



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



## **Inspeção e Manutenção de Torres de Radiocomunicações**

**Torres Transportáveis e Torres GFRC**

**Ensaios de Tração em Ancoragens**

**MARIA MANUELA SILVA GASPAR**

Relatório de estágio para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil

Área de especialização de Edificações

**Orientadores:**

Mestre Ana Maria Silva Murteira, Vodafone Portugal

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, ISEL

**Júri:**

Presidente: Doutor João Alfredo Santos, ISEL

Vogais:

Eng.º João António Antunes Hormigo, ISEL

Mestre Ana Maria Silva Murteira, Vodafone Portugal

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, ISEL

**Dezembro de 2013**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

**RESUMO E PALAVRAS-CHAVE**

Na década de 90 verificou-se a expansão das redes de radiocomunicações, período em que as operadoras de serviço móvel apostavam em cobrir todo o território português com a melhor rede possível. Como consequência, verificou-se a implementação em grande escala de infraestruturas que acompanhassem as necessidades de rede.

Passado este período, reconheceu-se a necessidade de manter estas infraestruturas em bom estado de conservação estrutural através de inspeções e manutenções periódicas e ensaios pontuais. Deste modo, a Vodafone Portugal, implementou um programa de inspeção e manutenção aplicável ao seu parque de torres de radiocomunicações.

Este trabalho, que decorre de um estágio, desenvolvido nesta empresa e em continuidade com trabalhos anteriormente desenvolvidos, pretende ser um contributo e partilha de conhecimentos das ações e melhorias que vão sendo desenvolvidas nesta área.

*Palavras-chave:* Torres. Inspeção. Manutenção. Reabilitação. Ancoragens. Treliças. Espiamento. GFRC.

**ABSTRACT AND KEYWORDS**

In the 90s, radio networks have significantly expanded. During this period, mobile service companies intended to cover the entire Portuguese territory with the best possible network.

As a result, there was a large-scale deployment of infrastructures to respond to the needs of the network.

After this period, it was recognized there was a need to maintain these infrastructures in good structural conditions via periodic inspections, maintenance and occasional tests. Thus, Vodafone Portugal implemented an inspection and maintenance program, applicable to all its radio communication towers.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

This work, carried out within the framework of an internship in this company, and is in accordance with previous work developed, aims at contributing to knowledge sharing of actions and improvements that are being developed in this area.

*Keywords:* Towers. Inspection. Maintenance. Rehabilitation. Anchors. Trusses. Fastening. GFRC.



## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho não teria sido possível sem o apoio, motivação e contribuição de diversas pessoas, às quais agradeço sinceramente por me terem ajudado a alcançar o objetivo a que me tinha proposto há cinco anos atrás.

À Dra. Mafalda Alves Dias da Vodafone Portugal que me incentivou a aceitar este desafio e que me fez acreditar que nunca é tarde para se seguir um sonho e que com trabalho e perseverança tudo pode ser alcançado.

Aos meus colegas de trabalho, em especial à equipa de Logística e à Sara Guilherme, pelo apoio e compreensão pela minha maior ausência ao longo deste período.

Aos meus colegas de curso, que me acompanharam durante este percurso e com quem partilhei dificuldades, frustrações e dúvidas, mas também os pequenos triunfos que foram sendo atingidos e festejados em conjunto.

Ao Eng.º Luís Amorim Ferreira da Vodafone Portugal que prontamente me deu a oportunidade de desenvolver este estágio na área de Infra-Estruturas da Vodafone Portugal.

À Eng.ª Ana Murteira da Vodafone Portugal por ter aceite ser minha orientadora de estágio nesta empresa, por toda a orientação prestada e conhecimentos transmitidos. Agradeço, acima de tudo, pelo incentivo sempre presente, pela força e inspiração que me transmitiu e contagiou!

Ao meu orientador académico, Eng.º Manuel Brazão Farinha pela sua disponibilidade e orientações dadas no desenvolvimento do presente relatório.

À Eng.ª Vanda de Deus da Vodafone Portugal, ao Eng.º Carlos Marques do ISQ e ao Eng.º Carlos Carriço da Telcabo pelo acolhimento e por toda a disponibilidade sempre demonstrada.



Ao Eng.º Rui Martins da Telcabo pelo prestável e importante acompanhamento nas diversas visitas a obras.

Ao Eng.º João Viegas pela sua disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e na partilha de conhecimentos transmitidos de forma eficiente e clara que tornou mais fácil e simples o entendimento de questões mais técnicas.

Ao Eng.º José Braz da Negril pela incansável e incomparável disponibilidade prestada, pelo rigor das informações facultadas, pela partilha de opiniões, pelos esclarecimentos e enquadramento de todos os processos. Obrigada pelo enorme contributo no enriquecimento dos conhecimentos adquiridos durante este estágio.

A todos que me apoiaram, motivaram e participaram direta ou indiretamente nesta etapa da minha vida, agradeço pela confiança e força. Muito obrigada!



## Índice de texto

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
INTRODUÇÃO, ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS .....	1
1.1. Considerações gerais .....	1
1.2. Enquadramento do estágio.....	2
1.3. Objetivos do trabalho a desenvolver.....	2
1.4. Desafios e Motivação .....	3
1.5. Estrutura do Trabalho .....	4
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>7</b>
PROCESSO DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO .....	7
2.1. Tipo de torres.....	7
2.2. Processo de inspeção e manutenção em torres de radiocomunicações.....	14
2.2.1. Fase de projeto.....	17
2.2.2. Inspeções periódicas .....	23
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>27</b>
ENSAIO DE TRAÇÃO DE ANCORAGENS .....	27
3.1. Ensaio pontuais .....	27
3.2. Ensaio de tração em ancoragens .....	29
3.2.1. Sondagens.....	32
3.2.2. Revisão de projeto .....	33
3.2.3. Ensaio de tração dos pontos de ancoragem .....	34
3.2.4. Trabalhos de reparação ou reformulação de ancoragens .....	36
3.2.5. Análise estatística e considerações .....	40
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>43</b>
TORRE METÁLICA TRELIÇADA AUTOSUPORTADA TRANSPORTÁVEL .....	43
4.1. Torres transportáveis provisórias vs definitivas .....	43
4.2. Dimensionamento.....	44
4.3. Inspeção e manutenção – Análise estatística.....	47
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>51</b>
TORRES GFRC .....	51



5.1.	Caracterização do GFRC e a sua aplicação em torres de radiocomunicações.....	51
5.2.	Dimensionamento.....	54
5.3.	Vantagens e desvantagens na utilização de GFRC em torres de radiocomunicações .....	56
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>61</b>
CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....		61
6.1.	Conclusões e Avaliação do estágio.....	61
6.2.	Desenvolvimentos futuros .....	62
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>65</b>



## Índice de figuras

Figura 1 - Torre metálica treliçada espiada .....	10
Figura 2 - Torre metálica treliçada escorada .....	10
Figura 3 – Torre metálica autosuportada transportável .....	12
Figura 4 - Torre autosuportada de campo em GFRC .....	13
Figura 5 – Pormenor da base de uma torre autosuportada de campo em GFRC.....	14
Figura 6 - Fluxograma do processo de inspeção e manutenção .....	16
Figura 7 - Modelo de cálculo de uma torre treliçada espiada.....	19
Figura 8 - Modelo de cálculo de uma torre treliçada escorada.....	20
Figura 9 - Modelo de cálculo de uma torre metálica treliçada transportável .....	21
Figura 10 - Modelo de cálculo de uma torre tubular em GFRC.....	22
Figura 11 - Desenho de alçado (parcial) de uma torre metálica treliçada espiada de 15m .....	28
Figura 12 - Exemplos de soluções de pontos de ancoragem .....	29
Figura 13 – Exemplos de aparelhos de teste para cargas até 145 kN e 25 kN, respetivamente (marca hydrajaws) .....	30
Figura 14 – Fluxograma das fases dos testes de tração em pontos de ancoragem de espionamento/ escoramento .....	31
Figura 15 – Furação em murete de alvenaria e em maciço de betão .....	32
Figura 16 – Pormenor ancoragem com amaciamento de laje aligeirada de vigotas e abobadilhas .....	34
Figura 17 – Carga recomendada e máxima por diâmetro da bucha química (kN) .....	35
Figura 18 – Exemplo de teste de tração executado num perno M12 com uma força aplicada de 8kN .....	35
Figura 19 – Furação em laje de cobertura para reparação do ponto de ancoragem.....	37
Figura 20 – Colocação de varões roscados e chapa metálica após aplicação de bucha química .....	37



