

Capítulo 2

MATERIAL E PROCEDIMENTO NUMÉRICO

2.1 – Introdução

O uso de estruturas tubulares tem crescido significativamente ao longo dos últimos anos, principalmente a partir da década de 70, buscando soluções construtivas que tivessem boa aparência mas que, ao mesmo tempo, fossem resistentes aos mais variados tipos de solicitações. Neste contexto a indústria de carroçarias de autocarros não fugiu à regra.

O nó de uma estrutura trata-se basicamente do ponto de união entre diversas barras de secção tubular através da soldadura, resultando assim num elemento capaz de transmitir os esforços entre barras. Revelam-se assim pontos estruturais vulneráveis, pelo que se torna necessário desenvolver métodos confiáveis para a determinação da força máxima admissível.

A soldadura cria todavia mudanças nas propriedades mecânicas do material junto à ligação, bem como alterações geométricas e/ou imperfeições decorrentes do processo. O efeito destas variações pode ser estudado através de modelos computacionais, utilizando, por exemplo, elementos finitos ou elementos de contorno, ou com recurso aos ensaios experimentais. No entanto os testes em estruturas à escala real acabam por apresentar um custo elevado, além do tempo necessário para a obtenção de um número razoável de resultados. O recurso a modelos reduzidos ou a materiais alternativos poderia ser uma solução, porém gera-se um novo problema que é relacionar os resultados dos testes com o comportamento efectivo dos nós em escala real e em aço.

Deste modo o recurso à análise numérica é frequente, obtendo-se bons resultados associados à rapidez e baixos custos. Contudo a precisão dos resultados em elementos finitos depende substancialmente de vários factores como, por exemplo, a dimensão da malha utilizada, o tipo de elemento e formulação empregue [30].

Embora a análise em elementos finitos seja usada em grande escala para a determinação da resistência estática de nós tubulares de secção circular, ainda existem poucos estudos relativos à modelação de nós em perfis quadrados. Assim este trabalho apresenta um estudo numérico da resistência estática de nós tubulares, para diversos tipos de juntas, onde se comparam os resultados obtidos para os perfis de secção quadrada e circular para as mesmas condições de fronteira e carregamento. Nesta abordagem considerou-se que a intersecção entre os dois tubos é representada apenas por uma linha, não sendo assim

considerado o cordão de soldadura e seu efeito [17]. Os resultados serão tratados em função do factor de concentração de tensões.

2.2 – Caracterização dos Materiais Utilizados

Para a determinação do valor do factor de concentração de tensões considerou-se um material da biblioteca do software utilizado, o aço AISI 304, que possui as propriedades mecânicas ilustradas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Propriedades mecânicas do aço AISI 304.

σ_r [MPa]	σ_c [MPa]	E [GPa]	ϵ_r [%]	ν [-]	HV ₅₀ [kgf/mm ²]
-	206.807	190	-	0.29	-

Um material passível de ser aplicado nas carroçarias é o aço Docol 1000, o qual associa a elevada resistência mecânica às enormes vantagens ambientais. Pelo facto de apresentar elevadas tensões de cedência permite a redução da espessura e a consequente redução de custos ao nível do fabrico, logística e funcionamento. Por outro lado, devido ao peso relativamente baixo das estruturas, conduz a baixos custos de funcionamento dos produtos (vagões, contentores, carroçarias, chassis, etc.) com particular incidência no consumo da energia e nas emissões de escape.

A composição química deste aço encontra-se ilustrada na tabela 2.2 e as suas principais propriedades mecânicas, de acordo com a ficha técnica do fornecedor, encontram-se representadas na tabela 2.3.

As propriedades mecânicas indicadas são obtidas a partir de um recozimento a 750° C ao que se segue um endurecimento através de têmpera em água. Finalmente o aço adquire a sua estrutura final por revenido, onde este é aquecido entre os 200-400° C. Tanto o recozimento como o revenido são efectuados numa atmosfera controlada para evitar que o aço oxide. A sua micro-estrutura contém a fase martensítica, responsável pela dureza, e a ferrite, a fase mais macia, ao que a resistência do aço aumenta com o aumento da percentagem de martensite na micro-estrutura. A proporção de martensite é determinada

pela percentagem de carbono no aço e pelo ciclo de temperaturas que é sujeito no processo de recozimento contínuo.

Tabela 2.2 – Composição química do aço Docol 1000 (% em peso).

