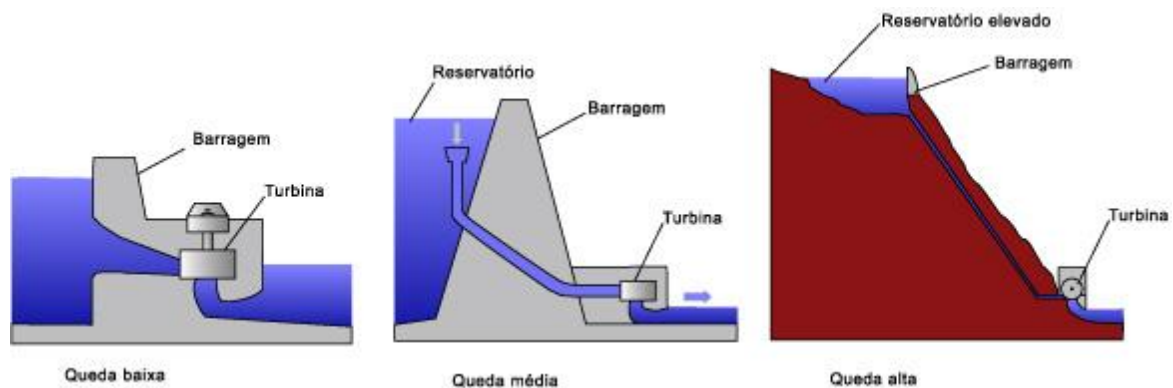


Figura 10. Ilustração dos diferentes tipos de altura de queda de água [17].

A disponibilidade anual deste recurso depende da quantidade de água disponível para turbinar, sendo fatores determinantes a pluviosidade, o regime de funcionamento e de elaboração (com ou sem armazenamento) e a bacia hidrográfica.

2.3.2.2 Tecnologias

As principais componentes de uma central hidroelétrica são: a turbina, a barragem e o gerador, como se pode ver na Figura 11.

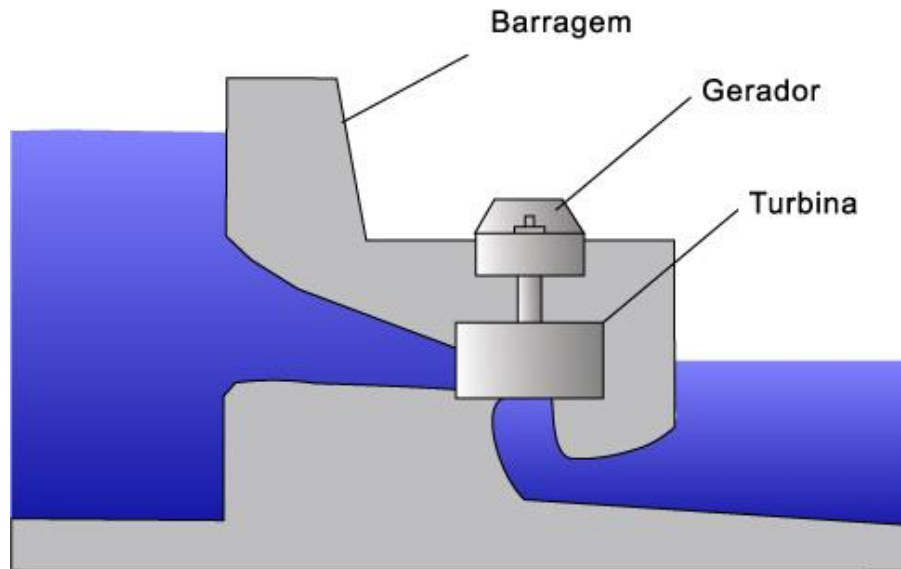


Figura 11. Componentes de uma central hidroelétrica [18].

➤ *Componentes de uma central hidroelétrica*

- *Barragem*

É uma estrutura maciça ou oca, normalmente de betão ou com enchimento de terra, a qual retêm a água. O topo da barragem, designado como crista, pode suportar uma via pedonal ou para veículos. A barragem possui uma fundação no fundo do rio e apoios na margem para resistir a esforços horizontais. Normalmente existe um descarregador na crista ou na estrutura da barragem[18].

As barragens podem ser classificadas em:

- De gravidade (Figura 12): construídas em betão ou terra, que resiste pelo próprio peso à pressão da água e transmite os esforços à fundação. A utilização de contrafortes a jusante permite aligeirar o paredão da barragem;

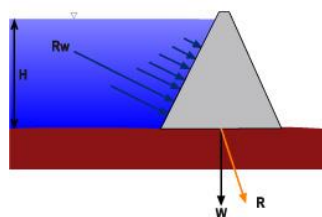


Figura 12. Barragem de gravidade [18].

- ii. De arco ou abobadada (simples ou dupla curvatura) (Figura 13): construídas em betão, a sua forma em curva faz com que as pressões sejam transferidas para as ombreiras. A barragem em arco é construída em vales mais apertados, podendo desta forma a altura ser maior que a largura.

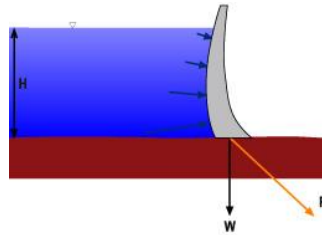


Figura 13. Barragem de arco ou abobadada [18].

- *Turbina*

A turbina hidráulica é o principal componente de um aproveitamento hidroelétrico. Este componente mecânico converte a energia da queda de água em energia mecânica. A seleção da mesma depende essencialmente de três fatores: altura da queda, caudal e velocidade de rotação. As turbinas podem ser divididas pelo seu princípio de operação em: turbinas de ação e turbinas de reação.

Turbinas de ação: funcionam a pressão atmosférica, sendo que as mesmas são impulsionadas por jatos de água que atingem as pás da turbina, são exemplos as turbinas de Pelton, Turgo e Crossflow (Banki) [18].

- a) **Pelton** (Figura 14): consiste numa roda com uma série de semi-baldes ao longo da sua periferia. Um ou mais jatos de alta velocidade são direcionados tangencialmente contra a roda. O jato atinge o balde dividindo-se em dois, movimentando a roda. A água deflectida nos baldes acaba por cair no canal de descarga. O uso é adequado para locais onde haja altas quedas e pequeno caudal e apresenta bons rendimentos onde há grande variação de carga, podendo ser operadas entre 10 e 100% de sua potência máxima [18].

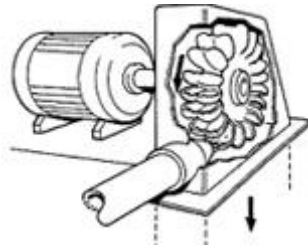


Figura 14. Turbina de Pelton [18].

- b) **Turgo** (Figura 15): é semelhante a uma turbina Pelton, no entanto o jato atinge a roda com um ângulo de 20° , em vez de tangencial, desta forma a água entra por um lado da roda e sai pelo outro. Desta forma, o fluxo de caudal é independente da descarga do fluido, originando turbinas com menor diâmetro para a mesma potência [18].

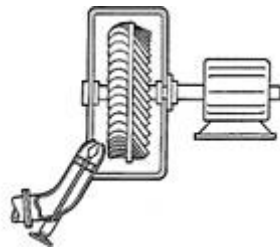


Figura 15. Turbina de Turgo [18].

- c) **Crossflow (Banki)** (Figura 16): este tipo de turbinas consiste num rotor com forma de tambor com um disco sólido em cada extremidade e pás dispostas radialmente unindo os dois discos. O jato de água entra na parte superior do rotor através das pás curvas emergindo na outra extremidade do rotor, passando assim duas vezes pelas pás. O seu rendimento é inferior ao das restantes turbinas, mas mantém-se num valor elevado ao longo de uma extensa gama de caudais. O seu campo de aplicação atende quedas de 3 a 100 metros, caudais de $0,02$ a $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e potências de 1 a 100 kW [18].

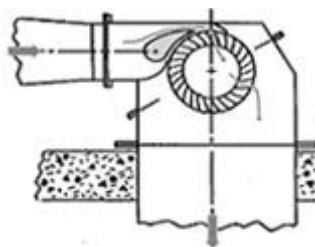


Figura 16. Turbina de Crossflow (Banki) [18].

Em geral as turbinas, de ação são mais flexíveis a variações de caudal fora do valor nominal de projeto, no entanto normalmente necessitam de diferenças de cota superiores a 10 m e idealmente acima dos 50 m.

Turbinas de reação: neste caso o rotor é submerso totalmente na água e enclausurado numa câmara de pressão. As pás da turbina são perfiladas e devido à diferença de pressão nas superfícies da pá é originada uma força de sustentação (como nas asas dos aviões), o que provoca a sua rotação. Devido à maior complexidade no fabrico são habitualmente mais caras que as turbinas de ação [18]. São exemplos as turbinas do tipo Hélice e Francis.

- d) **Hélice (Kaplan)** (Figura 17): o princípio é semelhante ao da hélice de um barco, mas funcionando de forma inversa. Neste tipo de turbinas uma das características básicas para aumentar a eficiência é originar rotação do fluído antes de entrar na turbina através de guias fixas ou varáveis. As turbinas de hélice não são reguláveis, permitem pouca variação no caudal (apenas controlado pelo distribuidor). São usadas para grandes caudais e baixas quedas. Existem diversas configurações, a principal a Kaplan, onde as pás podem ser ajustadas que apesar dos custos, permitem aumentar a eficiência para maiores gamas de caudal [18].

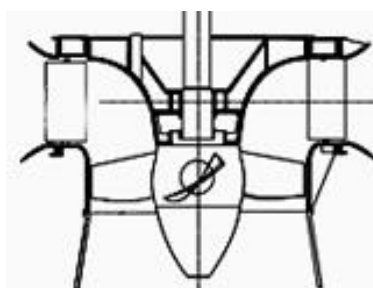


Figura 17. Turbina de hélice (Kaplan) [18].

- e) **Francis** (Figura 18): este tipo de turbina é uma modificação das turbinas de reação, onde a água flui radialmente acionando o rotor e emergindo axialmente. O rotor é montado normalmente em caixa em espiral com pás para orientação do fluxo de água. São turbinas adequadas para operação com condições intermédias de queda e de caudal. Apresentam um alto rendimento

(80% a 90%), tanto mais alto quanto maior for a potência. As turbinas de reação em geral são menos flexíveis a variações de caudal, sendo que o máximo de eficiência é sempre próximo do valor de caudal de projeto, no entanto podem operar com alturas abaixo dos 10 m [18].



Figura 18. Turbina de Francis [18].

- *Gerador elétrico*

Para conversão da energia mecânica gerada na turbina em energia elétrica são utilizados geradores, os quais possuem uma série de ímãs dentro dos mesmos. Estes ímãs rodam no meio de enrolamentos de cobre (bobines) produzindo energia elétrica. A maior parte dos geradores são trifásicos de corrente alternada, podendo ser equipados com alternadores síncronos ou assíncronos [18]. Podemos observar a Figura 19 que mostra um gerador elétrico esquematizado.

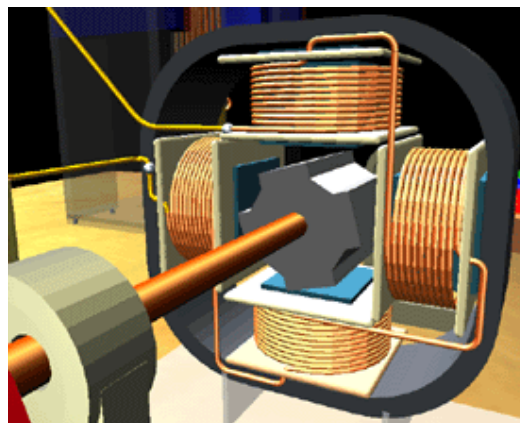


Figura 19. Gerador elétrico esquematizado [19].

3 Equipamentos e técnicas utilizadas

A construção metalomecânica tem implícita a necessidade de cumprir diversas normas e requer conhecimento a vários níveis, desde os materiais às diversas técnicas e tecnologias a aplicar.

Segundo a norma EN 10025-1:2004 [20], as características do aço estrutural, tanto nos vários perfis existentes como em chapas, são definidas pela norma EN 10025-1:2014, no que diz respeito à qualidade, composição do aço e condições de fornecimento [20].

As propriedades mecânicas constituem as características mais importantes dos aços, para a sua aplicação no campo da engenharia, visto que o projeto e a confeção das estruturas metálicas assim como a confeção dos componentes mecânicos são baseados no seu conhecimento. As propriedades mecânicas definem o comportamento dos aços quando sujeitos a esforços mecânicos e correspondem às propriedades que determinam a capacidade de resistir e transmitir os esforços que lhes são aplicados, sem que se rompam ou tenham deformações excessivas [21].

O aço utilizado na produção dos componentes foi o S275JR, S275 J0H para a estrutura principal e E220+CR2 S2 para a estrutura móvel interna.

Considerou-se necessário e de relevante interesse conhecer e compreender os diversos conceitos teóricos aplicados no desenvolvimento prático do projeto, sendo que um conhecimento adequado das técnicas e dos equipamentos ajuda a uma melhor performance e reduz os riscos.

3.1 Metrologia (Medições)

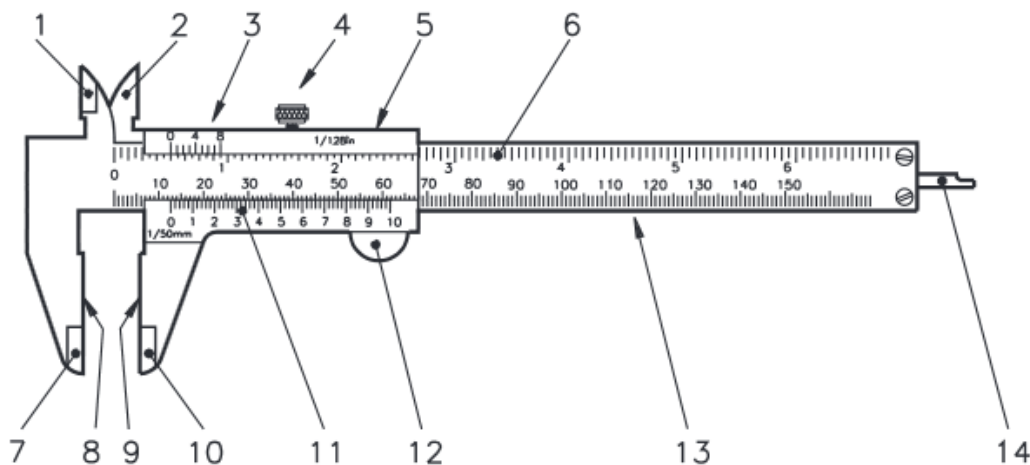
A Metrologia é definida como a ciência da medição. A medição é uma operação de grande importância em diversas atividades, porque é através da utilização da Metrologia que

garantimos o nível de qualidade pretendido para a concepção, fabricação e utilização de um produto ou serviço [22].

Durante o processo de execução por múltiplas vezes foi necessário recorrer a instrumentos de medição para dimensionar, verificar, marcar e ajustar variados componentes, pelo que para essas medições utilizou-se a fita métrica comum, o paquímetro e o traçador de alturas digital. Em seguida apresenta-se uma breve síntese dos instrumentos.

3.1.1 Paquímetro

O paquímetro é um instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça. Consiste numa régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor [23]. A Figura 20 esquematiza a constituição de um paquímetro.



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. orelha fixa | 8. encosto fixo |
| 2. orelha móvel | 9. encosto móvel |
| 3. nônio ou vernier (polegada) | 10. bico móvel |
| 4. parafuso de trava | 11. nônio ou vernier (milímetro) |
| 5. cursor | 12. impulsor |
| 6. escala fixa de polegadas | 13. escala fixa de milímetros |
| 7. bico fixo | 14. haste de profundidade |

Figura 20. Imagem da constituição de um paquímetro [24].