Figura 21 – Aspeto final da ancoragem reparada e com a espia recolocada .....	38
Figura 22 – Desativação da ancoragem existente e preparação da nova localização .....	39
Figura 23 – Preenchimento dos furos com bucha química e colocação dos varões roscados .....	39
Figura 24 – Construção de maciço em betão armado e aspeto final da realocação da ancoragem .....	40
Figura 25 – Torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis .....	44
Figura 26 - Desenho de alçado de uma torre metálica treliçada autosuportada transportável de 24m + 3.70m .....	45
Figura 27 – Exemplo de uma sapata com selagem de pernos e com pregagem e outra com pernos expostos .....	47
Figura 28 – Pormenor de ligação de troços .....	53
Figura 29 – Pormenor da ligação da base da estrutura por meio de flanges ligadas com chumbadouros roscados .....	53
Figura 30 – Desenho de alçado e cortes de cabos de pré-esforço para uma torre em GFRC de 41m .....	55
Figura 31 – Fendilhação em Torres em GFRC .....	57
Figura 32 – Exemplo de torres em GFRC com desvio no topo.....	58
Figura 33 – Cabo de pós-tensão solto na zona oca de uma Torre em GFRC .....	59



### Índice de tabelas

Tabela 1 – Tipos de torres .....	8
Tabela 2 – Percentagem de torres por tipo de localização .....	8
Tabela 3 - Parâmetros de Inspeção Periódica.....	24
Tabela 4 – Percentagem de parâmetros "Não Satisfaz" em mais de 50% das torres inspecionadas .....	48

### Índice de anexos

Anexo 1 - Esquissos chapas amarração e maciços correntes.....	3
Anexo 2 - Pormenor fixação de espigas .....	7
Anexo 3 - Relatório de ensaios tração em ancoragens .....	13
Anexo 4 - Auto de receção provisória.....	17

### Lista de siglas e abreviaturas

GFRC – Glass fiber reinforced concrete

GPCI – Gestão de Projeto e Construção de Infra-Estruturas

RSAEEP – Regulamento de segurança e ações para estruturas de edifícios e pontes





## Capítulo 1

### Introdução, Enquadramento e Objetivos

#### 1.1.Considerações gerais

O desenvolvimento económico e tecnológico dos países que rege a sociedade atual está diretamente relacionado com a capacidade de implementar e manter enormes redes de produção, transmissão e distribuição de energia.

Da mesma forma, e devido à globalização e internacionalização das economias e das sociedades, a comunicação tornou-se indispensável tendo sido potenciada pela expansão do serviço de radiocomunicações.

A disponibilização destes serviços, tais como a produção de energia elétrica a partir de energia eólica, o transporte de energia elétrica, a transmissão de rádio, televisão e comunicações móveis são feitas a partir de infraestruturas físicas, em que se incluem as torres ou postes.

Desta forma, é fácil perceber a grande importância e o enorme destaque que estas estruturas têm para as empresas que exploram os serviços referidos e indiretamente para a economia dos países e bem-estar dos indivíduos.

Embora estas estruturas possam ser de betão ou madeira, e tal como em grande parte das estruturas, também nas torres tende-se a utilizar cada vez mais as estruturas metálicas, devido à maior rapidez e facilidade de implementação e melhor controle de qualidade.

Estas estruturas metálicas, geralmente em aço galvanizado, têm a vantagem de apresentar uma boa resistência mecânica, suportando esforços elevados com seções relativamente pequenas o que permite ter estruturas mais leves e esbeltas quando comparado com as estruturas de betão armado.



São elementos estruturais de qualidade bastante homogénea e com propriedades físicas bem definidas aquando do controle de qualidade do seu fabrico, conferindo um elevado grau de segurança às estruturas deste tipo.

## **1.2. Enquadramento do estágio**

O trabalho apresentado neste documento enquadra-se no âmbito de um estágio desenvolvido na área de Gestão de Projecto e Construção de Infra-Estruturas (GPCI) da empresa Vodafone Portugal.

É fundamental para a empresa garantir e assegurar a qualidade do serviço de radiocomunicações prestado a cerca de 6 milhões de clientes. Para conseguir a cobertura do serviço em todo o país, incluindo ilhas, a Vodafone Portugal dispõe atualmente de um parque de cerca de 1.800 torres e postes constituído por torres autosuportadas de campo: tubulares, treliçadas e transportáveis, e por torres em edifício: treliçadas espiadas/escoradas e treliçadas autosuportadas.

O estado de conservação e a avaliação da segurança das torres e postes existentes são uma prioridade para a Vodafone Portugal dada a importância em prolongar o tempo de vida do bem, a garantia do serviço prestado e a segurança de pessoas e bens.

Para isso é realizada uma avaliação regular da condição estrutural das torres, através de inspeções baseadas em observações periódicas e ensaios pontuais de forma a aferir as patologias existentes e assim intervir em termos de reparação, conservação, reforço e manutenção.

## **1.3. Objetivos do trabalho a desenvolver**

Este trabalho pretende ser uma continuação de trabalhos anteriores ao programa de inspeção e manutenção de torres de radiocomunicações na Vodafone Portugal, enquadrado num estágio. Tem como objetivo ser uma continuidade ao trabalho de mestrado, Murteira, A. (2010) “Inspeção e manutenção de torres e postes de radiocomunicações”, Tese de mestrado, Instituto Superior de



Engenharia de Lisboa, que descreve a implementação do programa de inspeção e manutenção do parque de postes e torres na Vodafone Portugal tendo resultado na elaboração de um caderno de encargos e na definição de procedimentos e documentos de apoio às ações de inspeção, manutenção e fiscalização por tipo de torre após levantamento das patologias mais correntes.

Deste modo, o presente trabalho pretende contribuir para um enriquecimento de conhecimentos relativamente a este processo que tem vindo a evoluir.

Este estágio teve por objetivo:

- Análise do estado de conservação e resistência das ancoragens no caso das torres metálicas treliçadas espiadas/escoradas de edifício;
- Definição estrutural em projeto para as torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis de campo, que são torres de carácter temporário, prontas a serem implementadas em determinado local sempre que exista necessidade pontual de reforço da rede;
- Análise das torres de compósito de betão reforçado com fibras de vidro, reforçadas longitudinalmente por varões de inox, denominadas por torres GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete), mais especificamente, a determinação das vantagens e desvantagens deste material em torres de radiocomunicações.

Foi ainda objetivo deste estágio acompanhar o levantamento, avaliação e implementação de ações necessárias no que diz respeito aos pontos anteriormente mencionados. Efetuou-se o acompanhamento de inspeções, fiscalizações, testes de resistência às ancoragens e das ações de manutenção e reparação executadas.

#### **1.4.Desafios e Motivação**

Este estágio foi transversal em termos de processos (desde a fase de projeto, coordenação das diversas especialidades, fiscalização e segurança em obra, inspeções e ensaios e respetivas ações de intervenção até à fase de receção da obra) contribuindo para a ligação entre a componente teórica adquirida durante o curso e a componente prática desenvolvida durante o estágio.



Foi, em termos pessoais e profissionais, um enorme privilégio poder acompanhar o programa de inspeção e manutenção da Vodafone Portugal tendo sido um contato inicial com a área da engenharia civil de grande relevância para o meu desenvolvimento profissional futuro.

Foi, acima de tudo, uma grande experiência e oportunidade de conhecer a realidade desta área da engenharia civil, através do contacto e partilha de informação com especialistas nas diversas fases deste programa.