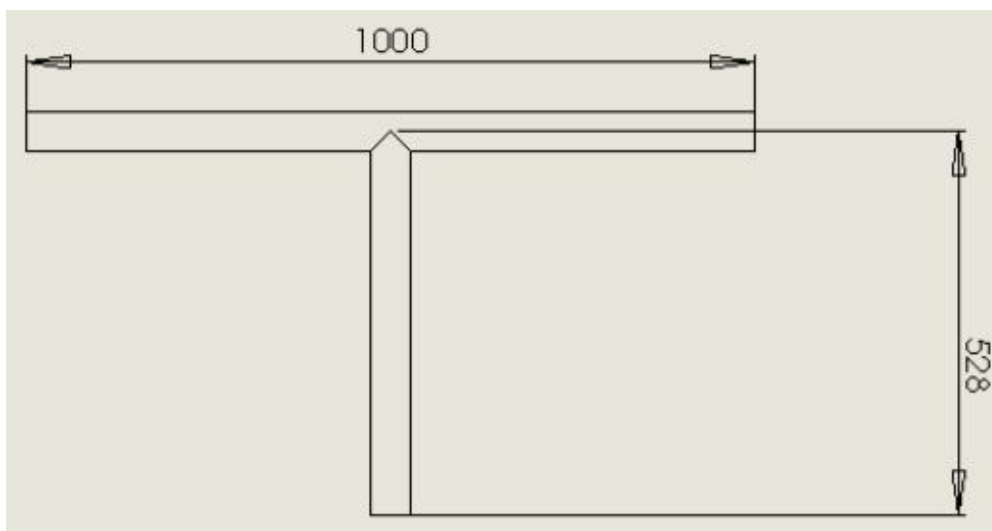
C	Si	Mn	P	S	Nb	Al	Fe
0.15	0.50	1.50	0.010	0.002	0.015	0.04	Resto

Tabela 2.3 – Propriedades mecânicas do aço Docol 1000.

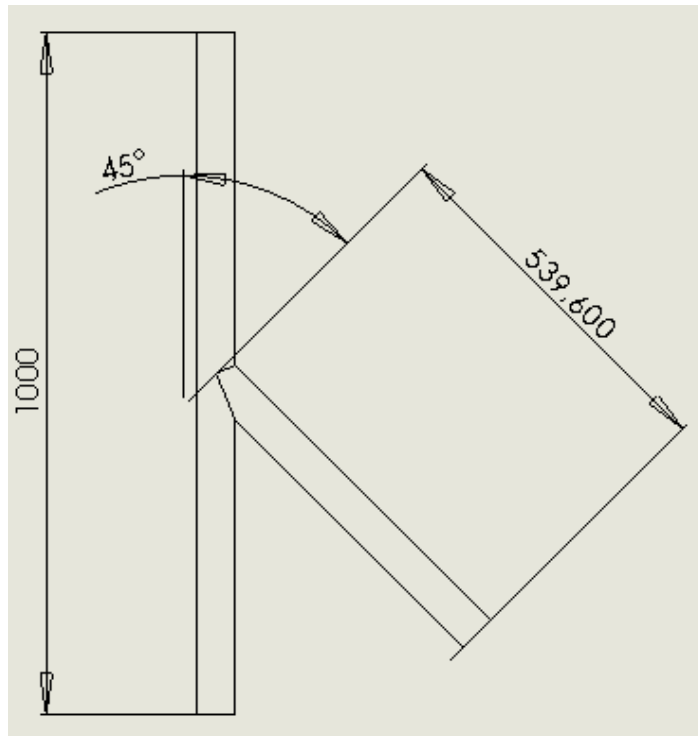
σ_r [MPa]	σ_c [MPa]	E [GPa]	ϵ_r [%]	ν [-]	HV ₅₀ [kgf/mm ²]
1000	700	208	5	-	-

2.3 – Geometrias Tubulares Analisadas

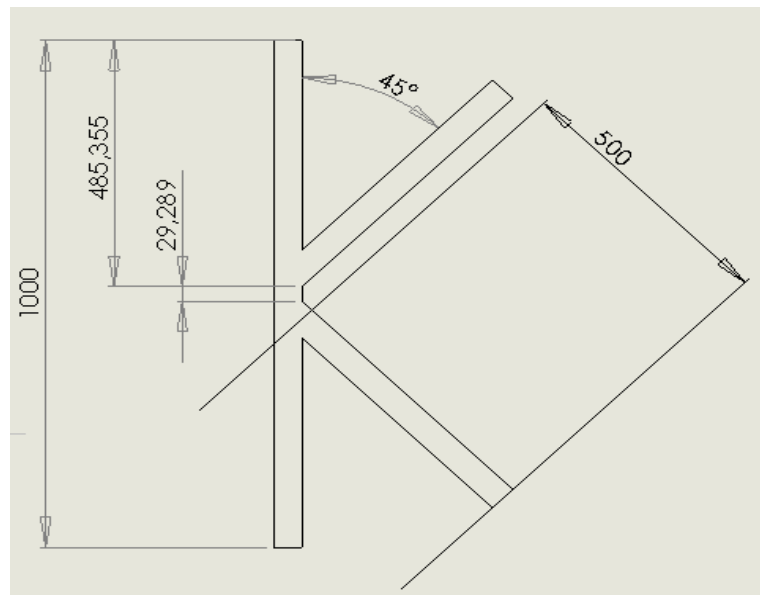
As juntas que vão ser analisadas encontram-se ilustradas na figura 2.1 e com a secção transversal apresentada na figura 2.2.