3.1.2 Traçador de alturas digital

O traçador de alturas digital (Figura 21) tem por base o mesmo princípio de funcionamento do paquímetro, apresentando a escala fixa com cursor na vertical. É utilizado para traçar medidas em peças com o objetivo de facilitar o processo de fabrico e, com auxílio de acessórios, no controle dimensional [25]. Este equipamento deve estar sempre sobreposto numa banca metálica, ou de granito, calibrada e lisa para uma melhor medição e minimização de erros.



Figura 21. Traçador de alturas digital [25].

3.2 Corte

O corte consiste num procedimento constantemente utilizado na preparação de componentes em aço para estruturas, já que as dimensões dos elementos definidas em projeto não correspondem geralmente às dimensões dos elementos provenientes do fornecedor. O corte constitui uma etapa de produção cujo planeamento deve ser pormenorizadamente realizado, de forma a obter o melhor aproveitamento do elemento inicial, seja este um perfil ou uma chapa [21].

O corte pode ser executado por diversos métodos consoante o tipo de aço, secção da peça e suas dimensões. Distinguem-se o corte por guilhotina (esforço de corte), por serra e

com recurso a máquinas manuais de corte. Considerou-se relevante descrever pormenorizadamente os métodos normalmente utilizados no fabrico de estruturas metálicas, nomeadamente no corte de chapas e perfis, que consistem no corte por serra e guilhotina.

3.2.1 Serra

A geometria dos perfis usados na construção metálica consiste, maioritariamente, em I, H, U, as cantoneiras em L e as secções tubulares RHS e CHS [26].

Usualmente o corte destes elementos é executado por serra de banda longitudinal, Figura 22, fita rotativa ou serra de disco circular, pois apresentam bons rendimentos de execução para este tipo de componentes estruturais.

Todos os tipos de serras são direcionados para geometrias de corte simples, retilíneas, perpendiculares ou oblíquas ao eixo do perfil, sendo normalmente o ângulo máximo de corte de 45°.

A serra de disco ou circular apresenta normalmente uma espessura de 5mm, sendo as dimensões máximas da peça a cortar determinadas pelo diâmetro do disco. Tendo em conta ainda este parâmetro é possível agrupar perfis, executando o seu corte simultaneamente o que permite aumentar a produtividade.

As serras de banda longitudinal e fita rotativa têm menor capacidade de corte no que respeita às dimensões da peça a cortar. A precisão de corte é idêntica à da serra de disco.

A superfície de corte apresenta alguma rugosidade, implicando o seu tratamento por rebarba. Acrescenta-se ainda que esta técnica origina um significativo volume de detritos, nomeadamente as limalhas, cujo tratamento por reciclagem deve ser previsto pormenorizadamente.



Figura 22.Serra longitudinal para corte de perfis metálicos.

3.2.2 Guilhotina

Trata-se de um processo mecânico muito utilizado no corte de chapas de espessura reduzida, como chapas de topo ou cutelos, por exemplo. As espessuras máximas aplicáveis a este método são 14mm e 10mm, para aços cuja tensão de cedência é inferior ou igual a 355 MPa e aços em que a mesma grandeza é superior a 355 MPa, respetivamente. A guilhotina, normalmente hidráulica, submete o elemento a um esforço de corte, plastificando o aço até atingir a rotura. Induz algumas imperfeições no corte, no que se refere à rugosidade da superfície de corte e também provoca o esmagamento da chapa, por vezes significativo, na zona envolvente à aresta de corte. Podemos observar uma guilhotina na Figura 23.



Figura 23. Máquina de corte de chapas por guilhotina.

3.3 Furação

A furação de perfis metálicos é usualmente executada através de brocas, em que os furos são executados por corte por arranque de apra, provocado pelo movimento rotacional da broca. O desgaste é auxiliado por uma emulsão que amacia a superfície de contacto entre a broca e a peça, para facilitar a furação. Neste processo deve considerar-se:

- A profundidade do furo não deve exceder 2,5 vezes o seu diâmetro;
- O eixo do furo deve ser rigorosamente perpendicular à face da peça, admitindo-se uma tolerância de 1mm;
- Os furos correspondentes a um parafuso, em peças sobrepostas, devem possuir uma tolerância de 1mm para permitir a fácil colocação do parafuso;
- As rebarbas provenientes dos furos devem ser eliminadas, para garantir uma perfeita sobreposição dos elementos a ligar;

No caso de os furos serem destinados a rebites (elemento de ligação muito pouco utilizado, atualmente) o seu diâmetro deve corresponder ao diâmetro nominal do fuste do rebite acrescido de 2mm em estruturas de classe de execução 1 ou 2 e 1mm para as classes de execução 3 ou 4.

Por outro lado, se os furos forem destinados a parafusos de cabeça embebida no elemento a ligar as dimensões da reentrância na estrutura juntamente com as suas tolerâncias devem permitir o ajustamento perfeito entre a cabeça do parafuso e a profundidade da reentrância.

3.3.1 Furadora radial

São as furadoras mais comuns encontradas em geral em qualquer estabelecimento metalúrgico. O sistema de cabeçote móvel elimina a necessidade de reposicionamento da peça quando se deseja executar vários furos. Pode-se levar o cabeçote a qualquer ponto da bancada, diminuindo o tempo de produção. Recomendada para peças de grandes dimensões, a serem furadas em pontos afastados da periferia [27]. A Figura 24 ilustra uma furadora radial.



Figura 24. Furadora radial.

3.4 Fresagem

Além de todas as aplicações convencionais, a fresagem é uma interessante alternativa para quem precisa de fazer furos, abrir cavidades, maquinar superfície, executar roscar, etc. O desenvolvimento das ferramentas também tem contribuído com as novas possibilidades, juntamente com ganhos de produtividade, fiabilidade e a constante qualidade que se tem conseguido com a tecnologia de pastilhas intercambiáveis e de fresas inteiriças em metal duro. A fresagem é, basicamente, o corte com uma ferramenta rotativa de múltiplas arestas de corte que executa movimentos programados sobre uma peça em quase todas as direções [27]. A Figura 25 ilustra uma fresadora universal.



Figura 25.Fresadora universal.

3.5 Soldadura

A soldadura é um procedimento que permite uma ligação de continuidade entre elementos metálicos constituintes de uma estrutura. Consiste na fusão do material a ligar, por

aumento da temperatura, sendo a ligação assegurada desta forma, pela adição de um material de adição que se funde com o aço. A serralharia em oficina dos componentes de uma estrutura metálica é executada quase exclusivamente com recurso a ligações soldadas ou aparafusadas. A união das peças é feita previamente por soldadura de pontos, sendo este processo denominado a “pingagem” da estrutura [28].

3.5.1 Soldadura MIG/MAG

Este processo tem grande aplicação na construção metálica pois possibilita soldar todos os metais envolvidos, destacando-se os aços estruturais e de alta resistência, aços inoxidáveis e alumínio. A soldadura é executada a partir de um arco elétrico formado entre um fio eletrodo consumível fornecido continuamente através de uma bobine e a peça a soldar, como demonstra a Figura 26. Este arco vai possibilitar a fusão do fio eletrodo e da superfície das peças a ligar, formando o banho de fusão, que é depositado sobre a junta, completando assim a soldadura. Este processo é protegido de contaminação exterior por um fluxo de gás fornecido ao ambiente da soldadura. Inicialmente utilizava-se um gás inerte, como Árgon ou Hélio ou misturas que corresponde à soldadura tipo MIG (Metal Inert Gas). Posteriormente concluiu-se que a substituição do gás de proteção por um gás ativo (Dióxido de Carbono ou misturas) levava a melhorias de rendimento, tornando-se mais económico. Esta variante é designada por soldadura MAG (Metal Active Gas) [28].

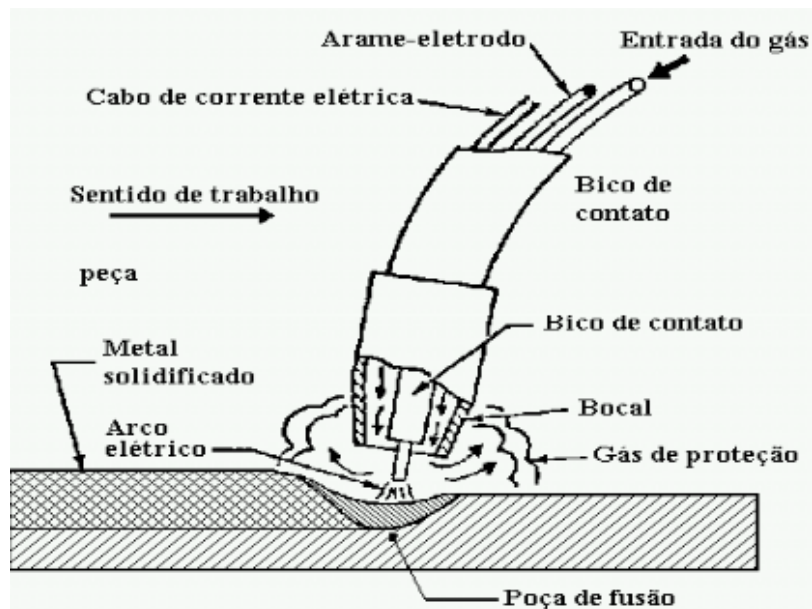


Figura 26.Componentes e princípios de funcionamento da soldadura MIG/MAG [29].

A soldadura pode ser executada de forma semi-automática ou automática. No primeiro caso a tocha é controlada por um soldador, sendo a alimentação do fio elétrico (espessura variável entre 0,8mm a 2mm) feita automaticamente. Na soldadura automática a tocha é guiada por uma máquina. Esta automatização ou semi-automatização é possibilitada devido ao efeito de autorregulação do processo que consiste no contínuo reajustamento do comprimento do arco elétrico através de variações da intensidade de corrente, aumentando ou diminuindo a fusão do fio consumível. Assim, existe um consumo do fio elétrico contínuo, sendo este fornecido por uma bobine. Acrescenta-se ainda, como equipamentos, uma fonte de alimentação de corrente de soldadura, uma fonte de gás de proteção, uma unidade de alimentação do fio (bobine), tocha ou pistola de soldadura, uma caixa de comando, um manoredutor e debitômetro [28], como se verifica na Figura 27.



Figura 27. Aparelho de solda MIG/MAG.

3.6 Acabamentos: Tratamento da superfície e pintura

O tratamento superficial pode ser executado por decapagem, nas variantes mecânica, química e eletroquímica, sendo a primeira a que detém maior aplicação no contexto das estruturas metálicas. A lixagem constitui um processo de tratamento superficial do aço de forma manual através da utilização de escovas e lixas mecânicas. É muitas vezes uma alternativa a decapagem mecânica, em situações em que a área a preparar é muito reduzida.

Em casos em que é necessário remover eventuais gorduras ou óleos existentes na superfície da peça, procede-se ao seu desengorduramento, previamente à decapagem mecânica, constituindo outra forma de tratamento de superfícies. Este processo baseia-se em princípios químicos ou eletroquímicos. Utiliza solventes orgânicos em fase líquida ou gasosa e soluções aquosas alcalinas. Deve-se ter em conta que os primeiros não removem substâncias inorgânicas como sulfatos, cloretos, óxidos e escórias provenientes de soldaduras.

3.6.1 Pintura

Uma tinta tem na sua composição três componentes principais. Os pigmentos, que definem a cor da tinta, proporcionam opacidade e coesão do material e conferem alguma proteção anticorrosiva. As resinas, que têm uma função ligante de todo material, permitindo que a tinta se comporte como uma mistura homogênea. Os solventes, normalmente líquidos orgânicos ou água, que permitem a dissolução dos ligantes e facilitam a aplicação da tinta [21].

Os sistemas de revestimento por pintura são variados, dependendo do tipo de proteção que se pretende efetuar. No entanto, é possível generalizar um sistema de pintura em três camadas principais. São estas:

- Primário: aplicado diretamente na superfície do elemento decapado, tendo como objetivo garantir a correta aderência do revestimento à base. Acumulam outra importante função que consiste na proteção anticorrosiva;
- Camadas intermédias: têm unicamente a função de garantir a espessura estipulada para o revestimento;
- Camada exterior: possui funções estéticas, determinando a aparência final do elemento metálico. Funciona também como proteção anticorrosiva.

Existem diversos métodos de pintura de elementos metálicos, no entanto atualmente apenas o jato de “spray” por ar comprimido e o jato de “spray” por pressão hidráulica são utilizados devido à sua eficiência e produtividade. A pintura por pincel ou rolo é exclusivamente utilizada em obra para eventuais reparações [21]. A Figura 28 ilustra um compressor para aplicação de tinta por “spray”.



Figura 28. Compressor para aplicação de tinta por spray.

3.7 Resumo

Considerou-se, de relevante interesse dar uma maior atenção aos processos de fabricos implementados ao longo do desenvolver do projeto, sabendo que existem outros processos de fabrico que, como não tiveram relevância no processo de construção ou não foram aplicados, não foram mencionados.

Considera-se que o conhecimento e domínio dos processos de fabrico na industria metalomecânica é de índole essencial não apenas na ótica do operário, mas também do Engenheiro, pois o conhecimento dos projetistas, das limitações e dificuldades dos processos reduz as complicações no fabrico.

O incorreto manuseamento da maquinaria presente no ambiente laboratorial ou técnicas aplicadas incorretamente podem ter consequências graves para a saúde dos utilizadores. Nesse sentido, é de carácter obrigatório o cumprimento das normas de segurança do laboratório. Sabendo que os acidentes não acontecem, são causados e que o seu primeiro acidente pode também ser o ultimo, então, na duvida consulte os manuais de utilização ou o técnico responsável.

4 Projeto

4.1 Enquadramento

Tendo por base as correntes políticas energéticas contempladas em Portugal e a corrente necessidade em enquadrar determinados meios num contexto energético mais diversificado, surgiu inicialmente uma proposta de trabalho inserida num plano de intervenção energética sugerido por um grupo pluridisciplinar de vários professores de vários departamentos, no qual foi sugerido dotar um espaço com diversos sistemas de produção autónoma de energia.

Numa fase inicial decorreram alguns encontros de uma equipa multidisciplinar, no âmbito de avaliar determinados pontos de interesse e identificar as condições de trabalho que esses mesmos locais ofereceriam, bem como discutir a aplicação de diversas tecnologias de produção energética.

Foram identificados dois pontos de interesse para uma intervenção ao nível energético. O primeiro ponto de interesse foi a “Casa da Seda” (Rua dos Batoques - Bragança), o segundo foi o “Moinho da Quercus (Castrelos - Bragança)”.

No caso do primeiro ponto de interesse foi discutida a possibilidade de desviar um pequeno curso de água com recurso a tubagens, e criar uma pequena unidade independente de produção de energia elétrica, no caso constituída por uma unidade turbina-gerador numa pequena estrutura desenvolvida para tal fim. Por sua vez, no caso número 2, foi sugerido o aproveitamento de um pequeno curso de água e do seu caudal para criar uma unidade de produção de energia elétrica através do caudal e da queda de água apresentada no local, com aproveitamento da energia diretamente nas instalações.

Após algumas ponderações optou-se por escolher o Moinho da Quercus (Castrelos - Bragança) como local a realizar a intervenção no plano energético e decidiu-se criar uma estrutura enquadrada com o local, estrutura esta que através de um sistema turbina-gerador seria responsável por uma pequena produção de energia hidroelétrica. Numa fase inicial

foram recolhidos alguns valores relativos aos cursos de água e aos caudais existentes no local. Contudo a execução de projetos e sua aplicação no terreno, sem ser executado um estudo prévio relativamente à capacidade de produção de energia em variados cursos e diversas e diferenciadas alturas de queda de água, conduziu-nos à necessidade de, em resposta a essa problemática, desenvolver um projeto de criação de uma estrutura capaz de dotar a comunidade académica da possibilidade de realização dos demais estudos, em ambiente laboratorial.