### **1.5.Estrutura do Trabalho**

O presente relatório está dividido em seis capítulos. Os capítulos um e seis pretendem enquadrar o estágio desenvolvido e realçar a importância enquanto complemento ao curso académico para o aluno. Nos capítulos dois a cinco são descritos os processos existentes, os trabalhos e ações desenvolvidas no decorrer do estágio, procurando sempre que aplicável justificar as escolhas e processos.

No presente capítulo foi feito um enquadramento do estágio desenvolvido e referida a importância do tema para a empresa. Foram também abordados os principais objetivos, desafios e motivações para o aluno.

No capítulo dois, são descritos os tipos de torres de radiocomunicações e feita a apresentação, em termos de composição, das estruturas que serão abordadas neste trabalho: torres metálicas treliçadas de edifício espiadas/escoradas, torres metálicas treliçadas transportáveis e torres em GFRC.

Será ainda descrito o processo de inspeção e manutenção da Vodafone Portugal, de forma resumida dado que já foi tema de trabalhos anteriores, onde se descrevem as fases e intervenientes no processo.

No capítulo seguinte, é focada a importância da execução de ensaios pontuais e aprofundado o processo existente dos testes de tração em ancoragens de torres metálicas treliçadas de edifício



espiadas/escoradas. São referidos os principais fatores que influenciam os resultados destes testes e os trabalhos a realizar em função dos resultados obtidos.

No capítulo quatro é abordada a passagem das torres metálicas treliçadas transportáveis de provisórias a definitivas e respetivos trabalhos de reforço desenvolvidos de modo a que estas torres verifiquem a segurança aos estados limites últimos enquanto torres definitivas.

No capítulo cinco são referidas as razões que levaram à introdução de torres em GFRC no parque da empresa e descritas as principais vantagens e desvantagens na utilização deste tipo de material em torres de radiocomunicações.

As conclusões a retirar do programa de inspeção e manutenção da empresa e os desenvolvimentos futuros são apresentados no último capítulo deste relatório. Será ainda feito um balanço do estágio desenvolvido.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Capítulo 2

### Processo de inspeção e manutenção

#### 2.1. Tipo de torres

Como referido anteriormente, a Vodafone Portugal dispõe de um parque de cerca de 1.800 torres ou postes, incluindo estruturas em betão armado, GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) e estruturas metálicas.

As torres metálicas dividem-se em duas categorias conforme a localização: torres de campo ou torres de edifício. As torres de campo podem ser treliçadas espiadas, tubulares autosuportadas, treliçadas autosuportadas transportáveis e postes-árvore. As torres de edifício são do tipo treliçadas espiadas ou escoradas e autosuportadas. Na tabela 1 são indicados os vários tipos de torres conforme localização das mesmas.

No desenvolvimento deste estágio foram acompanhados os trabalhos em torres metálicas treliçadas espiadas/escoradas de edifício, torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis e torres GFRC.

Estão fora do âmbito deste estágio todas as estruturas em betão armado e as torres metálicas autosuportadas de campo que foram tema do trabalho de mestrado, Murteira, A. (2010) “Inspeção e manutenção de torres e postes de radiocomunicações”, Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.



Tabela 1 – Tipos de torres

Classificação por localização	Tipo de torre
Torres de campo	Torre GFRC
	Torre em betão armado
	Poste-árvore
	Torre candeeiro
	Torre metálica treliçada transportável definitiva
	Torre metálica treliçada espiada/escorada
	Torre metálica treliçada autosuportada
	Torre metálica circular autosuportada
	Outros tipos de torres
Torres em edifícios	Torre metálica treliçada espiada/escorada
	Torre metálica treliçada autosuportada
	Torre em compósito
	Outros tipos de torres

Tabela 2 – Percentagem de torres por tipo de localização

Classificação por localização	% no total das torres
Torres de campo	<b>83.70%</b>
Torres em edifícios	<b>16.30%</b>

Maioritariamente (mais de 70%), as torres de campo são do tipo metálicas circulares autosuportadas e as torres em edifícios são do tipo metálicas treliçadas espiadas/escoradas.

Os tipos de torres que serão abordados ao longo deste trabalho e que estiveram no âmbito do estágio realizado correspondem a cerca de 16% do total das torres pertencentes ao parque da empresa. De seguida, será descrita a constituição das mesmas.



Torre metálica treliçada espiada/escorada de edifício

Estas torres são utilizadas com frequência em ambiente urbano e implementadas nas coberturas de edifícios.

São torres, em aço galvanizado, usualmente de base triangular ou quadrada, assentes em maciços de betão armado ou em perfis metálicos ligados à estrutura resistente do edifício.

São compostas por diversos troços de montantes interligados por barras diagonais e horizontais soldadas formando treliças. Cada troço liga-se ao troço seguinte por intermédio de encaixe aparafusado com aparafusamento de travamento ou através de flanges aparafusadas.

A estrutura é espiada ou escorada a diversos níveis, dependendo da altura e carregamento a que estará sujeita, sendo as espas fixas às torres através de encaixe aparafusado ou abraçadeira fixa e as extremidades inferiores são fixas em ancoragens assentes em suporte que apresente boa capacidade resistente como a laje de cobertura, platibandas ou maciços em betão armado. Pontualmente podem ser fixadas ao perfil metálico que serve de base à torre.

A solução a adotar é definida pelo projetista em função dos carregamentos e das condicionantes encontradas *in situ* para cada situação.



**Figura 1 - Torre metálica treliçada espiada**



**Figura 2 - Torre metálica treliçada escorada**



Estas torres, quando implementadas em edifícios, têm seções relativamente pequenas e são por isso mais leves e esbeltas quando comparadas com as restantes (torres autosuportadas), razão para a sua implementação preferencial quando se trata de edifícios.

Contudo têm o inconveniente de necessitarem de pontos de ancoragem para ligação das espias/escoras que podem ter algum impacto visual e podem não ser uma solução de implementação simples.

A segurança destas torres depende do estado da própria torre mas também das espias e dos pontos de ancoragem. No capítulo 3, serão aprofundados os ensaios de tração efetuados aos pontos de ancoragem deste tipo de torre de forma a garantir que não ocorrem roturas que comprometam a segurança da estrutura ou de terceiros.

#### Torre metálica treliçada autosuportada transportável de campo

Para situações de caráter temporário em que existe necessidade de reforçar a rede de radiocomunicações, utilizam-se torres treliçadas autosuportadas transportáveis. Por princípio, estas torres têm caráter provisório.

São torres treliçadas em aço galvanizado, de base quadrada, compostas por diversos troços de montantes interligados por barras diagonais e horizontais soldadas. Cada troço liga-se ao troço seguinte através de flanges aparafusadas.

A torre é ligada por aparafusamento a perfis metálicos solidários com a estrutura da cabine técnica. A cabine técnica é assente numa estrutura metálica de apoio composta por vigas de grelha ligadas a “pés” da ancoragem, que por sua vez, estão ligados a sapatas pré-fabricadas de betão armado por meio de chapa metálica e pernos de ancoragem. Os maciços são assentes superficialmente no solo. A estrutura de apoio é ainda composta por escoras, que ligam os perfis metálicos da base da torre com a grelha aonde assenta a cabine técnica, e por um sistema de nivelamento da estrutura.



**Figura 3 – Torre metálica autosuportada transportável**

Por serem torres de caráter temporário não estão abrangidas pelo plano de inspeção e manutenção nem pelos mesmos pressupostos de dimensionamento que as restantes torres, no entanto, e dado o tempo que permanecem em utilização, a Vodafone Portugal considerou que todas as torres com mais de 2 anos deveriam passar a definitivas e serem tratadas conforme o restante parque de torres da empresa. Este tema será aprofundado no capítulo 4 deste trabalho.



Torre GFRC

Estas torres são em compósito de betão reforçado com fibras de vidro, reforçadas longitudinalmente por varões de aço inox e transversalmente com armadura de malha electrosoldada também em inox. Apresentam um formato tubular e são constituídas por módulos unidos através de encaixe e colados com resinas epoxídicas de alta aderência e resistência, e cintas de aperto em aço inox.