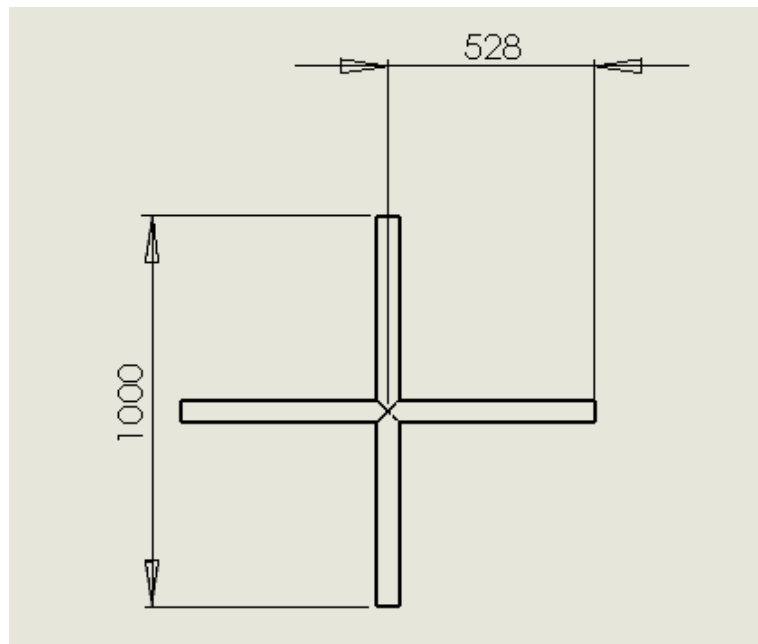
a)



b)



c)



d)

Figura 2.1 – Geometria das juntas tubulares e respectivas dimensões: a) Junta T; b) Junta Y; c) Junta K; d) Junta X.

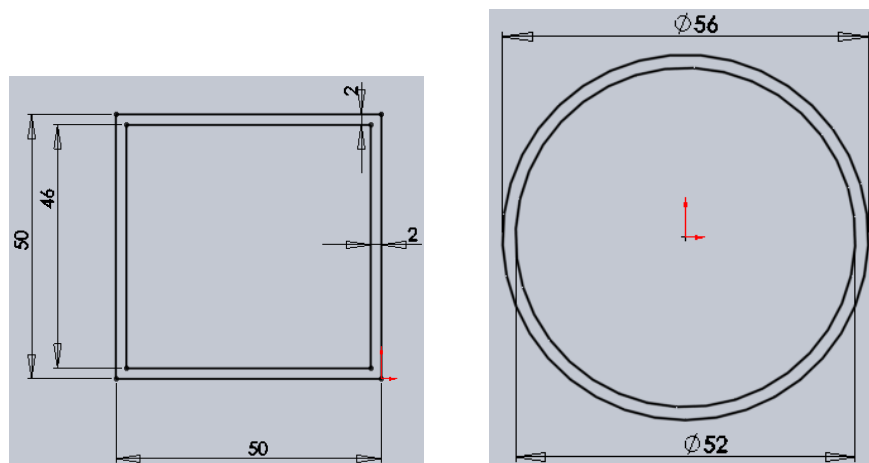


Figura 2.2 - Representação da secção transversal dos perfis.

Em todas as situações considerou-se que a dimensão do tubo primário é de 1000 mm, a do tubo secundário de 500 mm e a área da secção transversal dos perfis de 339.3 mm² e 384 mm² para as juntas CHS e RHS, respectivamente.