4.2 Desenvolvimento

Após várias diligências e diversos contactos entre todos os elementos da equipa de trabalho, no sentido de decidir um possível local para uma instalação piloto de uma pico-hídrica e com um potencial local, foi acordada a criação de uma estrutura de testes para medições com diversos tipos de turbinas e uma calha com caudal e inclinação variável, de forma a validar/testar a estrutura a ser criada.

Com recurso ao *software SolidWorks* foi elaborado um primeiro projeto de forma a corresponder ao solicitado, inicialmente uma estrutura de testes móvel, onde teríamos uma calha quadrangular com cerca de 2 m de comprimento e 300 mm de abertura, com uma inclinação ajustável em 4 pontos de diferentes alturas, com cerca de 1 m de altura no total e com espaçamentos de 250 mm entre os variados ajustes. Inicialmente pensou-se em testar diferentes tipos de turbinas nessa calha e os seus comportamentos nesta estrutura de testes. Contudo, esta ideia pouco tempo depois foi alterada devido ao facto de a escola possuir um tanque num dos laboratórios, o que permitiria criar uma estrutura que validasse diferentes quedas de água e com recurso a um reservatório, criar um ciclo de teste. Foi então proposto que se desenvolvesse uma estrutura fixa instalada no Laboratório de Geotecnia onde está esse tanque e que correspondesse às necessidades propostas.

4.2.1 Espaço envolvente

Foram retiradas as medidas do espaço envolvente onde se pretendia criar a estrutura de testes de forma a um melhor dimensionamento, estudo e projeto virtual mais adequado que

permitisse minimizar os erros de concepção. Entendeu-se que seria necessária uma intervenção no tanque onde a estrutura seria acoplada. Foi então feito, com recurso a uma empresa de construção civil, um redimensionamento do tanque. A Figura 29 e Figura 30 representam uma recriação virtual do tanque redimensionado e suas medidas e a representação virtual das características da sala. A Figura 29 foi retirada do Anexo A.

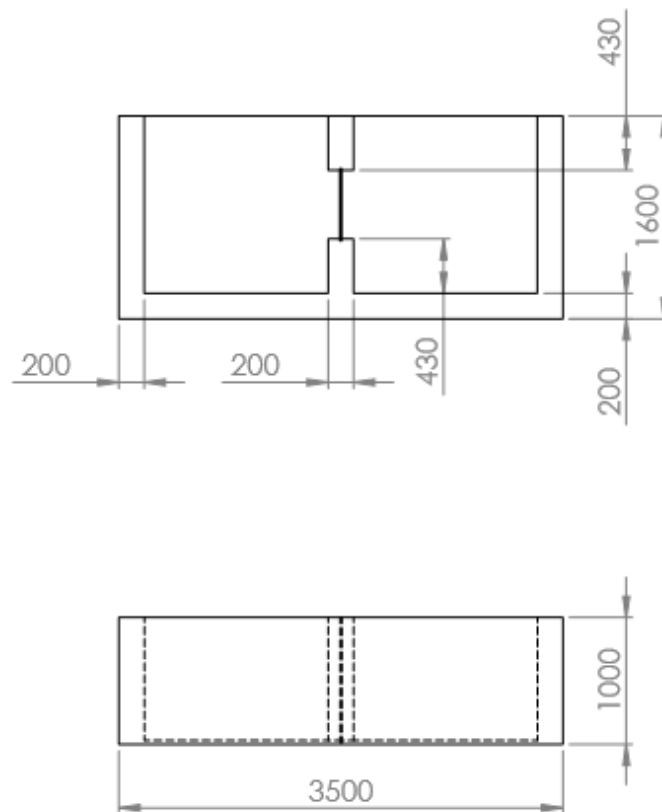


Figura 29. Desenho técnico das medidas do tanque após a intervenção.

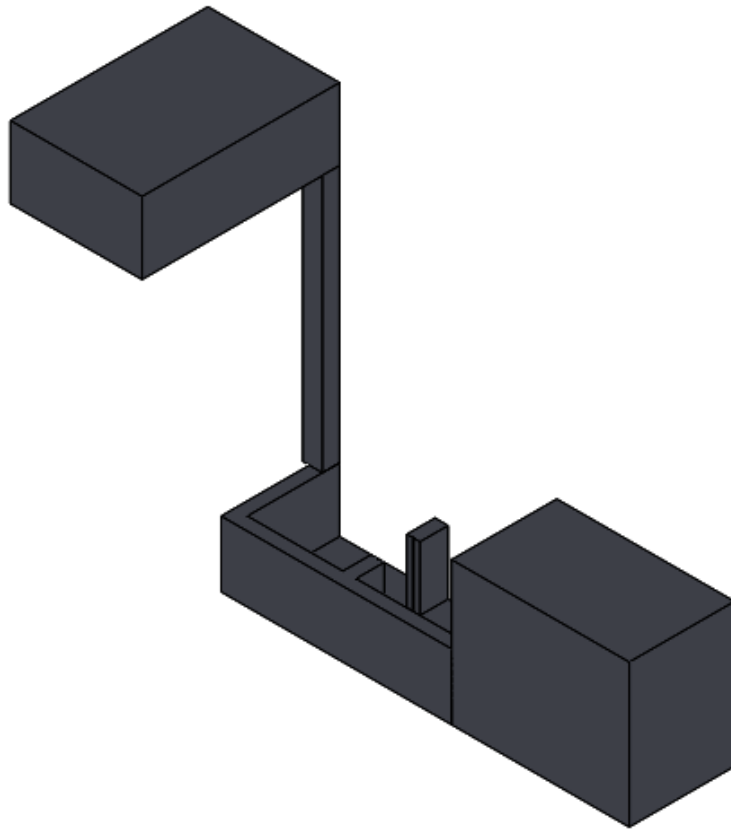


Figura 30. Modelo esquematizado em *SOLIDWORKS* da sala

4.2.2 Estrutura

Tendo em conta a avaliação feita no local, foi proposto que se desenvolvesse uma estrutura capaz de responder às necessidades e que cumprisse os requisitos exigidos para que se conseguisse efetuar medições de teste num futuro. Utilizando o *software SOLIDWORKS* desenvolveu-se a estrutura tendo em conta vários parâmetros impostos. Obteve-se então uma estrutura capaz, presente na Figura 31.



Figura 31. Imagem modelo do projeto a ser criado.

De uma forma resumida, a estrutura consiste numa criação metálica composta por 6 apoios fixos, 4 deles apoiados no tanque e 2 no armazém, todos estes com fixação no teto e com ligações metálicas entre eles de forma a evitar que a estrutura se desloque. No espaço interior destes apoios instalaram-se 4 calhas metálicas com o objetivo de guiar uma plataforma elevatória interior com 4 rolamentos, recorrendo ao auxílio de um motor e cabos de aço.

4.2.3 Testes e validação

A validação de projetos no *SOLIDWORKS Simulation*, nada mais é que o teste das condições reais de uso dos seus produtos, sendo realizado no ambiente virtual do *SOLIDWORKS*, para validar todas as condições e aplicações dos seus produtos [30]. Como a maioria dos processos de fabrico não ocorre nos escritórios onde o projeto é concebido, mas

sim em outras instalações diversas e em muitos casos sendo mesmo a missão de construção delegada para terceiros, é necessário detetar possíveis problemas de fabricação e corrigi-los antes de iniciar a construção.

No caso da estrutura concebida considerou-se necessário testar alguns parâmetros de construção, sendo que no caso de junção de peças metálicas achou-se essencial testar a consistência das ligações efetuadas e ainda uma estrutura superior de ligação e local de potencial aplicação de um gancho no futuro.

4.2.3.1 Teste

Neste caso, foi efetuado o teste com recurso ao *SOLIDWORKS Simulation* da peça superior da estrutura. As Figuras 32 e 33, ilustram a peça que vai ser testada e depois o resultado do deslocamento máximo que ocorre nessa mesma peça aplicando uma força externa de 1000 kg (9800 N). De referir que este valor é um valor máximo arbitrado para efeitos de teste, pois não se espera que seja necessário resistir tal peso.

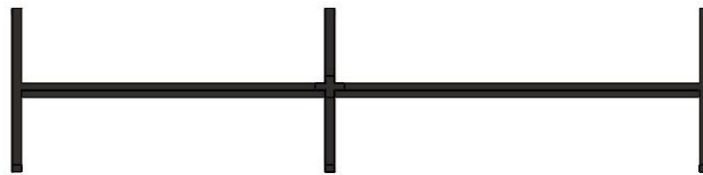


Figura 32. Imagem representativa do *solidworks* da peça superior a ser testada.

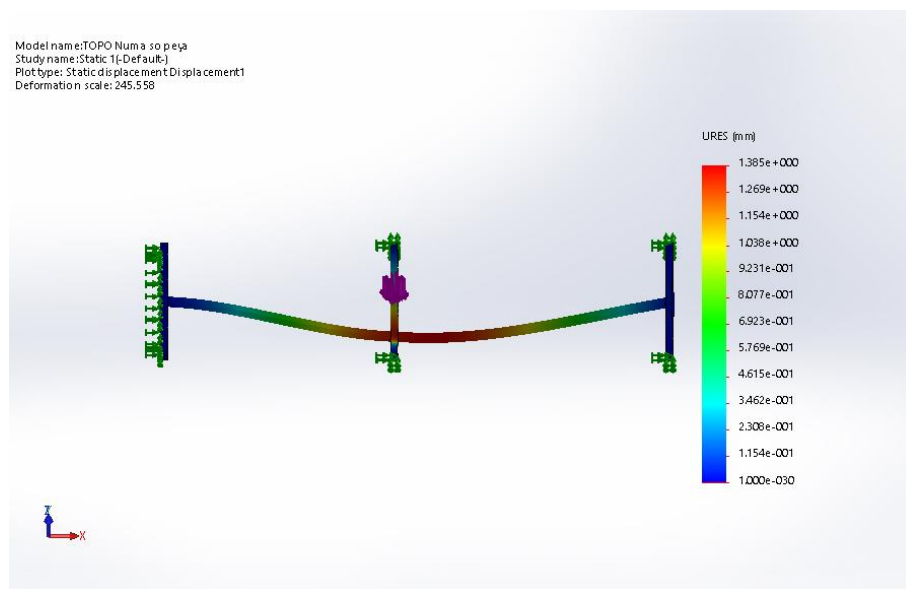


Figura 33. Imagem da análise do deslocamento ocorrido por aplicação de uma força, utilizando o *solidworks*.

Podemos verificar que no caso anterior, aplicando um peso de 9800 N no ponto central, ponto aonde se prevê uma aplicação futura de um gancho, este valor arbitrado por excesso para testar a integridade da estrutura numa situação limite, existe um deslocamento de cerca de 1,38 mm, o que é considerado muito baixo e que valida assim a execução desta peça. É ainda considerado de alguma importância referir que, para a realização deste teste foi necessário reconstruir a peça por forma a conseguir realizar a análise dinâmica no *SolidWorks*, visto, não ser possível realizar este teste em ficheiros unidos (*assembly*).

4.3 Resumo

Este capítulo apresenta de uma forma simplificada as diversas situações que foram tidas em consideração desde a fase inicial da proposta de dissertação onde, se relata os encontros e possibilidades que foram propostos inicialmente assim como a decisão final a ser aplicada.

Apresentou-se ainda os procedimentos que foram efetuados para a criação e validação do projeto em versão digital. Apresentou-se ainda o *software* utilizado para a recriação virtual, quer do espaço envolvente onde a estrutura seria criada assim como, se descreveu as dimensões e “esboçou” a estrutura pretendida.

Foram ainda feitas as validações consideradas necessárias ao projeto, recorrendo a uma ferramenta de validação de projetos virtuais, *SOLIDWORKS Simulation*.

5 Construção da Estrutura

5.1 Introdução

Neste capítulo são caracterizadas as diversas etapas envolvidas na construção da estrutura metálica e consequente aplicação no local previamente designado.

A abordagem efetuada consiste numa descrição geral do processo que levou à criação das sub-estruturas, as técnicas utilizadas em cada fase ou a aplicação dos processos de fabrico descritos anteriormente e demonstrações entre projeto e produto final.

Decidiu-se ainda de uma forma simplificada documentar o processo de montagem, bem como caracterizar os aspetos específicos da montagem, como é o caso das ligações aparafusadas.

Por último destaca-se a dependência do processo construtivo face às decisões tomadas na fase do projeto. De facto, o sucesso da construção, no que respeita ao cumprimento de prazos e custos é determinado essencialmente por um planeamento pormenorizado, mas é importante que o projetista tenha em conta aspetos como as condições de trabalho oferecidas, as dificuldades inerentes ao manuseamento do material, as sequências possíveis de construção, entre outras condicionantes.

5.2 Fabrico

É condição essencial e obrigatória para que o projeto decorra com normalidade a correta planificação do que é pretendido, pelo que depois do projeto virtual estar terminado, procedeu-se à encomenda de material para proceder à sua transformação. A Tabela 4 apresenta todo o material comprado para o processo de construção:

Tabela 4. Lista de material comprado para o desenvolvimento do projeto.

<i>Descrição</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Tamanhos</i>
Tubo de aço 50*50*3 [mm]	6 unidades	6 m
Tubo de aço 30*30*1.5 [mm]	6 unidade	6 m
Cantoneira em aço L 30*30*1.5 [mm]	6 unidade	6 m
Chapa metálica 3 mm esp.	2 unidades	2*2 m
Bucha Metal M-06*045 Ø08	70 unidades	
Paraf. c/sex. R/total M08*20	50 unidades	
Paraf. c/sex. R/total M08*30	10 unidades	
Paraf. c/sex. R/total M08*80	20 unidades	
Porca Sextavada M08	80 unidades	
Anilha Plana M08	80 unidades	
Broca SDS Plus Ø08*260	1 unidade	
Roda para portão de correr 101*60 V	4 unidades	
Tinta cinza (Secagem rápida)	1 unidade (4 litros)	
Diluyente Sintético	1 unidade (3 litros)	

Foi com o material disponível que se moldou e criou as peças necessárias para viabilizar a estrutura, a partir dos desenhos técnicos criados e apresentados no Anexo B.

5.2.1 Peças

O primeiro processo a ser executado foi, com recurso à serra longitudinal, cortar os perfis às medidas estabelecidas, de ter em conta que para diferentes pontos os tubos apresentavam dimensões diferentes. Cortou-se então nesse caso 6 tubos para os apoios

verticais da estrutura, 8 tubos para as fixações laterais da estrutura e 5 tubos para criar uma estrutura de reforço no topo. Cortaram-se ainda da mesma maneira 8 tubos de diferentes dimensões para posteriormente criar uma grelha de suporte interna móvel. A Figura 34 demonstra os perfis de tubos de aço cortados.

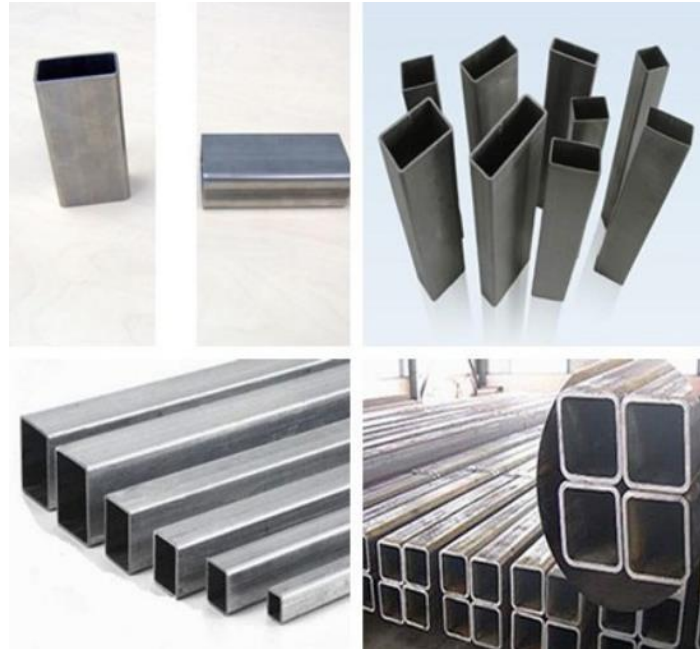


Figura 34. Tubos de aço cortados.