**Figura 4 - Torre autoportada de campo em GFRC**



Estas torres são encastradas no terreno através de uma fundação semi-profunda em betão armado e fixas por flanges ligadas com chumbadouros roscados.



**Figura 5 – Pormenor da base de uma torre autosuportada de campo em GFRC**

No processo construtivo deste tipo de torres, após betonagem, é aplicada pós-tensão aos vários cabos dispostos longitudinalmente. A tensão aplicada corresponde a 75% da capacidade máxima do cabo. Por exemplo, para um cabo de aço de alta resistência com tensão de rutura de 1860 mPa, a força inicial por cabo é:  $F_0 = 0.75 \times 1860 \times 10^3 \times 0.55 \times 10^{-4} = 76.725 \text{ kN}$ .

No capítulo 6 serão aprofundadas questões relativas à introdução destas torres, tipo de material e aplicação de pós-tensão.

## **2.2. Processo de inspeção e manutenção em torres de radiocomunicações**

A Vodafone Portugal tem implementado o programa de inspeção e manutenção das torres que tem como objetivo assegurar aspetos relacionados com a segurança, conservação estrutural das torres e a prevenção dos riscos inerentes à sua utilização e manutenção.

Para a empresa este tema não é um “mal necessário” mas uma oportunidade para a empresa ser mais eficiente e diminuir os custos em substituição de torres, aumentando o tempo de vida útil da



estrutura. Por outro lado, permite assegurar a qualidade do serviço e a segurança de terceiros em que os custos associados a falhas nestes aspetos seriam incalculáveis e de grande impacto para a imagem da empresa.

Embora todas as torres necessitem de inspeções periódicas, dada a quantidade de torres a inspecionar é necessário definir, em função da criticidade e do potencial risco, um plano anual de inspeção e manutenção a desenvolver.

Na definição do plano de inspeção e manutenção relativo a 2013/2014 consideraram-se os seguintes critérios:

- Torres metálicas autosuportadas de campo: tubulares e treliçadas com última inspeção há mais de 4 anos;
- Todas as torres de edifício: autosuportadas e treliçadas apoiadas/escoradas;
- Todas as torres metálicas treliçadas transportáveis;
- Postes árvore com última inspeção há mais de 2 anos.

O fluxograma apresentado na figura 6 demonstra as diversas fases e intervenientes neste processo. Nos próximos pontos deste trabalho será apresentada de forma resumida cada uma destas fases, dado que este tema já foi aprofundado no trabalho de mestrado, Murteira, A. (2010) “Inspeção e manutenção de torres e postes de radiocomunicações”, Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

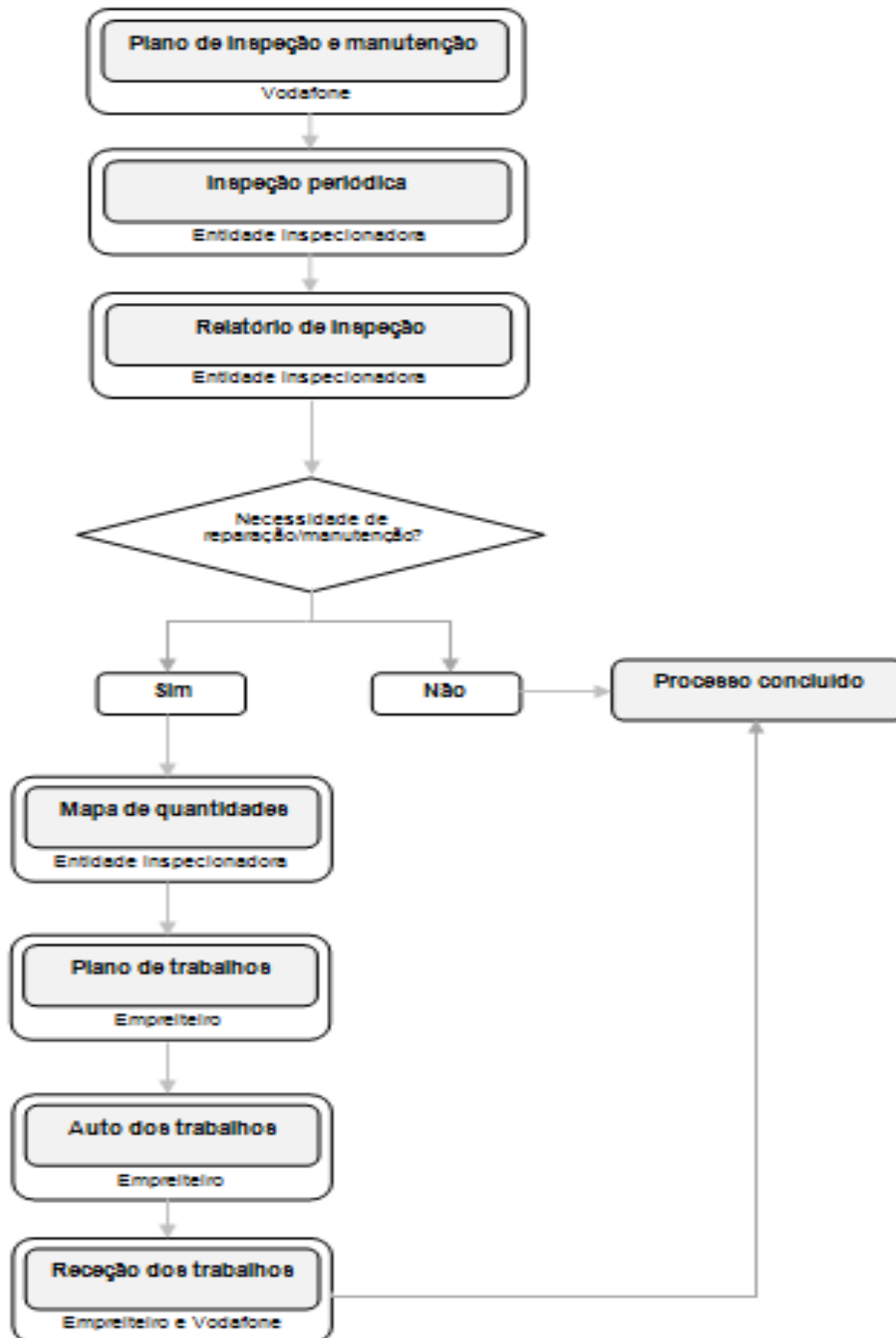


Figura 6 - Fluxograma do processo de inspeção e manutenção



Durante o estágio foi acompanhado o processo de manutenção e inspeção de torres relativamente ao primeiro semestre do ano de 2013/2014 em que estavam adjudicadas as seguintes inspeções periódicas:

- Todas as torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis
- Todas as torres metálicas treliçadas ou escoradas de edifício

Enquadrado também no processo de inspeções e manutenções, foram ainda acompanhados os testes de tração em todas as torres treliçadas espiadas/escoradas de edifício e respetivos trabalhos de reparação.

### **2.2.1. Fase de projeto**

Em termos de dimensionamento de torres metálicas considera-se a legislação aplicável; para novos projectos, a partir de 2010, o Eurocódigo 3 (EC3) e para o parque edificado anterior a 2009 inclusive, o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifício e Pontes (RSAEEP).

No projeto de verificação estrutural de todas as torres definitivas é verificado o comportamento da estrutura aos estados limites últimos e aos estados limites de utilização, para um período de vida útil de 50 anos (exceção para as torres em GFRC, conforme referido neste subcapítulo nas especificidades de verificação estrutural das torres GFRC).

São consideradas nas ações permanentes o peso próprio da estrutura (usualmente em aço) e o peso dos equipamentos, tais como antenas, RRU's (remote radio unit), plataformas, cabos e acessórios.

Nas ações variáveis para determinação da ação do vento, é considerada a zona de localização da estação e rugosidade aerodinâmica do solo de acordo com o RSAEEP, que define:

Artigo 20º - Zonamento do território:

- Zona A – Todo o território português, exceto as regiões consideradas na zona B.