Foi também analisada uma junta típica de uma carroçaria de autocarro ilustrada na figura 2.3, cujas dimensões se encontram ilustradas na tabela 2.1

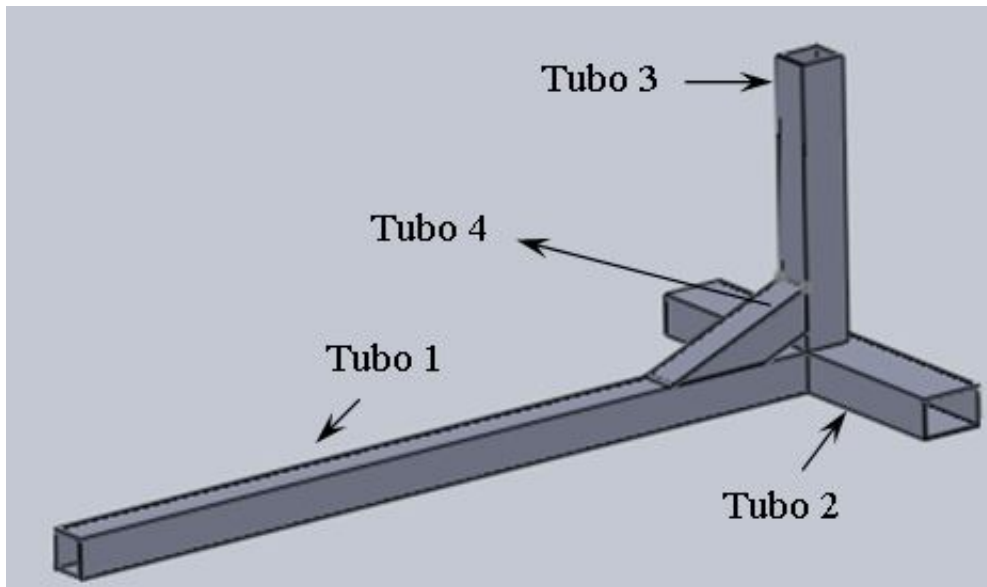


Figura 2.3 – Geometria representativa de uma junta tubular típica de uma carroçaria de autocarro.

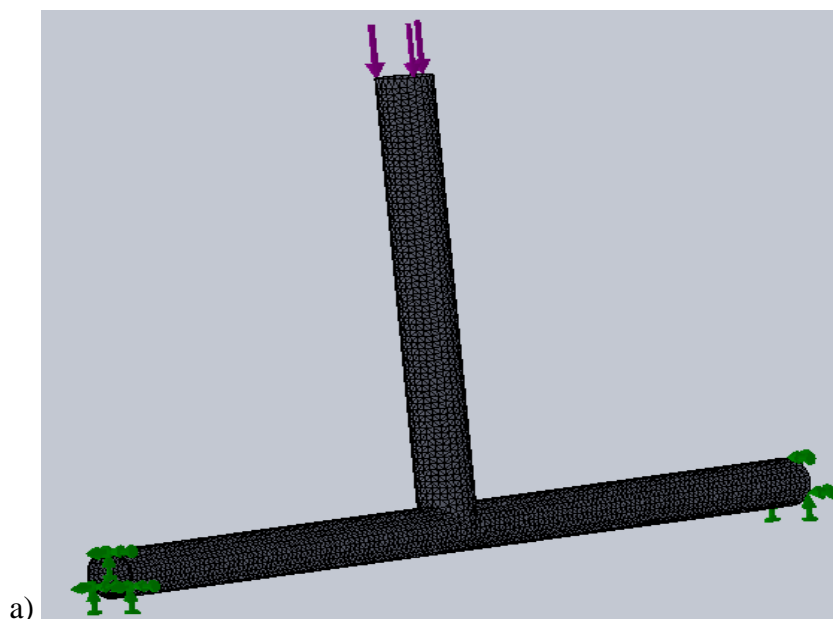
Tabela 2.4 – Dimensões da geometria apresentada na figura 2.3.