Com os perfis cortados, foi necessário cortar a chapa em pequenas peças para criar uniões entre as partes da estrutura e bases para os apoios verticais, bem como peças de fixação ao betão. Para isso, e com recurso à guilhotina, cortaram-se tiras de chapas com 5 cm de largura e 10 cm de comprimento, tendo em conta possíveis enganos e peças estragadas, foram cortas algumas tiras de reserva, num total de 50 tiras de aço. Foi ainda considerado necessário cortar 6 chapas de dimensões 50x50 mm para criar um ponto intermedio de uniões.

Estas tiras de chapa foram posteriormente marcadas, com recurso à sala de metrologia e utilizando o traçador de alturas digital, marcaram-se as tiras. Em primeiro marcou-se o centro em todas elas, em seguida, marcou-se 15 mm a contar de extremidade lateral e marcaram-se as tiras. Depois executou-se o mesmo processo no mesmo lado da chapa, mas agora com uma altura de 12.5 mm e marcou-se com as tiras numa posição horizontal.

Tendo por fim todas as marcações efetuadas, foi necessário marcar um ponto para furar, por puncionamento, no ponto em que as marcações se cruzavam. Esta técnica permite posteriormente uma furação mais precisa e melhor ajuste da broca às chapas e é realizada através do impacto de um punção na chapa, através de uma pancada firme. Acabadas as

marcações passou-se ao processo seguinte de tratamento das tiras de chapa que constou num processo de furação, onde, com recurso à furadora radial e um torno que permitiu a fixação das peças, furou-se todas as tiras nos pontos criados anteriormente pelos outros métodos.

Por fim, e de modo a obter as peças pretendidas, foram todas as tiras introduzidas na máquina de quinar e dobradas pela marcação que delineava o centro das chapas, em ângulos de 90° por forma a obter uma aparência em forma de “L”.

As rebarbas provenientes dos furos devem ser eliminadas, para garantir uma perfeita sobreposição dos elementos a ligar, este processo é feito recorrendo à rebarbadora. Nas Figura 35 e Figura 36, estão representados, uma máquina de quinar e o resultado final destes processos anteriormente descritos.



Figura 35. Máquina de quinar chapas.



Figura 36. Peça em forma de L após várias operações.

Foram aplicados os métodos descritos anteriormente para a realização e ou intervenção em outras peças. Sendo o caso dos tubos inicialmente cortados para serem as “pernas” da estrutura, onde se furou da mesma forma na extremidade superior com distância lateral de 25 mm (centro do tubo) e a uma distância do topo de 30 mm. Estes furos servem para acoplar as uniões que fixam as pernas da estrutura ao teto. As uniões referidas anteriormente, foram concebidas da mesma forma que as peças em L, com a pequena diferença de que para criar uma ligação ajustável, por forma a minimizar erros e facilitar a instalação, recorreu-se à fresadora para criar rasgos no centro da peça com o mesmo diâmetro dos furos.

Foram ainda criadas, com recurso a todos estes procedimentos descritos anteriormente, outras variedades de peças, sendo o caso das bases para as “pernas” da estrutura, e as uniões centrais das ligações metálicas. Nas Figuras 37, 38 e 39 seguintes, estão representadas as peças resultantes.



Figura 37. Peça em forma de L fresada.



Figura 38.Base das pernas de suporte da estrutura.

As bases representadas na imagem anterior, foram dimensionadas de uma forma quadrangular, com 150 mm de lado e as furações para a fixação encontram-se posicionadas a 25 mm das extremidades. Na imagem anterior a base já se encontra numa fase final, acoplada à perna e fixa por ligações aparafusadoras.



Figura 39. Peça que permite a união das peças centrais.

A peça presente na imagem anterior, obedeceu ao mesmo processo de construção, sendo que, apenas varia as suas dimensões de corte, tendo 50 mm de lado.

5.2.2 Junção de peças

Com o término dos processos de fabrico de peças individuais, necessitou-se de criar peças metálicas mais complexas, pelo que para isso, foi necessário recorrer aos processos de

soldadura para unir de uma forma solida e resistente os diferentes componentes metálicos para obter as peças pretendidas.

As ligações dos tubos de ajuste lateral projetaram-se todas da mesma forma, sendo nesse caso necessário soldar as peças em forma de L nas extremidades dos tubos destinados a essas ligações. Nas uniões centrais, foi cravado, também por processo de soldadura a peça de 50x50 mm, com a finalidade de servir de ponto intermédio e de apoio. Foram ainda soldados os apoios de fixação da estrutura nas pernas e ainda recorrendo a este processo, criou-se uma estrutura superior de ajuste. As Figuras 40 e 41 demonstram estas aplicações.



Figura 40. Peças de união laterais com as ligações em L soldadas.

Na imagem anterior estão demonstradas diferentes peças L, soldadas de forma diferente, pois as suas ligações são distintas (lateral e central).



Figura 41. Base de fixação da estrutura soldada na perna.

Base de fixação soldada na perna ilustrada na Figura 41. Sendo que os tubos têm as dimensões 50x50 mm e a base 150x150 mm, os tubos foram soldados de forma centrada.

As Figuras 42 e 43 ilustram a estrutura superior de ajuste, criada através da montagem de várias peças metálicas por processo de soldadura, bem como as suas ligações de ajuste do tipo L, também soldadas.



Figura 42 Peças em L de fixação da estrutura do topo.



Figura 43. Estrutura superior de ajuste criada por múltiplas peças soldadas.

Utilizando ainda o processo de soldadura, foram efetuadas outras intervenções ao nível da criação metálica, onde nas 2 pernas centrais, nas faces interiores da estrutura se cravou as cantoneiras de forma a criar um trilho para colocar rolamentos de forma a conseguir guiar um movimento ascendente e descendente. A Figura 44 mostra as cantoneiras em forma de L, e a Figura 45 as cantoneiras cravadas nas pernas central.



Figura 44. Cantoneiras em L antes de cravadas.



Figura 45. Cantoneira soldada numa das pernas centrais, servido como trilho para rolamentos.

Criou-se, ainda recorrendo ao processo de soldadura, uma armação para ser inserida no interior da estrutura com formato retangular e com 4 rolamentos centrados em cada face de forma a percorrerem os trilhos criados pelas cantoneiras, que funcionará como uma grelha de suporte para tecnologias a aplicar futuramente. Para a aplicação dos rolamentos, necessitou-se de criar um método de fixação, recorrendo também a todos os processos referidos até agora. As Figuras 46 e 47 seguintes mostram a armação para os rolamentos e este inseridos nesta.



Figura 46. União de fixação para os rolamentos.



Figura 47. Rolamento inserido na sua união de fixação.

5.2.3 Acabamentos

Os sistemas de revestimento por pintura são variados, dependendo do tipo de proteção que se pretende efetuar. Uma vez terminado o processo de criação dos componentes metálicos, necessitou-se de proteger por pintura as peças, pelo que para isso utilizou-se tinta de secagem rápida de cor cinza escura, sendo esta aplicada em spray e com recurso a um

compressor. Misturou-se a tinta com diluente para um melhor refinamento da tinta e consequente melhor aplicação. As Figura 48 e Figura 49 ilustram o processo de pintura que foi executado e o “amontoar” das peças para que estas secassem depois de pintadas.



Figura 48. Processo de pintura dos componentes.



Figura 49. Peças a secar após o processo de pintura.

5.3 Implementação e montagem

5.3.1 Ligações

Definiu-se inicialmente, na fase do projeto que as ligações entre componentes metálicos seriam efetuadas por recurso a ligações aparafusadas.

As ligações aparafusadas apresentam-se como uma forma muito eficiente de conexão entre peças constituintes de uma estrutura metálica. Existe uma série de recomendações práticas que devem ser seguidas no projeto de ligações aparafusadas, das quais se destacam:

- O dimensionamento dos parafusos deve ser feito, tendo em conta a minimização da variabilidade das suas características, tanto dimensionais, como resistentes, prevenindo a repetição do elemento nas várias ligações a executar. Este cuidado minimiza a ocorrência de erros de pormenorização das ligações, numa fase prévia, e de montagem, posteriormente;
- O tipo de ligações (chapas, encaixes, etc.) deve ser padronizado, sempre que possível, tendo como objetivo a diminuição de erros e aumento de produtividade de execução;
- Os elementos de ligação (parafusos, porcas, anilhas) devem ser fornecidos pelo fabricante com proteção anticorrosiva, evitando a proteção em obra, cuja execução é mais difícil e de pior acabamento;
- Os elementos de ligação devem ser racionalizados e acondicionados, pois são peças de reduzidas dimensões que se perdem com facilidade em obra.

O método de aperto de parafusos de maior aplicação na construção metálica é descrito em seguida, sendo esse método o:

Aperto por torção

O aperto é assegurado por uma chave de torção caracterizada pela sua fácil calibração e manuseamento, como ilustra a Figura 50. O processo é dividido em duas fases de aperto, em

que na primeira é executado 75% do valor de torção estipulado e uma segunda fase em que é aplicado 110%.

Este método consiste na forma de aperto mais utilizada, devido à fácil e rápida execução[31]. É destinado a parafusos de diâmetro inferior a 30mm.

Deve ser contabilizada a perda de tensão no parafuso, que pode atingir 30% do esforço de torção aplicado no aperto. Este facto pode tornar-se problemático, já que esta perda pode originar afrouxamentos de aperto com o decorrer do tempo

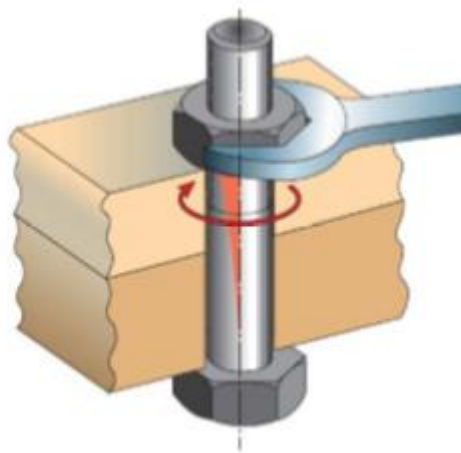


Figura 50. Esquema representativo de aperto por torção. Está também representado o diagrama de tensões residuais no parafuso [31].

Acrescenta-se ainda a possibilidade de o aperto originar tensões de flexão no parafuso, devido aos seus defeitos geométricos, como é o caso do eixo do parafuso não ser exatamente perpendicular ao plano definido pela rotação de aperto. No entanto estas tensões não devem ser contabilizadas, devido aos seus valores muito reduzidos.

O aperto por torção pode originar dificuldades de desaperto dos parafusos, sendo isto ainda agravado pela corrosão das peças.

Deve ainda ser referido que existem outros equipamentos que executam este tipo de aperto, de mais fácil utilização, já que permite menor esforço físico do operador como é o caso de chaves desmultiplicadoras e chaves de aperto hidráulico.

Como já foi referido anteriormente, a forma como as ligações estão criadas são todas iguais nas ligações laterais, onde os componentes em forma de L se ligam entre si, com é demonstrado na Figura 51, onde podemos verificar 4 componentes em L a ligarem-se perfeitamente entre si, sendo que 2 estão cravados numa das pernas de suporte e os outros 2

estão cada um deles cravado na sua barra de ligação lateral. Já no caso da Figura 52, está representada a ligação efetuada numa das pernas centrais, onde, foi inserida por soldadura uma das peças anteriormente descritas como união das peças centrais, e os componentes em forma de L estão ligeiramente cravados fora do tubo, para assim se unirem na perfeição no centro do tubo central.



Figura 51. Ligações aparafusadas num dos cantos.



Figura 52. Ligações aparafusadas numa das pernas centrais.

Já na Figura 53, abaixo representada, estão exemplificadas as fixações da estrutura efetuadas tanto na base da estrutura (tanque) como no topo da estrutura (teto da sala de aula) com recurso a buchas metálicas e respetivos parafusos de ajuste.



Figura 53. Ligações aparafusadas nas estruturas maciças por buchas metálicas.

5.3.2 Equipamentos necessários

Para a construção de estruturas metálicas em altura deve ter-se em consideração se necessário, equipamentos pesados para auxiliar na elevação dos materiais, como é o caso de guias, empilhadores e plataformas elevatórias.

No caso da estrutura em estudo, não se utilizou equipamentos de suporte, em primeiro porque esses equipamentos não existiam em contexto escolar, mas também porque o peso dos materiais pode ser considerado não muito elevado. De qualquer forma as peças possuem um peso considerável para 1 ou 2 pessoas apenas, pelo que foi necessário apoio de outras pessoas.

Foi ainda requisitada a montagem de uma prancha de 4 m de altura para auxílio na montagem em altura, assim como um escadote de 9 m. Foi ainda utilizado um sistema de cintas de segurança e um capacete a utilizar em altura. Necessitou-se também de uma máquina de furar pedra e um berbequim para aperto ou ajuste metálicos. Para assegurar uma

esquadria e certificar que a estrutura ficaria alinhada e aprumada utilizou-se fita métrica e nível de bolha de ar (Figura 54).



Figura 54. Nível de bolha de ar [32].

5.3.3 Conclusões

Neste capítulo procurou-se descrever e caracterizar a fase de criação, montagem e de fixação da estrutura metálica concebida, no que diz respeito aos processos e equipamentos utilizados. Numa forma pormenorizada tentou-se descrever e enquadrar as dimensões das peças criadas, as técnicas que se utilizaram em cada passo e demonstrar os resultados reais.

Concluiu-se que este foi um processo demorado pois foi necessário adquirir conhecimentos, capacidades e aprimorar técnicas que permitiram a criação das componentes integrantes da estrutura desde a matéria prima até ao produto final pretendido.

Concluiu-se ainda que o tamanho de determinadas peças e o seu peso, apresentou uma grande dificuldade no seu manuseamento em contexto laboratorial e na sua aplicação final no local designado.

Com o termino de todas as peças e com os equipamentos necessários foi-se criando uma montagem, tendo em conta as instruções de criação. De considerar que devido à grande dimensão de algumas peças e alguns erros passíveis no processo de fabrico foi necessário corrigir alguns pequenos erros ao longo do processo de montagem. Na Figura 55, podemos observar a estrutura na sua versão final vista a alguma distância pois, no seu total a estrutura alcança uma altura de 6m, o que dificulta o detalhe nas imagens da construção final.



Figura 55. Vista completa da estrutura terminada aplicada no tanque.

Pode-se ainda verificar, na Figura 56, a forma como a estrutura foi posicionada e fixada sobre o tanque (já remodelado), com uma vista interior, sendo que as pernas foram fixadas a uma distância equidistante e tentou-se colocar todos os componentes nivelados por forma a minimizar os erros. Verifica-se ainda a forma como os rolamentos da estrutura interior se posicionam nas calhas guia. Guias estas que controlaram os movimentos de subida e descida como carris. A plataforma elevatória interior está concebida de forma a uma mais fácil adaptação ao pretendido posteriormente, sendo que, posteriormente podem ser aplicadas grades, grelhas ou barras metálicas para fazer o suporte e funcionamento desejado.