- Zona B – Arquipélago dos Açores e Madeira e as regiões do Continente situadas até 5 km da costa ou a altitudes superiores a 600 m.

Artigo 21º - Rugosidade aerodinâmica do solo:

- Tipo I – Locais situados em zonas urbanas.
- Tipo II – Locais situados em zonas rurais ou na periferia de zonas urbanas.

Sendo no geral estruturas esbeltas, o vento é um fator determinante e considerado como ação variável base por apresentar valores mais gravosos que o sismo. É considerado que a velocidade média na extremidade do troço é de 120km/h para determinação da respetiva pressão dinâmica. Em zona B o valor da pressão dinâmica é majorado em 1.2, conforme artigo 24º do RSAEEP.

Em projeto é ainda referida a capacidade de reserva para a qual a torre apresenta resistência, antecedendo a eventual necessidade de serem adicionados mais equipamentos.

Com o recente reforço da rede 4G a Vodafone Portugal teve necessidade de assegurar que as torres suportariam mais equipamentos, tendo sido verificada a capacidade resistente para essas cargas adicionais em torres localizadas até 5km da zona costeira e terras altas (zona B – artigo 20º do RSAEEP).

Principais particularidades na verificação dos diferentes tipos de torres:

- Torre metálica treliçada espiada / escorada

Neste tipo de torres aplicam-se os pressupostos de dimensionamento descritos anteriormente, contudo nestas torres é necessário fazer a verificação de segurança nas espias.

Para tal é determinada a tensão nas espias provocada pelo peso próprio do cabo acrescido da tensão inicial obtida pela limitação da flecha em 1/80 do comprimento do cabo.

Assume-se que as espias não contribuem para a resistência da estrutura à compressão.



É fundamental que as espigas sejam tracionadas de modo a assegurar a sua função de suporte e estabilização da torre funcionando como apoios, contudo deve ser assegurado que não são transmitidos esforços á estrutura. As espigas devem ser tracionadas de acordo com a seguinte fórmula:

$$F_{max} = \frac{pL^2}{8T}$$

Com:

p - peso unitário do cabo

L - comprimento do cabo em m

T - tensão de rutura do cabo

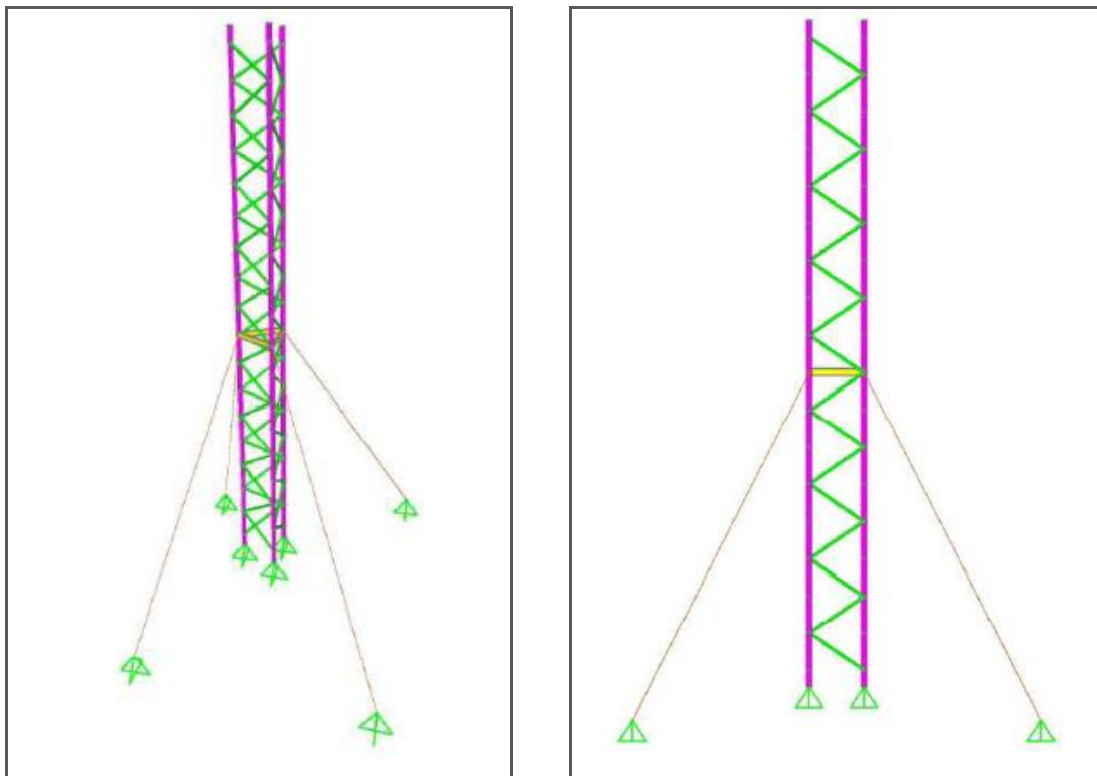


Figura 7 - Modelo de cálculo de uma torre treliçada espiaada

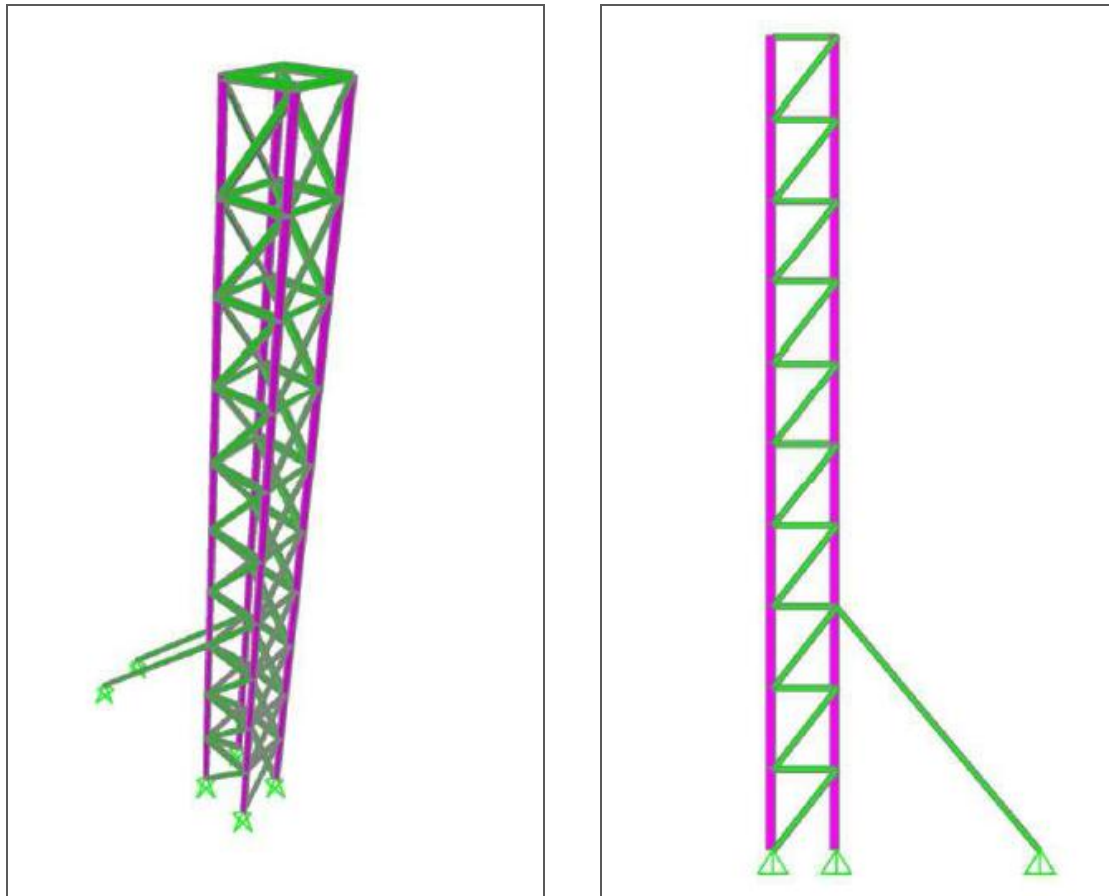


Figura 8 - Modelo de cálculo de uma torre treliçada escorada

- Torre metálica treliçada transportável

No dimensionamento destas torres de caráter provisório considera-se um tempo de vida útil de 15 anos. Ao passarem a definitivas o tempo de vida útil passa a ser de 50 anos como para as restantes torres metálicas treliçadas.