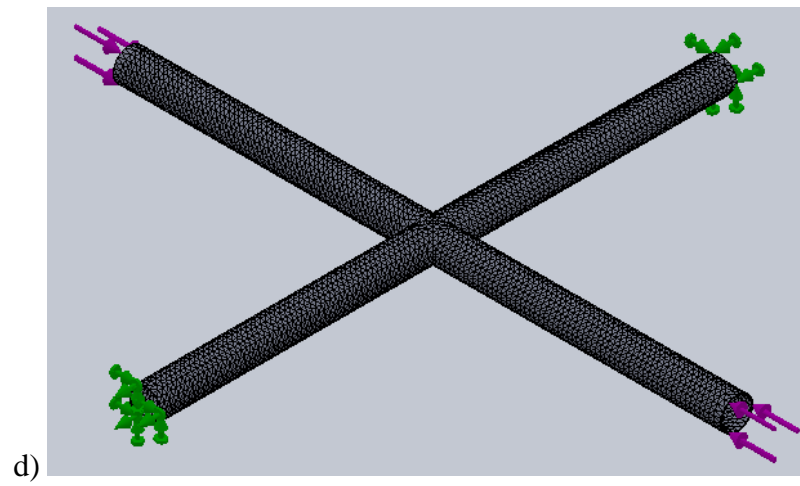
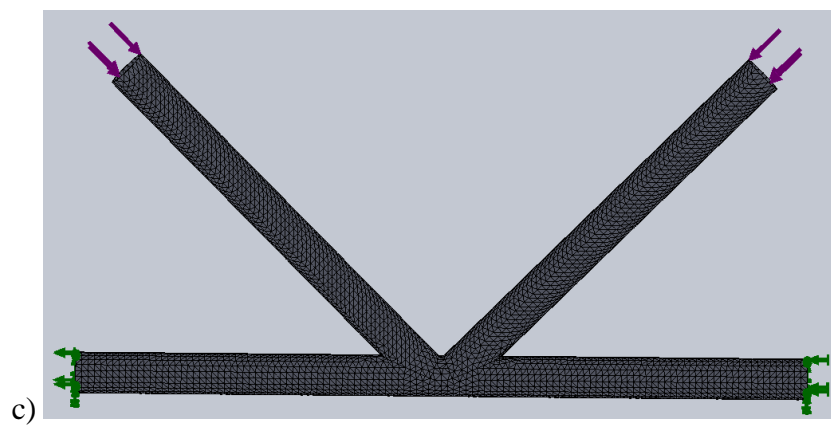
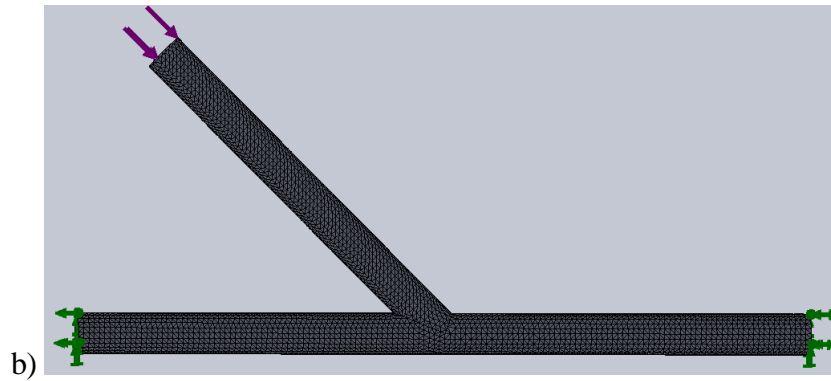
Número do tubo	Comprimento L [mm]	Secção transversal do tubo		
		Espessura [mm]	Altura [mm]	Largura [mm]
1	1060	2	50	50
2	500	2	80	50
3	350	3	60	50
4	200	3	50	50