Figura 56. Vista final da parte interior da estrutura (tanque e grelha).

6 Conclusões e Considerações

O conteúdo desta dissertação de mestrado, consiste numa abordagem a todo o processo de execução de uma estrutura metálica, desde a sua projeção, conceção e montagem em local previamente designado.

Ao realizar este projeto teve-se em conta a tentativa de transmitir que as fases ou etapas integrantes de qualquer projeto de construção metálica não devem ser estanques, devendo existir uma complementaridade entre processos, permitindo que decisões tomadas em determinadas fases tenham em conta as condições das fases seguintes.

Distinguem-se no processo de construção de uma estrutura metálica, três estados fundamentais: Projeto, Fabrico/Conceção da estrutura, Montagem.

Na fase de projeto criou-se uma estrutura adequada às condições que nos foram apresentadas e que cumprisse com o que fora proposto, concluindo-se com recurso a análises estruturais que esta reunia as condições necessárias à sua instalação. Esta fase é de relevante importância para todos os tipos de construção em engenharia, uma vez que é nesta fase que se estudam e analisam todas as condições impostas e respostas necessárias a serem dadas para se obter no resultado final, exatamente o que se pretende.

Na engenharia moderna e acompanhado a evolução das tecnologias é-nos permitido criar modelos mais precisos com recursos a diversos programas de suporte e assim diminuir a probabilidade de erros. Este aumento de precisão contribui para uma maior eficiência do projeto, o que implica uma diminuição do tempo de construção e permite-nos ainda ser mais precisos nas quantidades de materiais necessários e diminuir o número de sucatas/desperdícios de materiais.

Considerou-se essencial a abordagem aos processos de fabrico envolvidos na fase de fabrico da estrutura, sabendo que o conhecimento e domínio dos processos de fabrico na indústria metalomecânica é de índole essencial não apenas na ótica do operário, mas também do Engenheiro, pois o conhecimento dos projetistas das limitações e dificuldades dos processos reduz as complicações no fabrico.

Estes processos normalmente envolvem maquinaria industrial ou de construção, e é exigido um correto manuseamento dos equipamentos. O incorreto manuseamento da maquinaria presente no ambiente laboratorial ou técnicas aplicadas incorretamente podem ter consequências graves para a saúde dos utilizadores. No sentido de minimizar os erros de utilização e os riscos de acidente foi necessário estudar e aprender como funcionar com cada aparelho em cada estágio, as técnicas implícitas e precauções a tomar.

Na fase de conceção do projeto ou criação das peças, a dada altura verificaram-se algumas contrariedades no que diz respeito ao contexto laboratorial, onde determinadas peças se tornaram demasiado pesadas para um fácil manuseamento quer dentro do laboratório, quer para 1 pessoa apenas. Tendo em conta as dimensões e o peso considera-se em projetos futuros semelhantes a existência de mais elementos na execução. Este processo de fabrico de peças metálicas revelou-se demorado, não apenas pelas dificuldades de fabrico com que o executante se deparou, devido à sua falta de conhecimentos de maquinaria e práticas de manuseamento muito básicas, mas também como foi referido ao longo desta dissertação devido a uma alteração que foi realizada no tanque onde a estrutura foi aplicada.

Esta alteração considerou-se necessária para um melhor dimensionamento do tanque e para um aumento nos volumes disponíveis, contudo sendo que a construção metálica já tinha sido iniciada, algumas peças ficaram obsoletas e foi necessário atualizar algumas dessas peças já criadas. Esta remodelação foi efetuada por uma empresa de construção civil externa o que implicou um tempo de espera para que a obra fosse realizada.

Na atualização das peças foi necessário redimensionar as peças já existentes, uma vez que as dimensões iniciais e finais do tanque eram diferentes, sendo que para isto em alguns casos foi mesmo necessário cortar e adicionar tamanho em algumas peças já criadas.

Caracterizou-se a montagem em contexto escolar da estrutura metálica, descrevendo-se o material necessário e equipamentos requisitados para a correta instalação dos determinados componentes da estrutura metálica. Caracterizou-se ainda o tipo de ligações efetuadas na instalação, em específico as ligações aparafusadas.

O planeamento e alocação dos meios auxiliares para elevação assumem uma importância elevada para a gestão de obra, pois o seu correto dimensionamento facilita questões de logísticas futuras.

Ao longo de todo o processo foram ainda estudados os materiais ainda necessários para que a plataforma exerça o seu propósito, desde materiais para a elevação da plataforma

interior, ao grupo pico-gerador de energia, sendo estes aspetos mais técnicos e de delicada decisão.

Para a elevação da estrutura procurou-se um motor capaz de elevar 1000 kg e cabos de aço para suportar o peso, ligando estes à plataforma interior (em forma de pirâmide) e ao motor. Esta plataforma interior está preparada para suportar um grupo pico-gerador. Para a criação deste circuito procurou-se encomendar algum material tal como um reservatório de água, turbina e gerador.

A turbina hidráulica corresponde a uma parcela muito significativa do custo de uma pico-hídrica, pelo que a sua escolha criteriosa se reveste de particular importância. Sendo que em aproveitamentos de muita pequena potência tem-se proposto a utilização de bombas de funcionando em sentido inverso, como turbinas. Estas apresentam a impossibilidade de adaptação ao caudal limitação ao pretendido.

A escolha do conversor mecanoeléctrico para equipar uma central hídrica depende das especificações impostas à turbina, no que diz respeito a rendimento, velocidade nominal e de embalamento, constante de inércia, tipo de regulação, entre outros.

6.1 Perspetivas de desenvolvimentos futuros

Devido ao carácter transversal, não foi possível nesta dissertação o desenvolvimento pormenorizado de todos os temas envolvidos na construção metálica e de todas as técnicas envolventes nos processos de fabrico bem como comparar as situações mais aconselháveis a cada processo e diferenças nos seus resultados.

A investigação na área da construção metálica envolve temas muito diversificados, tais como os relacionados com o comportamento sísmico, comportamento material, processos de fabrico, incluindo corte, soldadura e outros, tecnologias de montagem, sistemas de proteção ao fogo e anticorrosiva, durabilidade, entre muitos outros.

Sendo vasta a lista de temas que se poderiam indicar para desenvolvimentos futuros, considera-se, que a mais importante seria a instalação de um grupo pico-gerador para produção de eletricidade e com este permitir a realização de testes e validações dos mesmo com variações de alturas de queda de água e caudais variados, pois a estrutura foi projetada nesse sentido. Neste sugere-se uma equipa multidisciplinar, pois considera-se a instalação do

grupo gerador de energia e o grupo que permita movimentar a plataforma (motor, cabos de aço e gancho.)

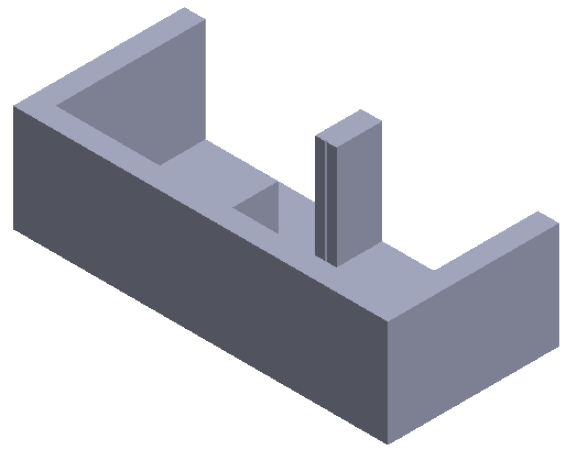
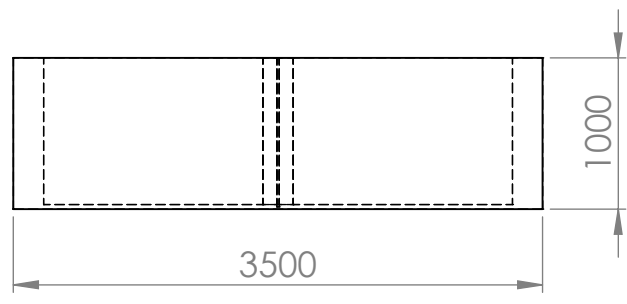
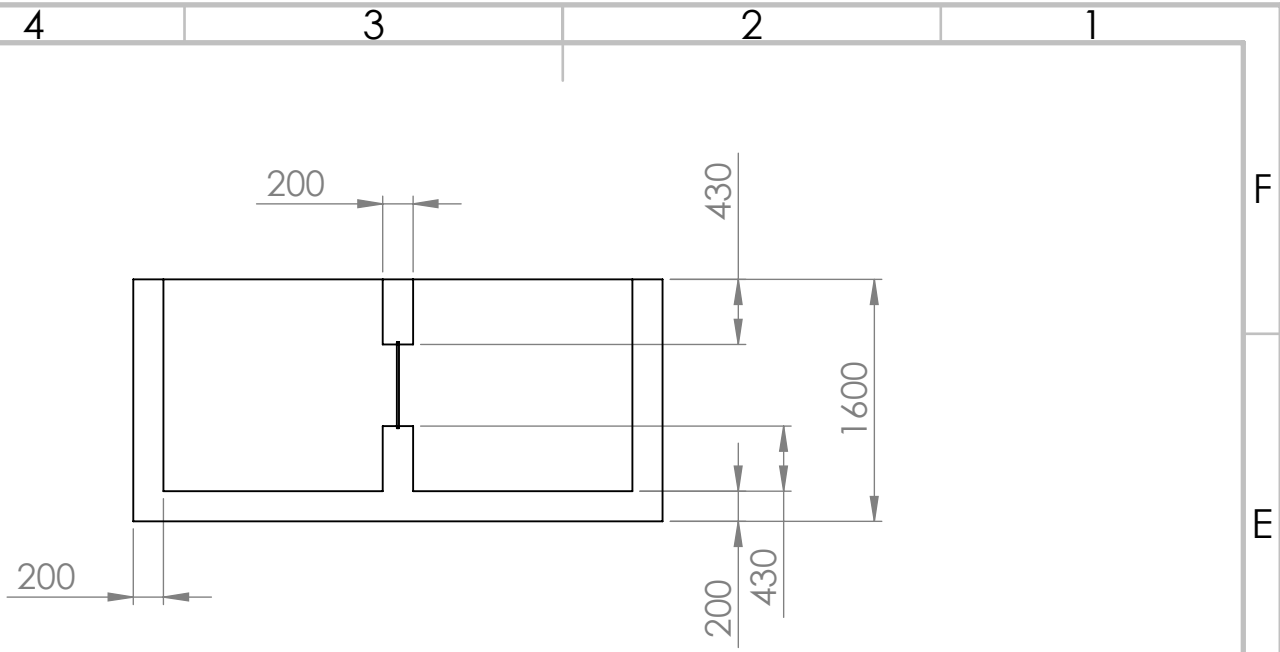
Referências bibliográficas

- [1] J. Ramage, *Guia da Energia*, 1ª. Lisboa, 2003.
- [2] EDP, “Conheça a Origem da Energia,” 2017. [Online]. Available: [https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/origem-energia/?sector=Residenciais e pequenos neg%C3%B3cios&year=2017&period=2](https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/origem-energia/?sector=Residenciais_e_pequenos_neg%C3%B3cios&year=2017&period=2).
- [3] R. Castro, *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica*, 1º Edição. 2011.
- [4] “energia (física) in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2017. [consult. 2017-11-09 01:49:42]. Disponível na Internet: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$energia-\(física\)](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$energia-(física)).” .
- [5] F. Rodrigues and G. Dias, “Energias Alternativas,” IPB.
- [6] Q. e APREN, “Nатурlink,” 2015. [Online]. Available: <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=20&cid=86592&bl=1>. [Accessed: 12-Jul-2017].
- [7] S. Antunes, “Portugal é dos países que mais energias renováveis consome na Europa,” *jornaldenegocios*, p. 1, 2017.
- [8] Eurostat, “Renewable energy in the EU,” p. 1, 2017.
- [9] EDP, “A origem da energia elétrica,” 2017. [Online]. Available: <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>.
- [10] PortalEnergia and Energias Renovaveis, “Energia Eólica,” 2016. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/energia-eolica/>. [Accessed: 12-Sep-2016].
- [11] F. Arantes, “Energia Eólica,” IPB, 2016.
- [12] Blog sobre Energia Solar em Portugal, “O que é a Energia Solar e como funciona | Blog Energia Solar,” 2011. [Online]. Available: <http://www.energia-solar.com.pt/o-que-e-a-energia-solar-e-como-funciona/#more-4>. [Accessed: 15-Sep-2016].

- [13] PortalEnergia and Energias Renováveis, “Energia ondas e marés,” 2016. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/ondas-e-mares/>. [Accessed: 22-Sep-2016].
- [14] C. M. do Seixal, “Moinho de Maré de Corroios,” 2017. [Online]. Available: <http://www.cm-seixal.pt/ecomuseu-municipal/moinho-de-mare-de-corroios>.
- [15] PortalEnergia and Energias Renováveis, “Energia Geotérmica e o calor da terra,” 2016. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra/>. [Accessed: 27-Sep-2016].
- [16] PortalEnergia and Energias Renováveis, “O que é a energia da Biomassa,” *O que é a energia da Biomassa*, 2016. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/biomassa-residuos-organicos/>. [Accessed: 21-Sep-2016].
- [17] P. das E. Renováveis, “Hídrica,” 2017. [Online]. Available: http://energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=22&ID_area=5&ID_sub_area=14. [Accessed: 06-Oct-2017].
- [18] P. das E. Renováveis, “Hídrica,” 2009. [Online]. Available: http://energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=23&ID_area=5&ID_sub_area=14. [Accessed: 24-Sep-2007].
- [19] Danilo, “Energia Maremotriz,” 2016. [Online]. Available: <http://saberenemquimicaefisica.com.br/wp/energia-maremotriz/>.
- [20] LNEC, “M/120 - PRODUTOS PARA ESTRUTURAS METÁLICAS,” 2017. [Online]. Available: http://www.lnec.pt/fotos/editor2/QPE/mandato_120.pdf. [Accessed: 21-Jun-2017].
- [21] L. A. Dias, *Estruturas de Aço - Conceitos, Técnicas e Linguagem*. São Paulo, 1997.
- [22] P. Guedes, *Metrologia Industrial*. Lisboa, 2011.
- [23] Reguaonline, “Paquímetro,” 2012. [Online]. Available: <http://paquimetro.reguaonline.com/>. [Accessed: 08-Oct-2017].
- [24] SENAI, “Metrologia.” [Online]. Available: http://bmalbert.yolasite.com/resources/Telecurso_2000_-_Metrologia.pdf. [Accessed: 08-Oct-2017].
- [25] V. Antenor, “No Title,” Minas Gerais, 2015.
- [26] J. Mascarenhas, *Sistemas de Construção - VIII*, 1^a. 2006.

- [27] J. Ribeiro, “Processos de Fabrico,” Bragança.
- [28] J. Ribeiro, “Soldadura,” Bragança.
- [29] L. Ramalho and J. Pinto, “Processos de soldagem - acessórios soldagem.” [Online]. Available: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf97UAB/processos-soldagem-acessorios-soldagem>. [Accessed: 08-Oct-2017].
- [30] T. Amorim, “Fundamentos da Validação de Projetos,” *SOLIDWORKS Brasil*, 2016. [Online]. Available: blogs.solidworks.com/solidworksbrasil/2016/11/fundamentos-da-validacao-de-projetos.html. [Accessed: 07-Feb-2017].
- [31] S. Evolution, “Hydraulic bolt tensioners for accurate, safe and secure tightening,” 2017. [Online]. Available: <http://evolution.skf.com/us/hydraulic-bolt-tensioners-for-accurate-safe-and-secure/>.
- [32] E. Amos, “Desconpicando a engenharia,” *Ecivil*. [Online]. Available: <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-nivel-de-bolha.html>.