O peso próprio inclui o peso da cabine técnica, da estrutura de apoio e das sapatas em betão armado.

Nas combinações de ações a ação do vento é influenciada pela cabine.

No capítulo 4 será referido com maior detalhe os pressupostos de dimensionamento e verificações estruturais efetuadas para este tipo de torres quando passam a ter um caráter definitivo.

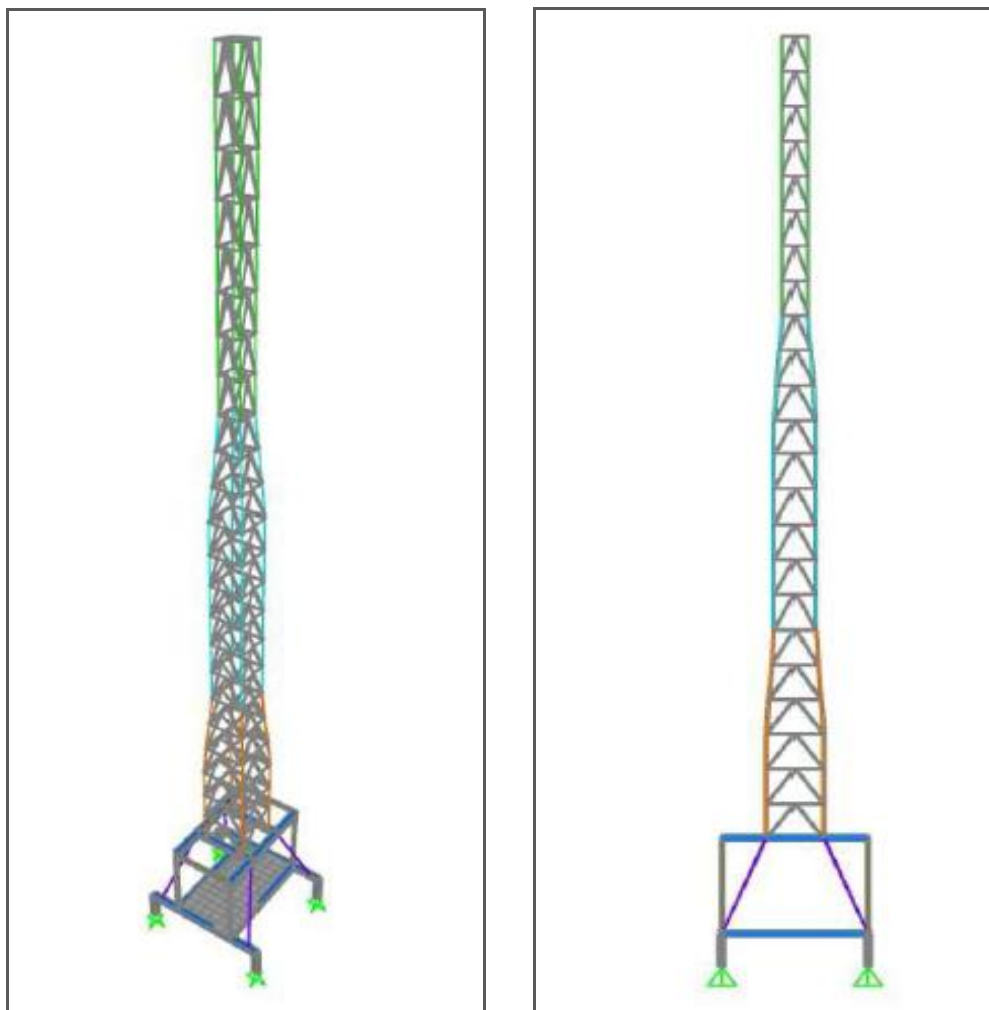


Figura 9 - Modelo de cálculo de uma torre metálica treliçada transportável

- Torre GFRC

Ao contrário das restantes torres definitivas, no dimensionamento destas torres foi considerado um período de vida útil de 20 anos e teve por base diversos dados obtidos em medições experimentais e ensaios desenvolvidos no âmbito do projeto europeu de investigação COOPERATIVE RESEARCH PROJECT BES2-5315/BRST-CT98-5232, uma vez que aquando da sua implementação em torres de radiocomunicações o GFRC era um material novo no que diz respeito



à sua aplicação em torres de radiocomunicações e não se conhecia o seu comportamento em estruturas de grande porte.

Nas ações permanentes para além do peso próprio da estrutura e equipamentos é também considerado a pós-tensão aplicada, sendo a força inicial 75% (0,75  $f_{puk}$ ) correspondente à capacidade máxima de resistência à tração do respetivo cabo.

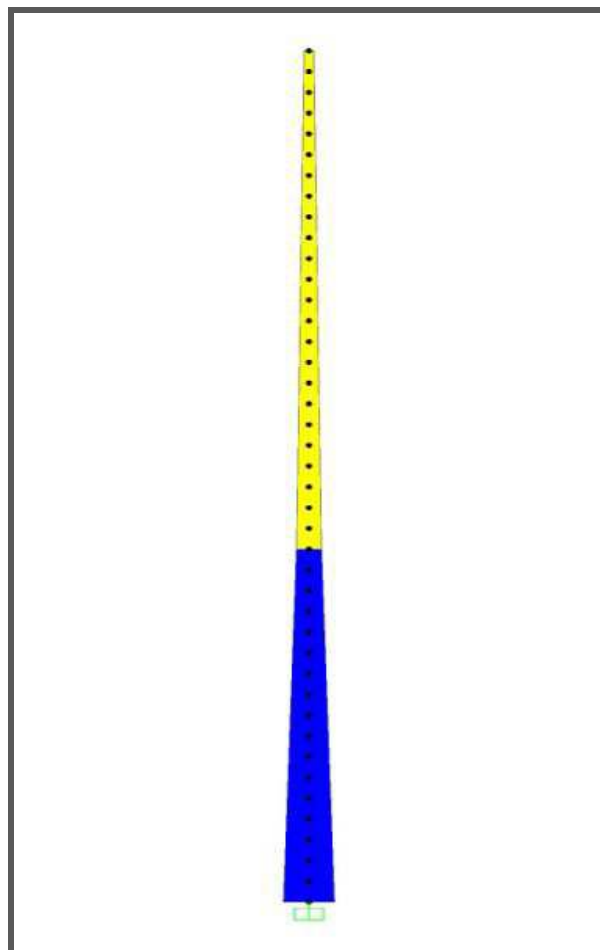


Figura 10 - Modelo de cálculo de uma torre tubular em GFRC



### 2.2.2. Inspeções periódicas

De modo a assegurar a fiabilidade dos dados obtidos nas inspeções efetuadas, as equipas de inspeção são constituídas pelo menos por dois técnicos inspetores e são da responsabilidade de uma entidade credenciada.

As inspeções são efetuadas por observação visual e pretendem ser o mais abrangentes possíveis avaliando a condição estrutural da torre, estado de cada elemento e ligações e sistemas de segurança.

Para as situações que possam comprometer a segurança estrutural e/ou de terceiros, como por exemplo a resistência à tração das ancoragens aonde estão fixas as espiais, são utilizados outros meios complementares de diagnóstico, tal como será descrito no próximo capítulo deste trabalho.

Durante a inspeção é classificado cada um dos parâmetros apresentados na tabela 1 com “Satisfaz” ou “Não satisfaz”.

Em função dos resultados obtidos, os inspetores técnicos avaliam a prioridade de intervenção como nível 1 (Imediata), nível 2 (Alta), nível 3 (Média) e nível 4 (Acompanhamento).