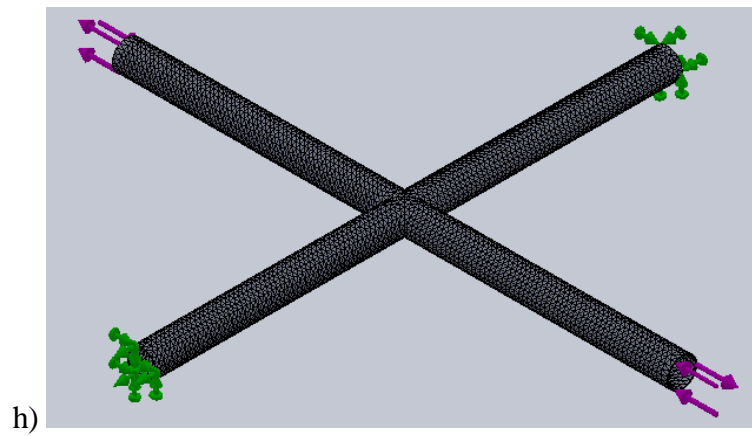
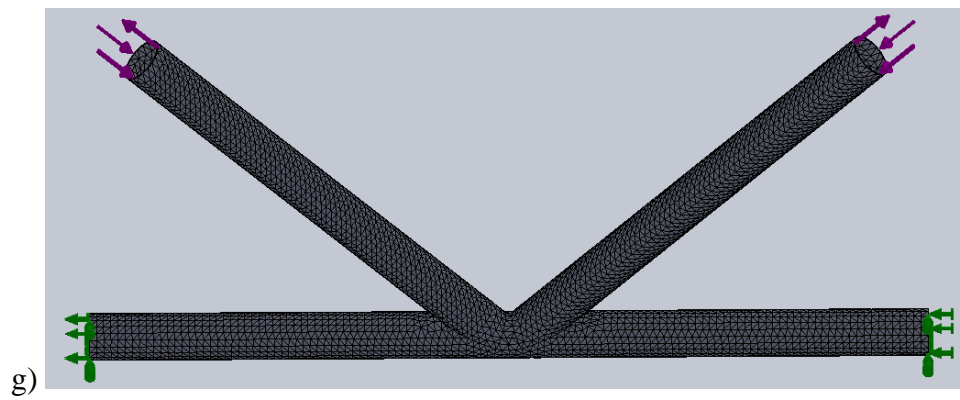
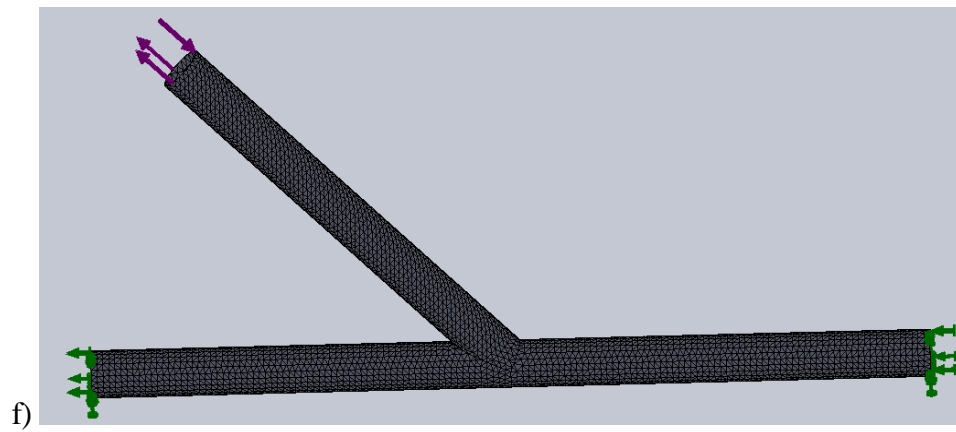
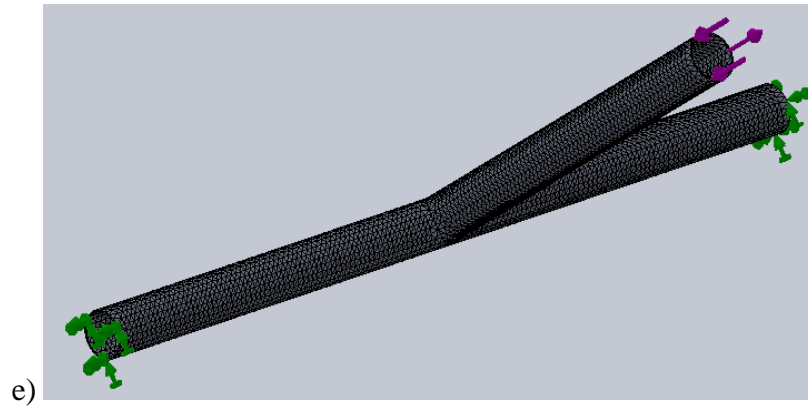
2.4 – Estudo Numérico