Anexo A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		09/2016
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:
tanque draw

DWG NO.
0

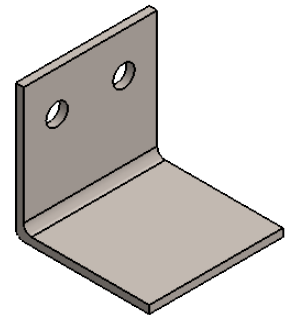
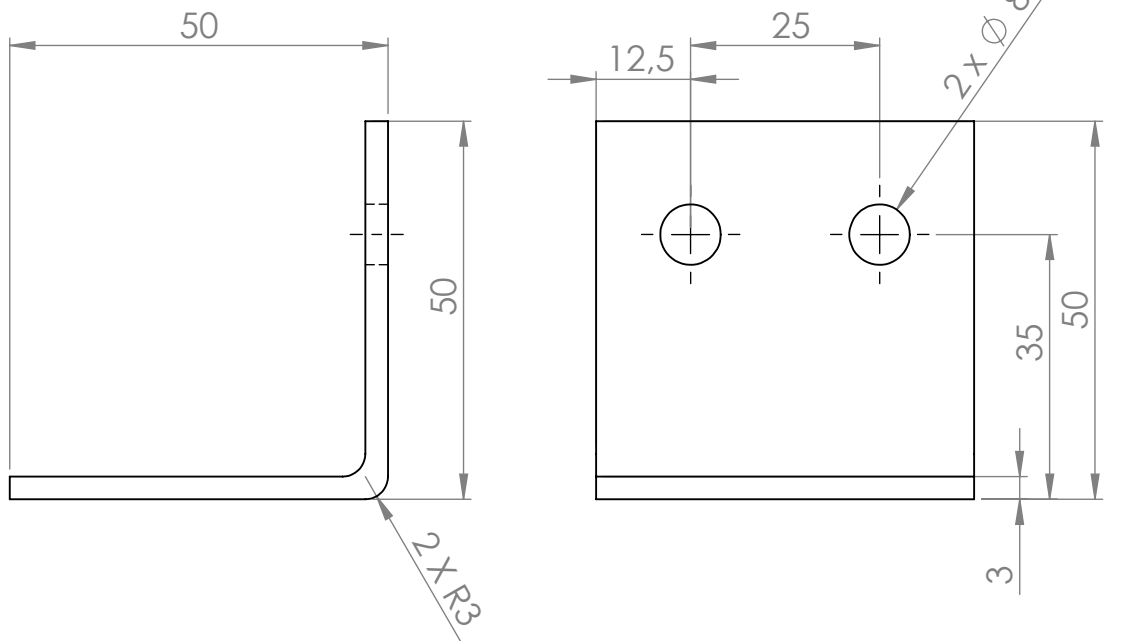
MATERIAL:

WEIGHT:

SCALE: 1:50

SHEET 1 OF 1

Anexo B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

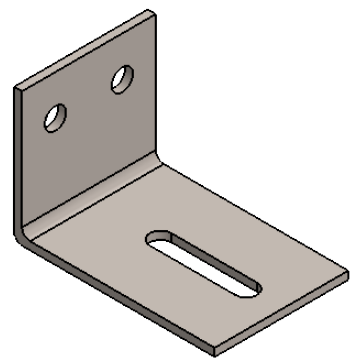
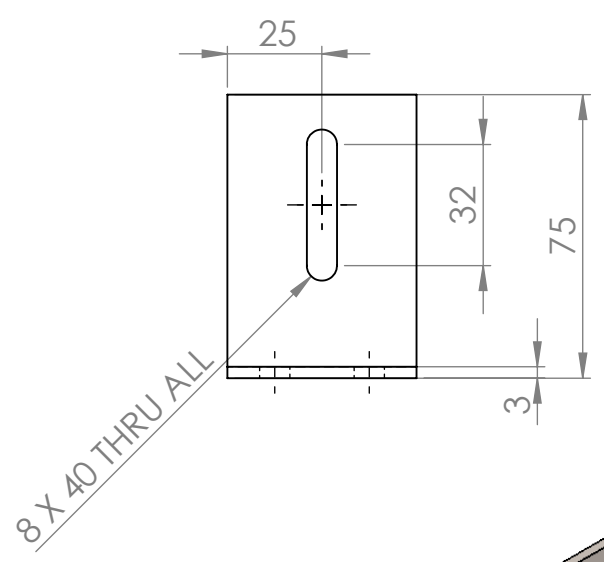
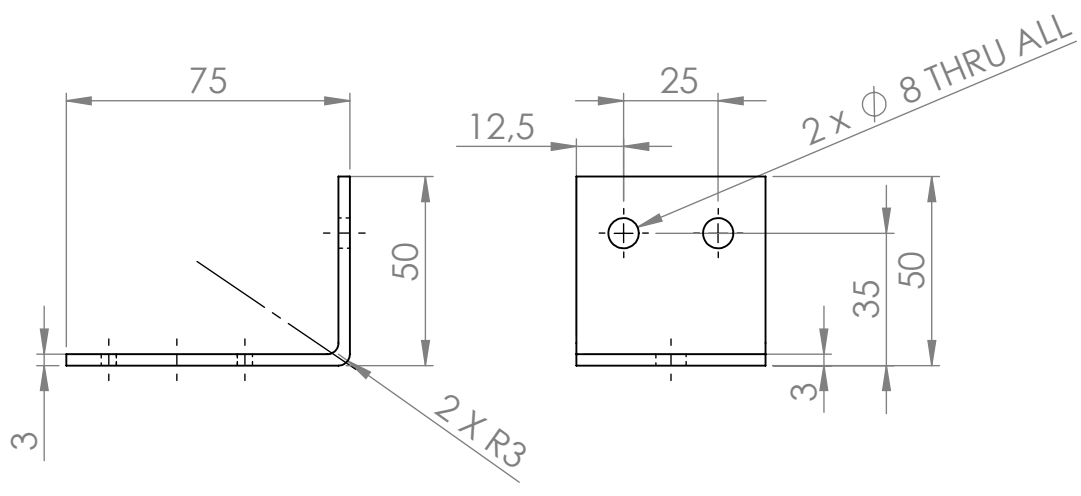
DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

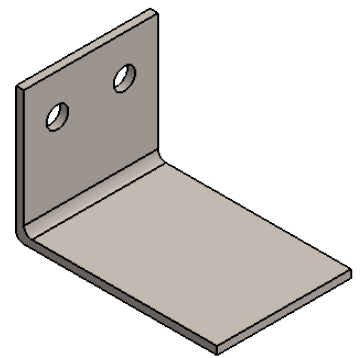
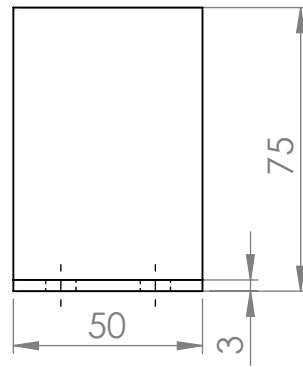
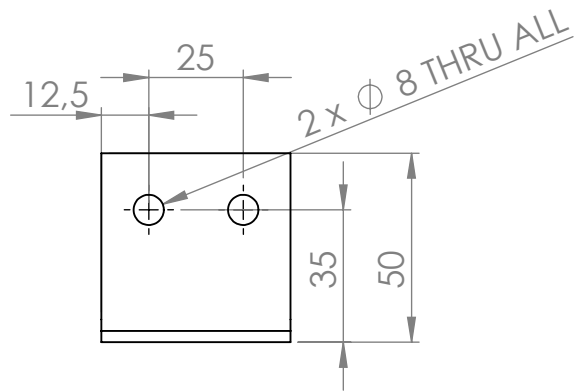
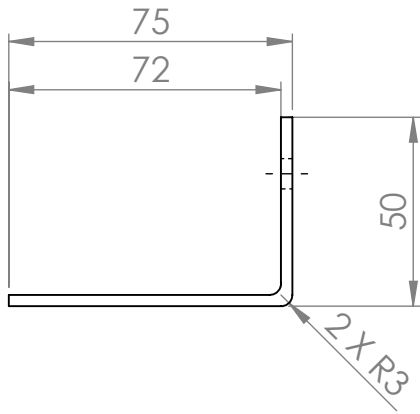
REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Bruno Rocha		10/2017
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE:	<h1>Juntas</h1>	
DWG NO.	<h1>1</h1>	A4
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	
WEIGHT:	113.99g	SCALE: 1:1
		SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE: <h1>Juntas Topo</h1>			
DRAWN Bruno Rocha		10/2017	MATERIAL: AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A			MATERIAL: AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)		DWG NO. <h1>2</h1>	A4
WEIGHT: 136.64g			SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			
MATERIAL:			
AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)			
WEIGHT: 143.99g			

TITLE:

Juntas Meio

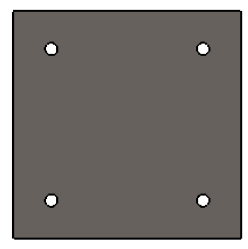
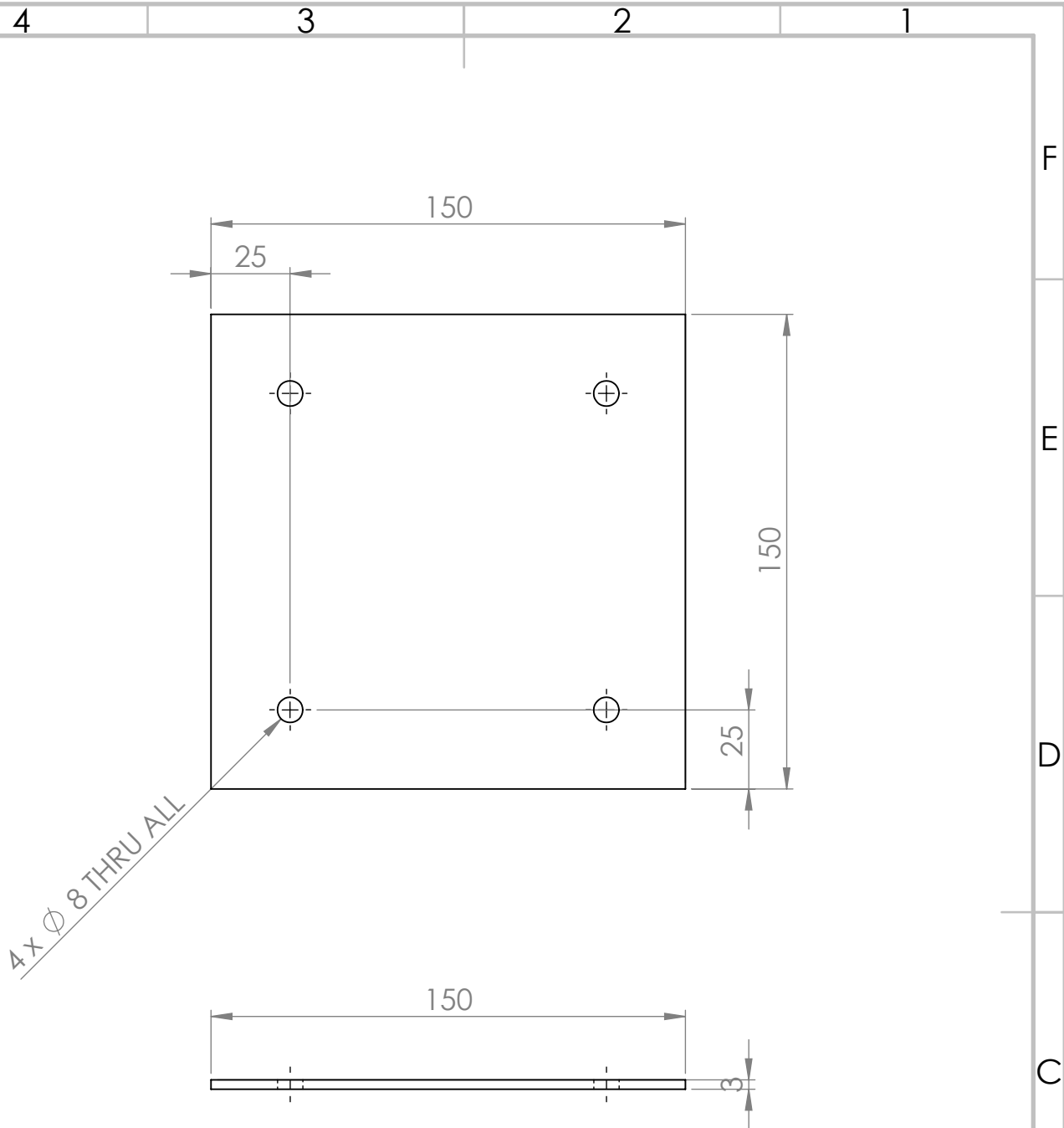
DWG NO.

3

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
Bruno Rocha					10/2017		Base de fix 6x				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		
							AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)		4		
							WEIGHT: 535.17g		SCALE: 1:2		
									SHEET 1 OF 1		

Base de fix 6x

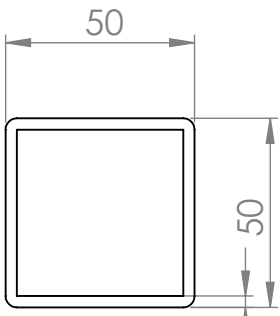
4

A4

4 3 2 1

F

F

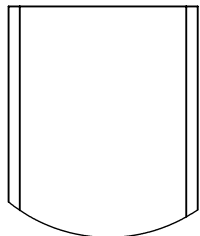


DETAIL A
SCALE 1 : 2

E

E

B



DETAIL B
SCALE 1 : 2

D

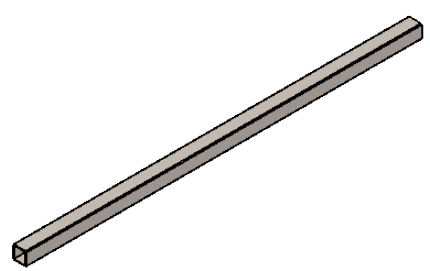
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	<h1>Barra 1525</h1>	
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	DWG NO. <h1>5</h1>
WEIGHT: 6564.04g	SCALE: 1:20	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

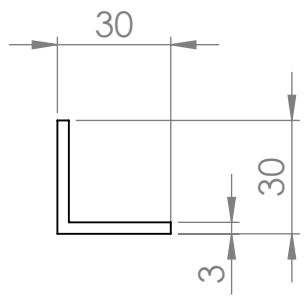
A4

4 3 2 1

F

F

A

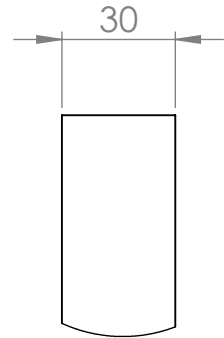


DETAIL A
SCALE 1 : 2

E

E

B



DETAIL B
SCALE 1 : 2

D

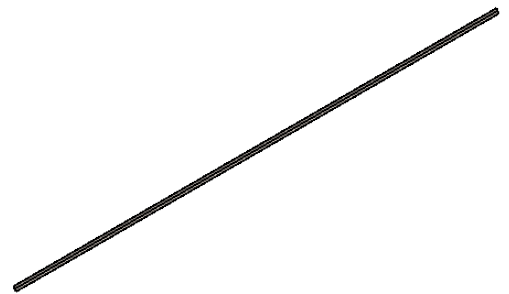
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	<h1>Cantoneira</h1>	
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	DWG NO. 6
WEIGHT: 6156.00g	SCALE: 1:50	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