A entidade inspetora elabora o relatório da inspeção e o relatório fotográfico, sugerindo ações de reparação para todos os parâmetros classificados como “Não satisfaz”.



Tabela 3 - Parâmetros de Inspeção Periódica

<b>GERAL</b>
Aspeto geral da torre
Verticalidade da torre
Condição estrutural
Avaliação de corrosão
Proteção anticorrosiva (galvanização + pintura)
Verificação de espessura de aço
<b>SISTEMA DE ESPIAMENTO / ESCORAMENTO</b>
Tubo de escora / cabo espia (estado, tensionamento por observação visual)
Sistemas de amarração de escoras / espias (olhais, esticadores, manilhas, cerra cabos)
Ancoragem de espias / escoras
Pernos de ancoragem
<b>FUNDAÇÕES</b>
Fundações (estado de betão aparente)
Assentamentos, movimentos de terra, drenagens
Chumbadouros
Grouting
<b>LIGAÇÕES E FIXAÇÕES</b>
Ligações por soldadura (aspeto do cordão)
Ligações por aparafusamento
Ligação principal
Ligação secundária
Outras ligações (encaixes, ganchos, etc.)
Fixação antenas
<b>SEGURANÇA E ACESSOS</b>
Escadas e plataformas
Esteiras ou caminho de cabos
Sistema segurança
Vedações
Sinalética
Sistemas anti subida
Olhais para cinto de segurança
Verificação de check list do sistema anti queda
Sistema de terras / continuidade de cabo
Sistema de sinalização aérea



Para além destes parâmetros, é ainda verificada a segurança nos acessos às estações no que diz respeito a:

- Acesso a sistemas não radiantes, tais como: contentores, armários RBS (Radio Base Stations) outdoor, ar condicionado, etc;
- Escadas (verticais e retrácteis);
- Alçapão;
- Acessos e circulações em coberturas;
- Sinalização.

De referir que nem todos os parâmetros se aplicam a todos os tipos de torres, por exemplo, a verificação do sistema de espionamento/escoramento aplica-se apenas a torres metálicas treliçadas espiadas ou escoradas.

Como estas inspeções implicam a subida a torres, para verificação de todos os elementos, pressupõem-se elevados riscos de acidente sendo fundamental atender a todos os procedimentos de segurança na realização de inspeções, de acordo com o plano de segurança aplicado na empresa.

Durante o estágio foram acompanhadas inspeções *in situ*, bem como verificados e analisados os relatórios de inspeção elaborados pela entidade inspetora.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Capítulo 3

### Ensaio de Tração de Ancoragens

#### 3.1. Ensaios pontuais

Embora as inspeções visuais tenham bastante importância e permitam detetar e prevenir um grande número de anomalias, trata-se de um método com alguma subjetividade pois depende da avaliação e parecer dado pelo técnico inspetor.

Por outro lado este método é algo limitativo pois não permite obter informações relativas a aspetos não visíveis quanto ao estado da estrutura e materiais. Dadas estas limitações das inspeções visuais, é fundamental utilizar meios complementares de diagnóstico, baseados em ensaios que permitam aferir o estado dos elementos que compõe a estrutura e daí efetuar uma avaliação da segurança estrutural com maior precisão e menor subjetividade.

Deste modo, o programa de inspeção e manutenção de torres de radiocomunicações na Vodafone Portugal prevê a execução de diversos ensaios *in situ*, tais como:

- Ensaio da espessura do revestimento;
- Sondagens em maciços;
- Ensaio de tração em ancoragens.

O estágio desenvolvido teve especial foco no acompanhamento dos ensaios de tração em ancoragens de todas as torres metálicas de edifício espiadas/escoradas e correspondentes trabalhos de reparação e correção.

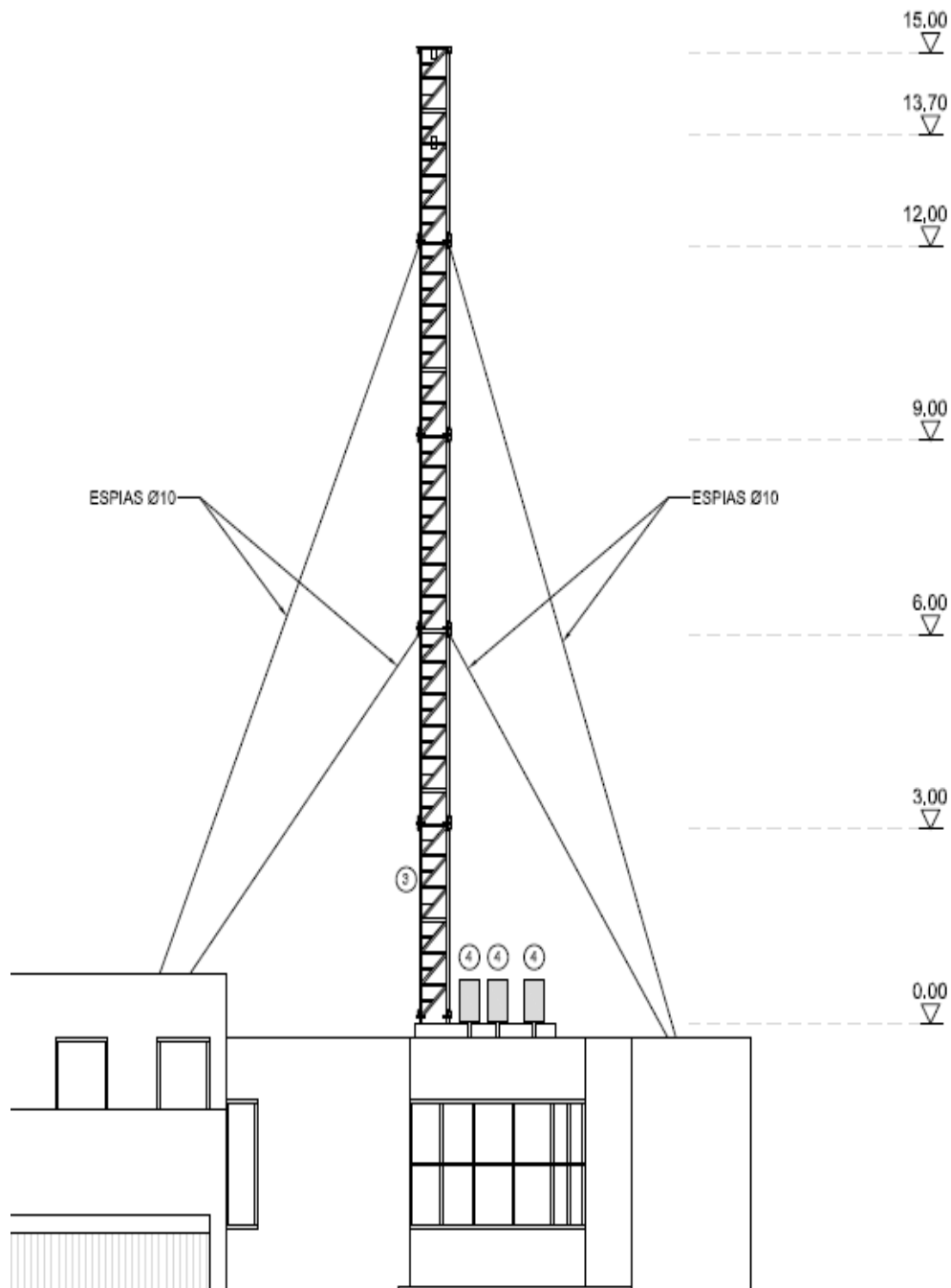


Figura 11 - Desenho de alçado (parcial) de uma torre metálica treliçada espiada de 15m

Para uma melhor compreensão dos trabalhos apresenta-se no anexo 2 exemplos de pormenores de ancoragens aplicáveis a este tipo de torres.



### 3.2. Ensaio de tração em ancoragens

A maioria das torres metálicas treliçadas em edifícios são suportadas por espias ou escoras ligadas ao suporte por meio de ancoragens.