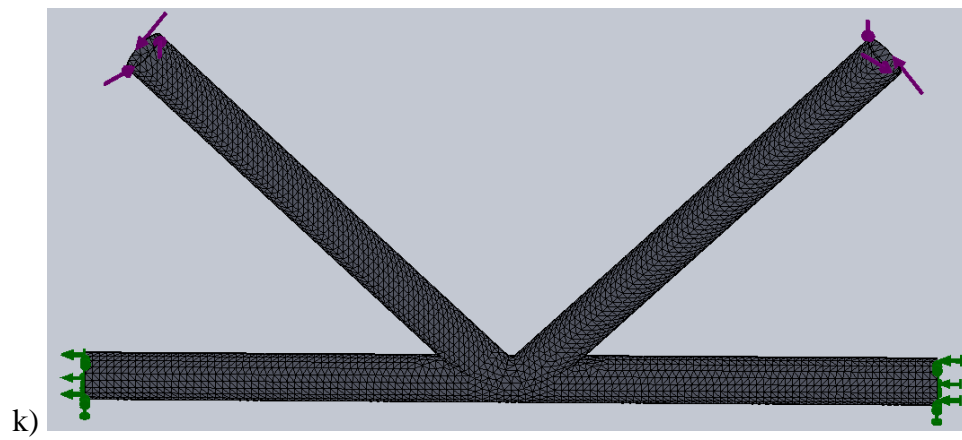
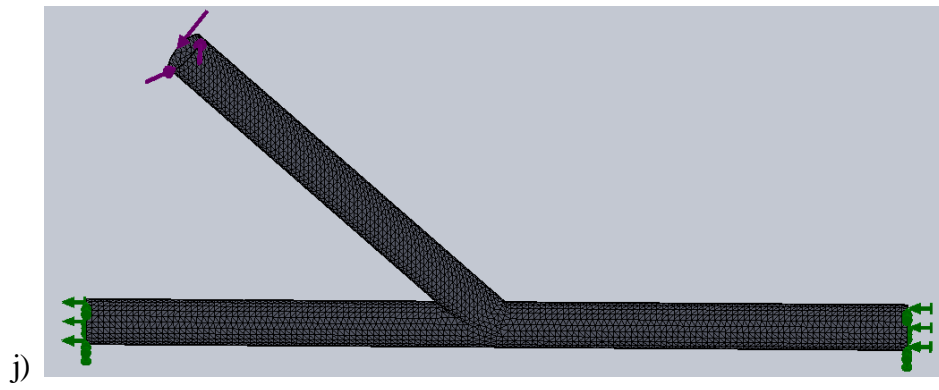
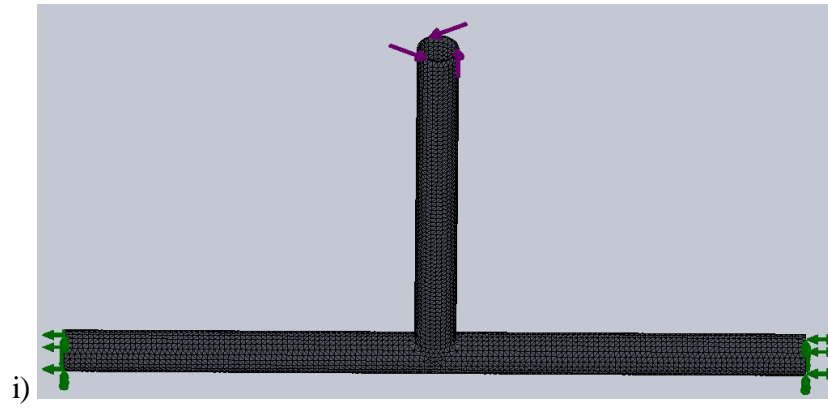
Este trabalho apresenta um estudo numérico da resistência estática de diferentes tipos de juntas tubulares e secções, através do método dos Elementos Finitos, com recurso ao programa computacional SOLIDWORKS. Este é um software de modelação 3D, tendo integrado ferramentas para análise estrutural (CosmosWorks). A malhagem é feita de modo automático, o que simplifica notavelmente a definição do modelo numérico, podendo o utilizador seleccionar o tipo de elemento (linear ou quadrático) e o nível de refinamento. Foram utilizados elementos sólidos tetraédricos com 10 nós e o efeito do refinamento da malha foi avaliado. O material utilizado neste estudo faz parte da biblioteca deste programa e trata-se do aço AISI 304.

Como já foi referido considera-se que a intersecção entre os dois tubos é representada apenas por uma linha, não sendo assim considerado o cordão de soldadura e seu efeito. Relativamente às condições de apoio considera-se que as extremidades do tubo primário (chord) se encontram encastradas e o diferente tipo de carregamento estudado é aplicado no tubo secundário (brace). Nas extremidades destes elementos foram então aplicadas cargas axiais no valor de 100 N, momento flector no plano com o valor de 100 N.m e de 50 N.m para o momento torsor. O seu efeito foi avaliado com recurso ao factor de concentração de tensões. Na figura 2.4 encontram-se ilustrados as diferentes geometrias tubulares estudadas, as suas condições de fronteira e respectivo carregamento.