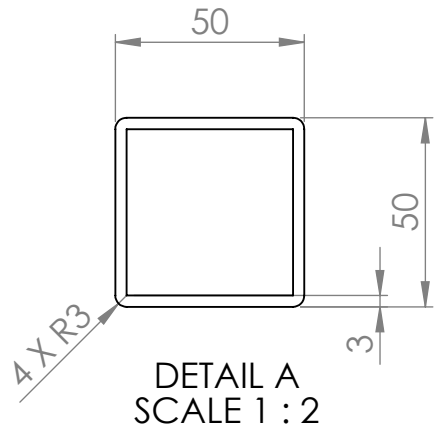
A

A4

4 3 2 1

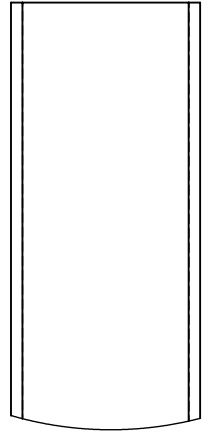
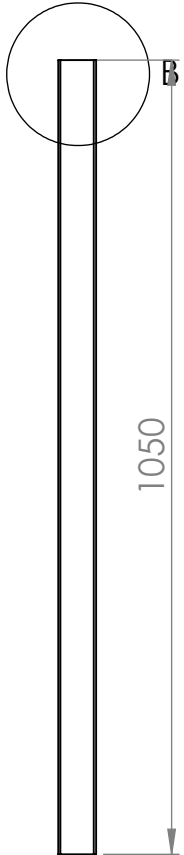
F

F



E

E



D

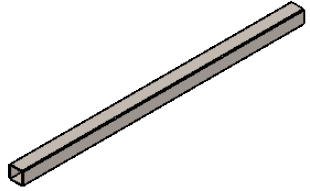
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Bruno Rocha		10/2017
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE: lateral 4x1050
DWG NO. 7
MATERIAL: AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)
SCALE:1:10
WEIGHT: 4672.70g
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

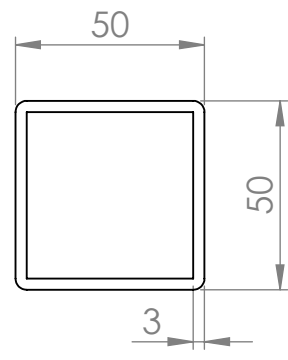
A4

4 3 2 1

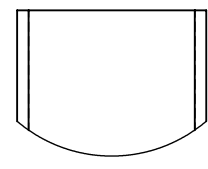
F

F

⊠ A



DETAIL A
SCALE 1 : 2



DETAIL B
SCALE 1 : 2

E

E

D

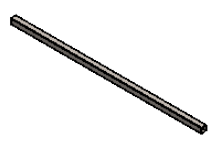
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	uniao frente 4x1775	
DWG NO.		
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	A4
WEIGHT:	7899.10g	SCALE:1:20
		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

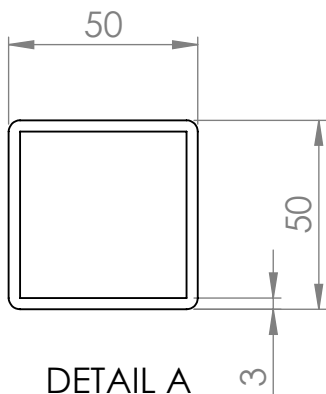
A

4 3 2 1

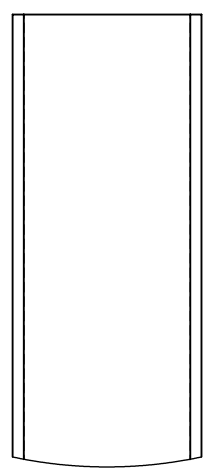
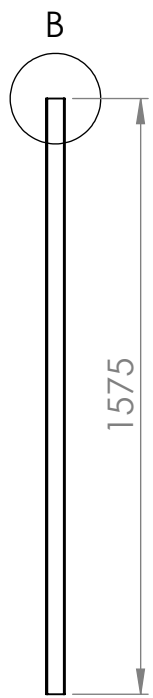
F

F

⊠ A



DETAIL A
SCALE 1 : 2



DETAIL B
SCALE 1 : 2

E

E

D

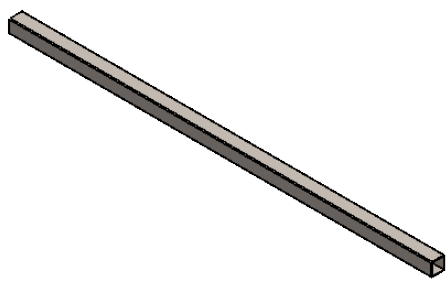
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:
**uniao frente
4x1575**

MATERIAL:
**AISI 347 Annealed
Stainless Steel (SS)**

DWG NO.
9

SCALE: 1:20

WEIGHT: 7009.06g

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

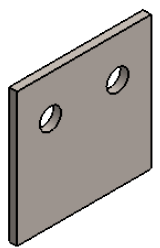
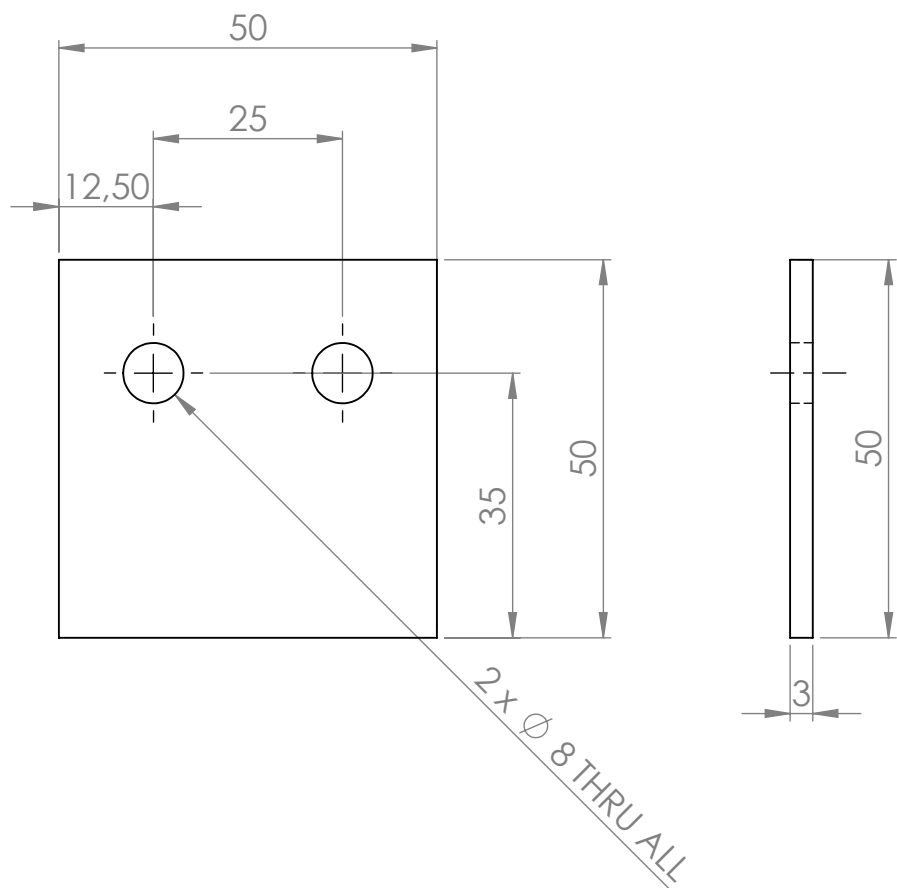
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			
MATERIAL:			
AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)			
WEIGHT: 57.59g			

TITLE:		A4
União das P centrais		
DWG NO.	10	
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

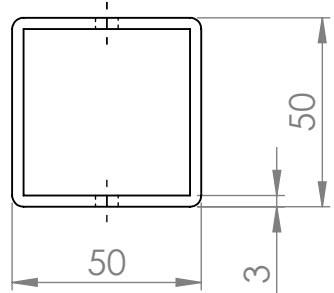
C

C

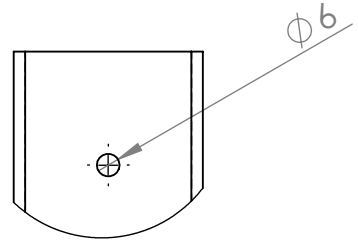
B

B

⊕ A



DETAIL A
SCALE 1 : 2



DETAIL B
SCALE 1 : 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	10/2017		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: **Perna 2x5000**

MATERIAL: **AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)**

DWG NO. **11**

WEIGHT: 22249.62 g

SCALE: 1:50

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

A

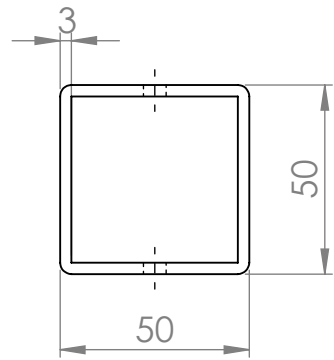
A

4 3 2 1

F

F

⊙ A

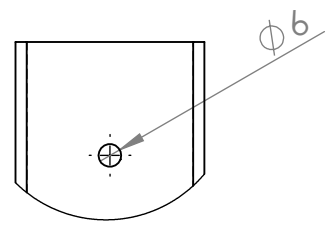


DETAIL A
SCALE 1 : 2

E

E

B



DETAIL B
SCALE 1 : 2

D

D

C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	Perna 2x3830	
DWG NO.	12	A4
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	
WEIGHT:	17042.89 g	SCALE: 1:50
		SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

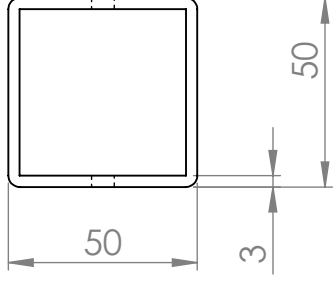
F

F

A

E

E

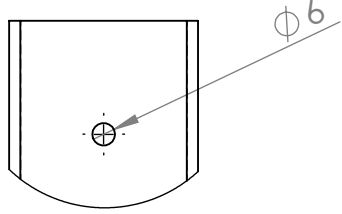


DETAIL A
SCALE 1 : 2



D

D



DETAIL B
SCALE 1 : 2

C

C



B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

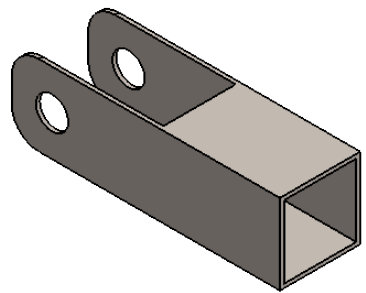
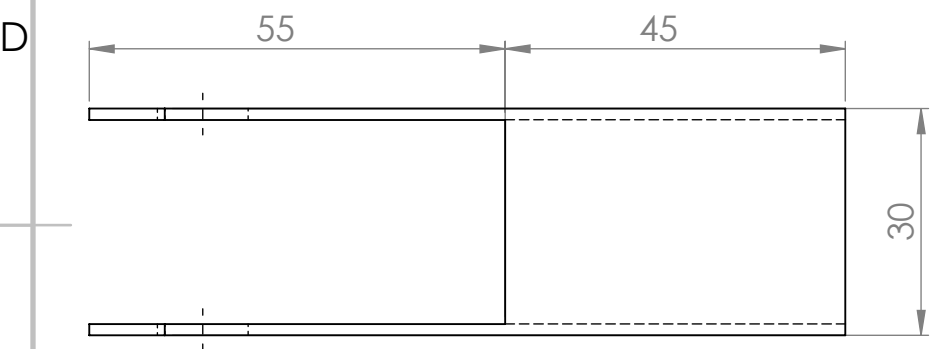
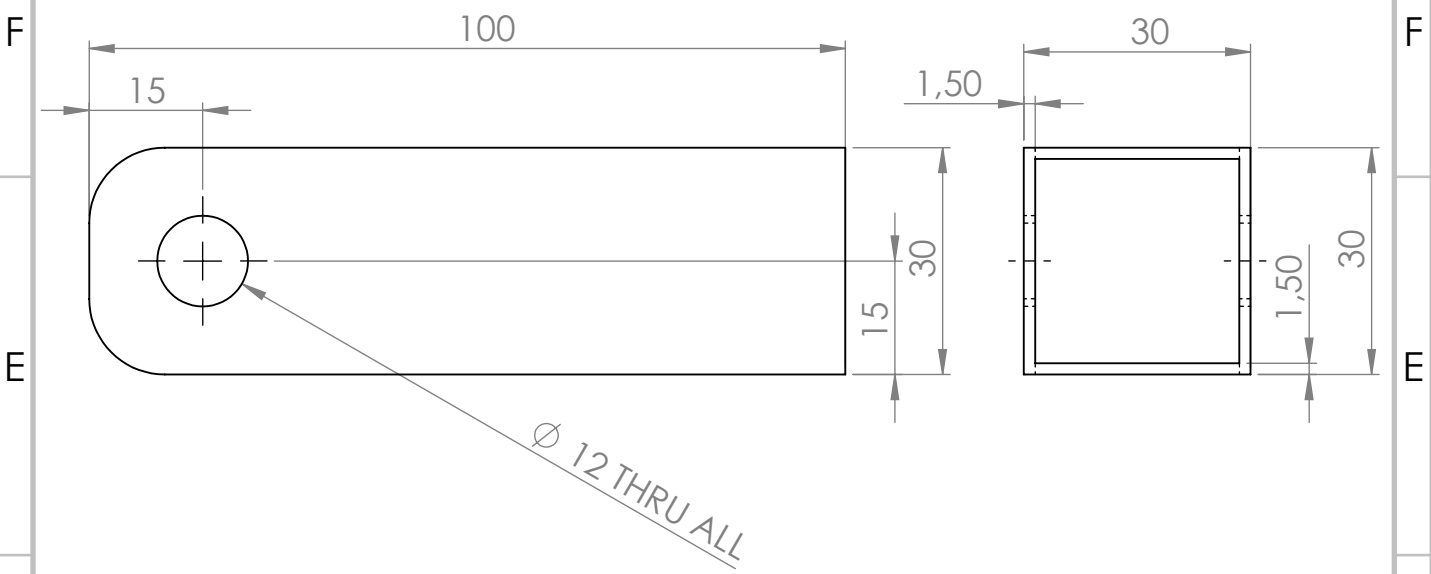
TITLE:	Perna 2x3915	
MATERIAL:	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	DWG NO. 13
WEIGHT:	17421.16 g	SCALE: 1:50
		SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