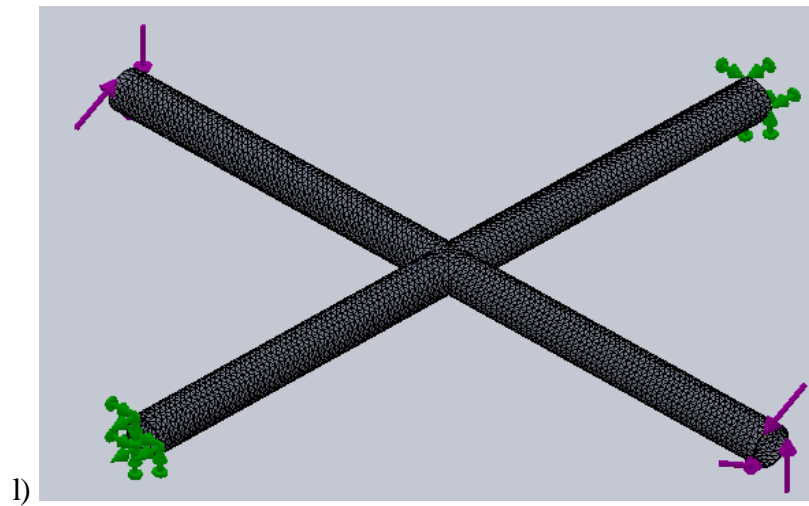
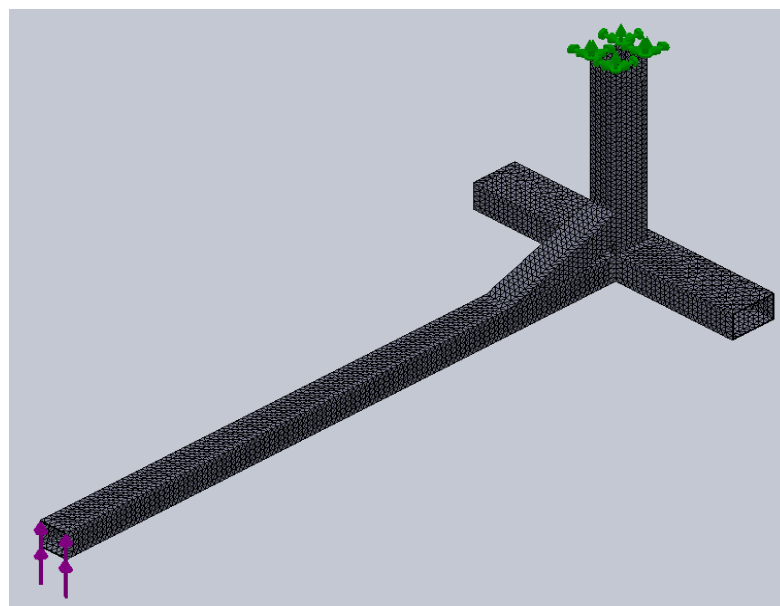
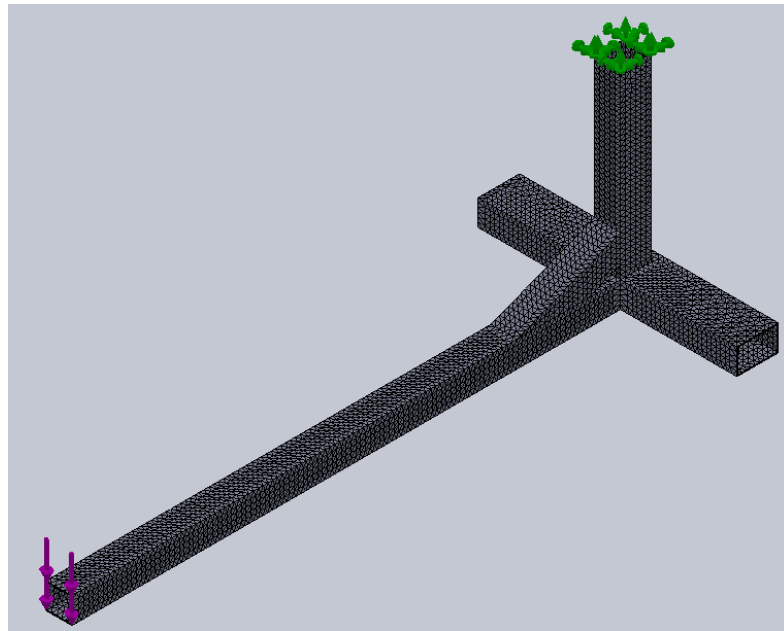


Figura 2.4 – Carregamento e condições de fronteira: a) Carregamento axial para junta T; b) Carregamento axial para junta Y; c) Carregamento axial para junta K; d) Carregamento axial para junta X; e) Flexão no plano para junta T; f) Flexão no plano para junta Y; g) Flexão no plano para junta K; h) Flexão no plano para junta X; i) Torção para junta T; j) Torção para junta Y; k) Torção para junta K; l) Torção para junta X.

Na figura 2.5 encontram-se ilustradas as condições de fronteira e respectivo carregamento da geometria tubular típica da carroçaria de um autocarro.



a)



b)

Figura 2.5 – Condições de fronteira e carregamento aplicado à junta tubular típica de uma carroçaria de autocarro: a) Junta sujeita ao fecho; b) Junta sujeita à abertura.