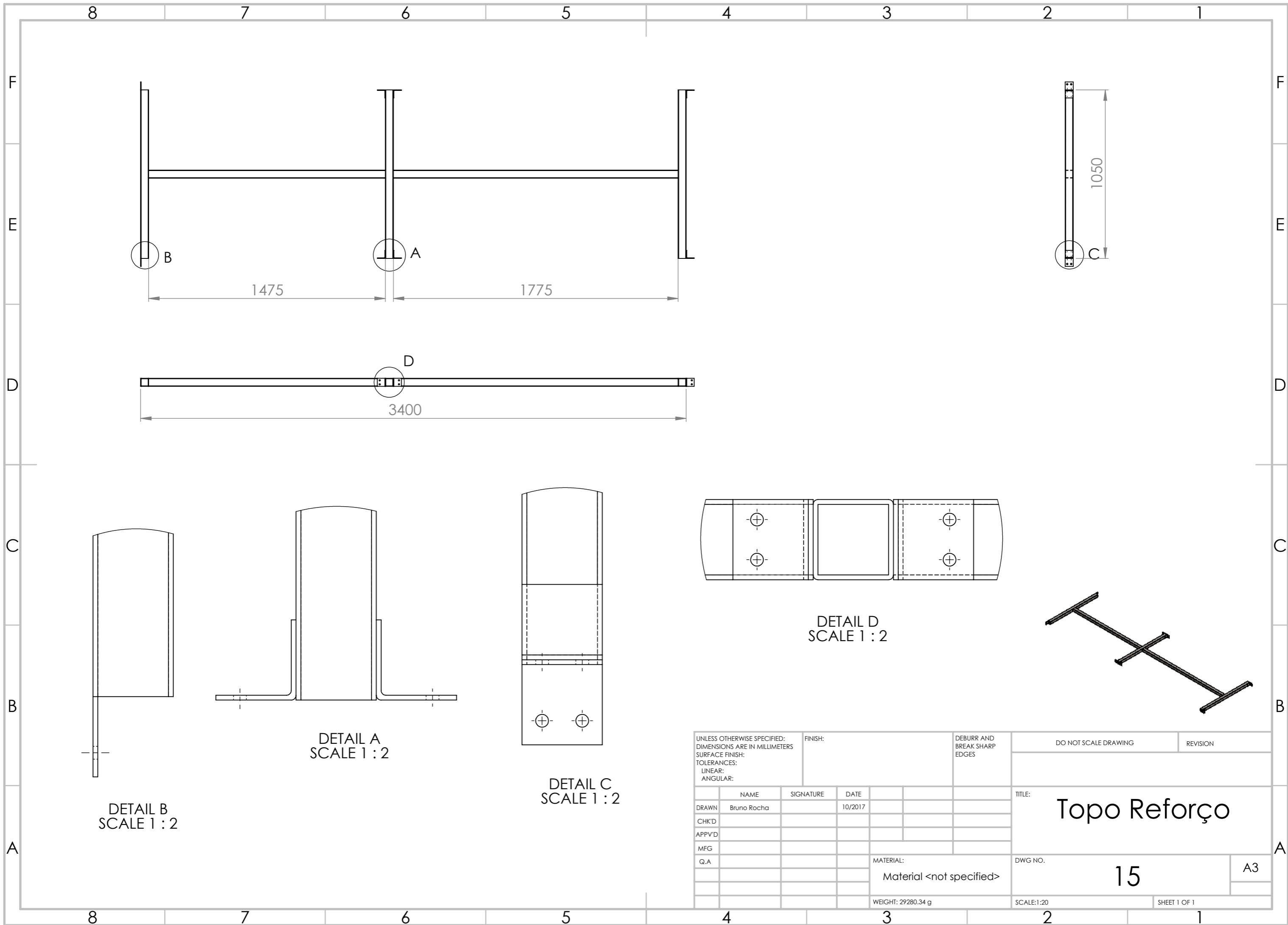


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
Bruno Rocha					10/2017		<h1>Ajuste Rol</h1>				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		
							AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)		14		
							WEIGHT: 97.42g		SCALE: 1:2		
									SHEET 1 OF 1		

4 3 2 1

A

A



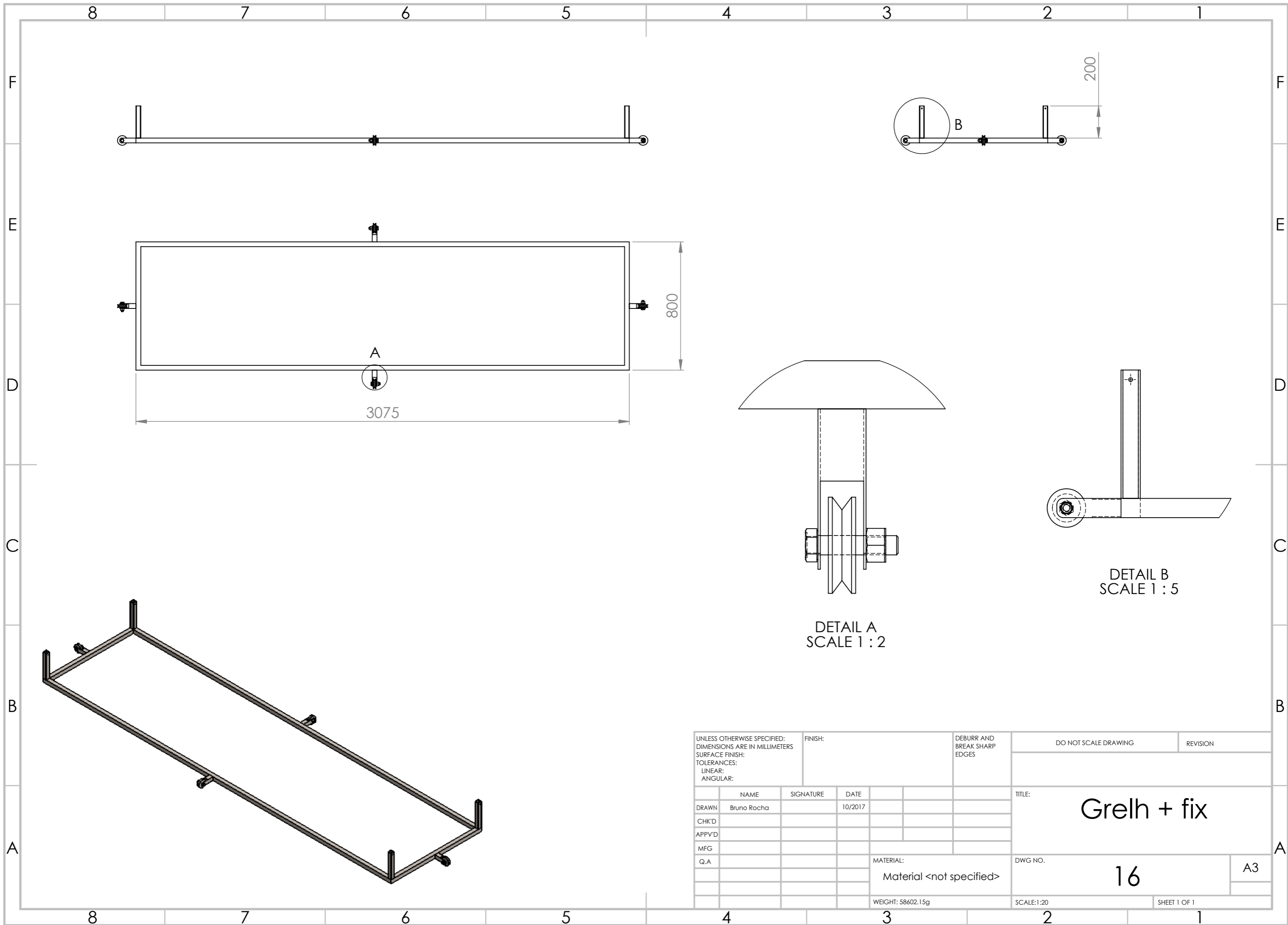
DETAIL B
SCALE 1 : 2

DETAIL A
SCALE 1 : 2

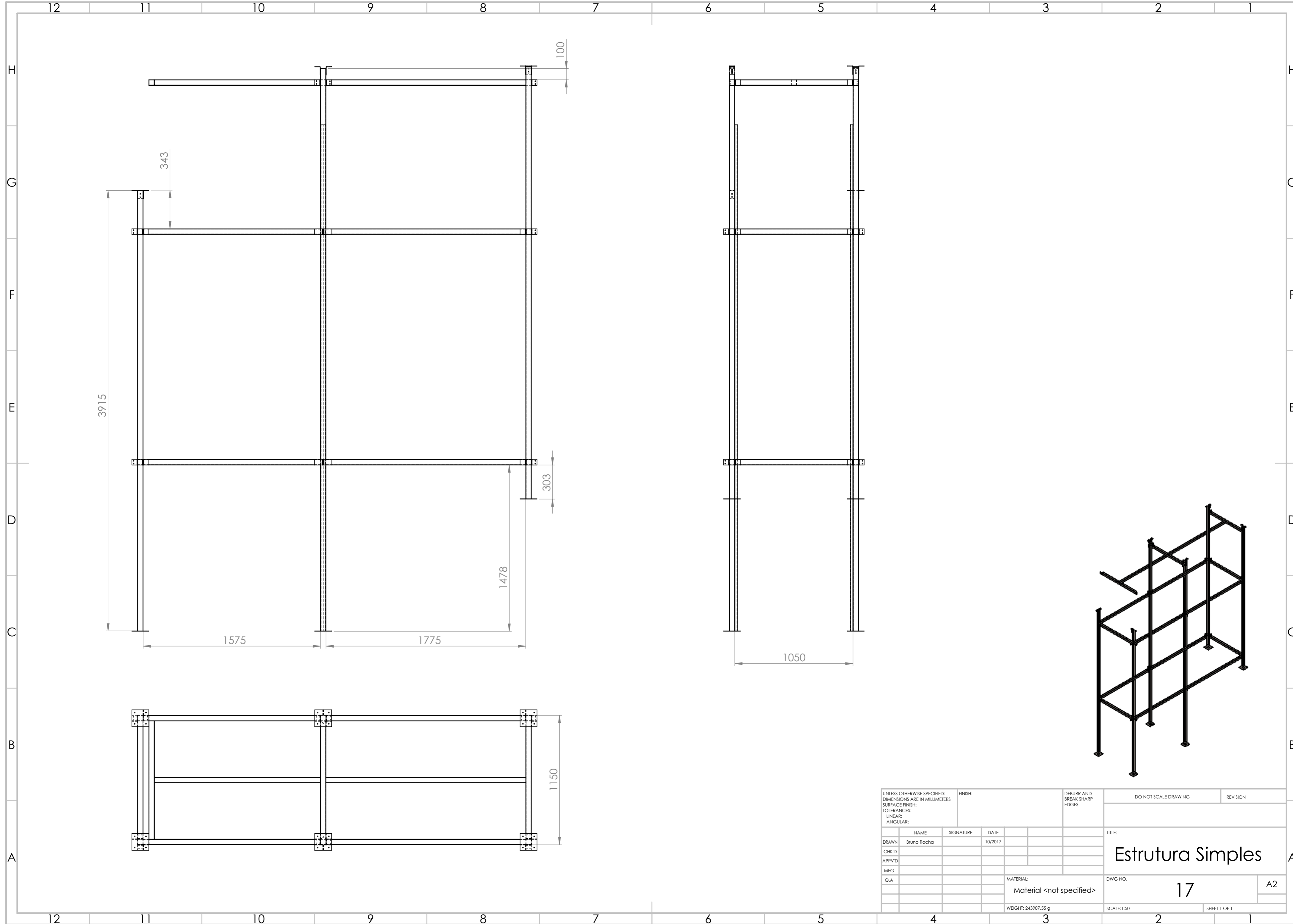
DETAIL C
SCALE 1 : 2

DETAIL D
SCALE 1 : 2

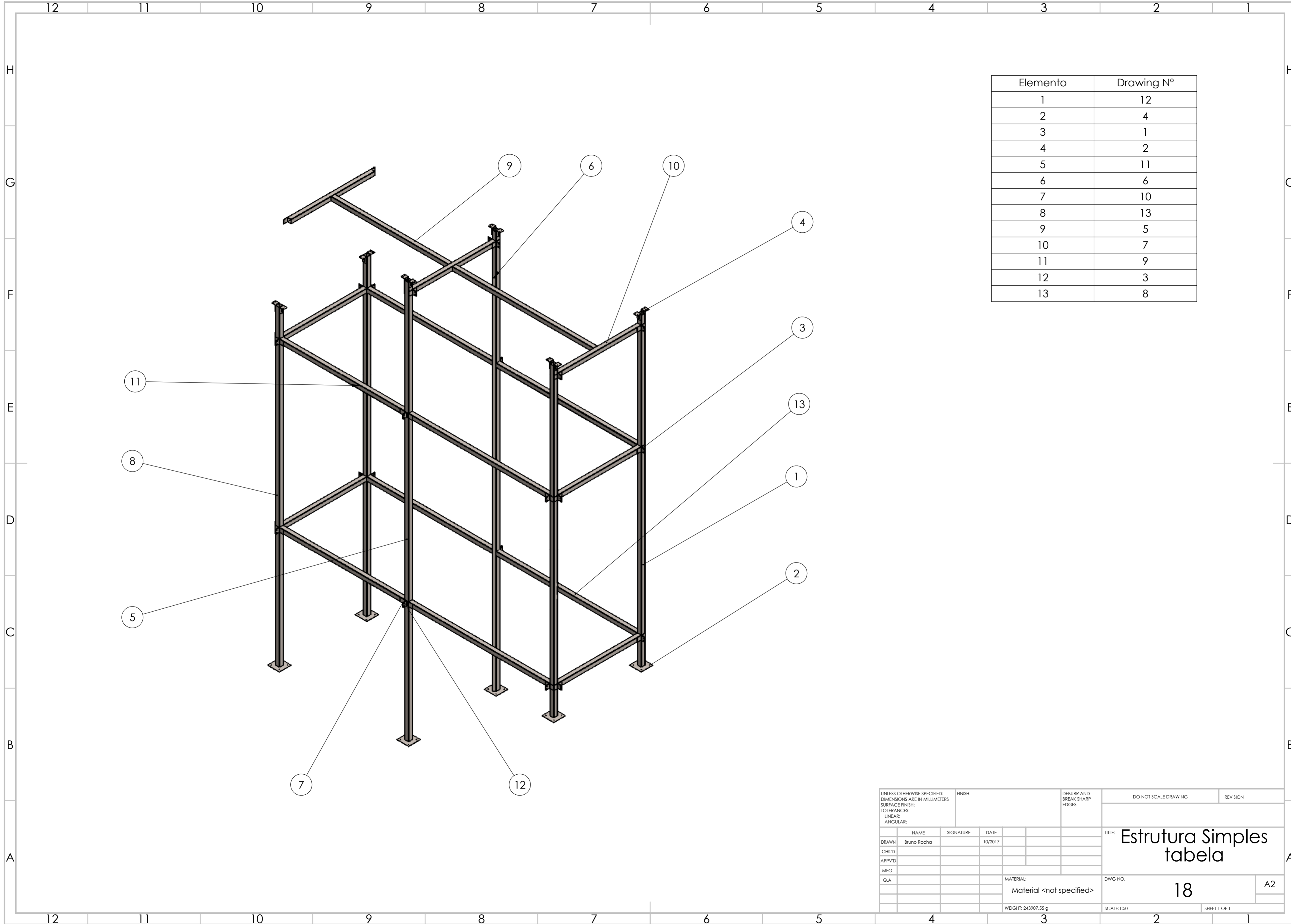
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Bruno Rocha				SIGNATURE		DATE 10/2017		TITLE: Topo Reforço			
CHK'D								DWG NO. 15			
APPV'D								A3			
MFG								SCALE:1:20			
Q.A						MATERIAL: Material <not specified>		SHEET 1 OF 1			
						WEIGHT: 29280.34 g					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Bruno Rocha				SIGNATURE		DATE 10/2017		TITLE: Grelh + fix			
CHK'D								DWG NO. 16			
APPV'D								A3			
MFG								SCALE:1:20			
Q.A						MATERIAL: Material <not specified>		SHEET 1 OF 1			
						WEIGHT: 58602.15g					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:										
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:			
DRAWN	Bruno Rocha		10/2017				Estrutura Simples			
CHK'D							DWG NO.		A2	
APPV'D							17			
MFG							SCALE: 1:50			
Q.A							SHEET 1 OF 1			
							MATERIAL:			
							Material <not specified>			
							WEIGHT: 243907.55 g			



Elemento	Drawing N°
1	12
2	4
3	1
4	2
5	11
6	6
7	10
8	13
9	5
10	7
11	9
12	3
13	8

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:								TITLE: Estrutura Simples tabela			
TOLERANCES:											
LINEAR:								DWG NO. 18 A2			
ANGULAR:								SCALE: 1:50 SHEET 1 OF 1			
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			MATERIAL:					
CHK'D	Bruno Rocha		10/2017			Material <not specified>					
APPV'D											
MFG											
Q.A						WEIGHT: 243907.55 g					