Figura 12 - Exemplos de soluções de pontos de ancoragem

Como é evidente, uma ancoragem que não esteja a funcionar corretamente pode comprometer a estabilidade da torre e por conseguinte a segurança de bens e terceiros. Por esse motivo é muito importante para a Vodafone Portugal que todas as torres metálicas treliçadas em edifícios espiaçadas/escoradas sejam sujeitas anualmente a testes de tração.

O teste de tração em ancoragens é um ensaio de “arrancamento” que permite verificar a resistência da ancoragem e dos seus elementos, através da aplicação de uma força vertical, superior aos



valores determinados em projeto, a cada um dos elementos que compõem a ancoragem, pernos e chapa (conjunto), por meio de um aparelho de medição de cargas e dessa forma assegurar a segurança da ancoragem.



Figura 13 – Exemplos de aparelhos de teste para cargas até 145 kN e 25 kN, respetivamente (marca hydrajaws)

Os fatores mais relevantes que podem influenciar a resistência das ancoragens são:

- Capacidade resistente do suporte;
- Profundidade de encastramento dos pernos;
- Diâmetro dos pernos;
- Qualidade de execução da ancoragem;
- Qualidade dos materiais utilizados na execução.

Os testes de tração envolvem diversas fases e intervenientes e têm por base os valores de cálculo determinados aquando da verificação estrutural da torre. Em projeto é indicado o valor máximo de serviço (ações não majoradas) que irão corresponder às forças mínimas de tração a aplicar nas chapas e em cada um dos pernos para a execução do ensaio nos pontos de ancoragem.



O fluxograma representado na figura 14 explica de forma resumida as diversas fases e intervenientes neste processo.

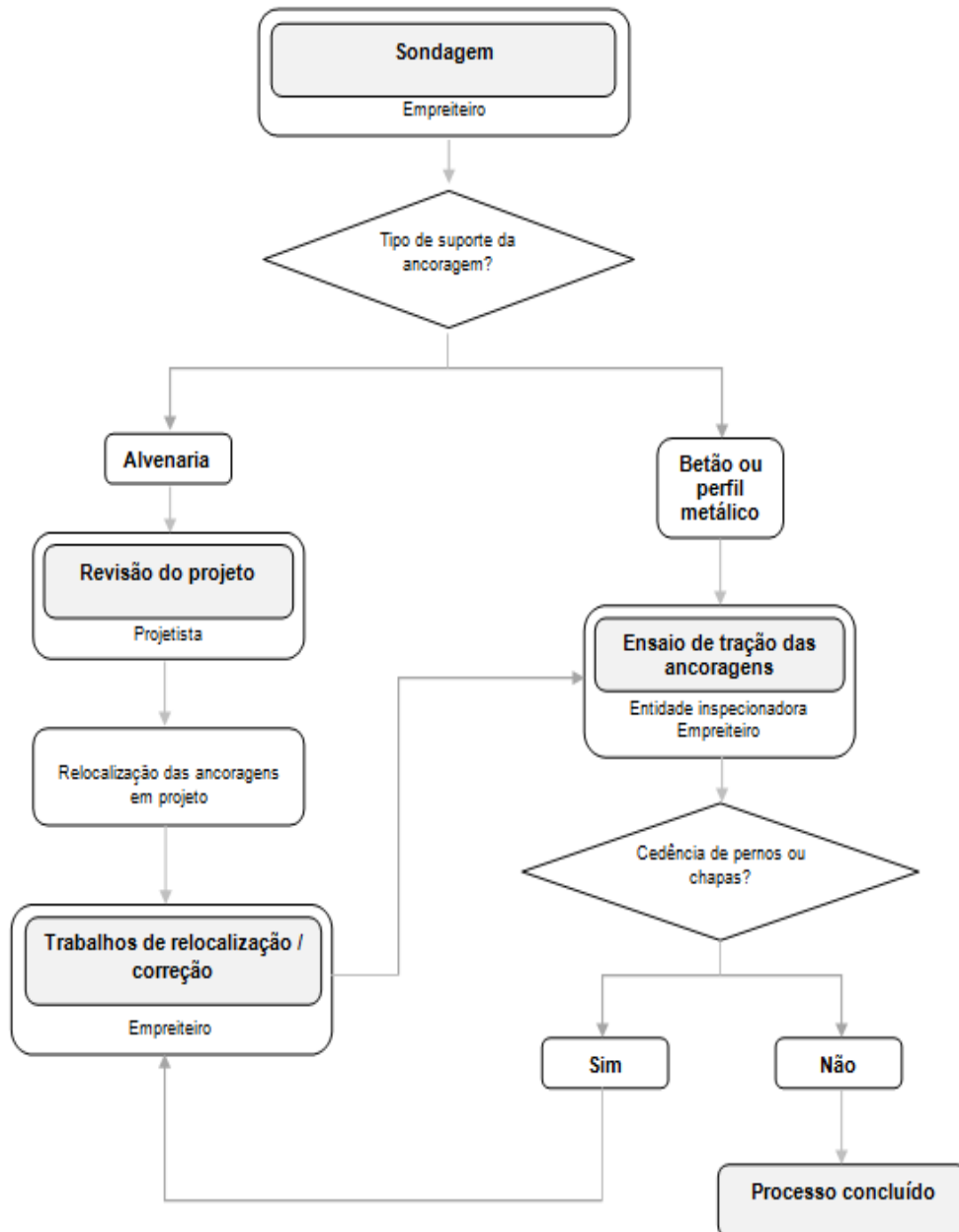


Figura 14 – Fluxograma das fases dos testes de tração em pontos de ancoragem de espigamento/escoramento



### 3.2.1. Sondagens

Antes de se iniciarem os testes de tração, o empreiteiro efetua trabalhos de preparação que incluem a execução de sondagens para verificar a capacidade resistente do suporte aonde estão executadas as ancoragens.

Caso a altura da torre seja superior a 12 m ou as condições no local assim o exijam, e de acordo com a avaliação da entidade inspetora e do empreiteiro, são instaladas ancoragens provisórias para assegurar a estabilidade e segurança estrutural da torre aquando da realização dos ensaios.

A sondagem é efetuada por meio de verificação visual da estrutura e apoiada por furos. Se a estrutura aonde assenta a ancoragem for em alvenaria ou em betão pobre, será necessário rever a localização da ancoragem, caso contrário estão reunidas as condições para serem efetuados os testes.



Figura 15 – Furação em murete de alvenaria e em maciço de betão

No caso de necessidade de reformulação de pontos de ancoragem, cabe ao empreiteiro informar a Vodafone Portugal dos resultados obtidos no local, devidamente apoiado por imagens esclarecedoras e sempre que possível sugerir soluções de reformulação.

Todas estas situações são avaliadas pelo projetista que decidirá a melhor solução a aplicar a cada caso.



Estes trabalhos preparatórios pretendem tornar mais eficiente a fase dos testes, evitando que as equipas que efetuam os ensaios se desloquem ao local desnecessariamente e antevendo possíveis situações de cedência.

No decorrer do estágio, foi acompanhada a introdução desta fase no processo de ensaios de tração em ancoragens, efetuadas visitas de acompanhamento e registo dos resultados. Posteriormente avaliaram-se os dados resultantes das sondagens que são apresentados no ponto 3.2.5 deste capítulo.

### **3.2.2. Revisão de projeto**

O projetista é informado sempre que se detete a cedência dos pernos das chapas de ancoragem. Dependendo da situação verificada no local, o projetista poderá optar por aceitar eventuais soluções propostas pelo empreiteiro ou dar outras instruções quanto aos trabalhos a desenvolver. A solução escolhida passará sempre pela realocização ou reformulação do ponto de ancoragem, podendo, ou não, implicar nova verificação estrutural da torre e correspondente alteração ao projeto inicial.

Dada a importância de se iniciarem os trabalhos de realocização das ancoragens deram-se início aos trabalhos com recurso a “esquissos” fornecidos pelo projetista e que posteriormente serão apresentados em projeto. No anexo 1, constam exemplos destas instruções passadas ao empreiteiro.

Na maioria das situações analisadas optou-se por realocar as ancoragens na laje da cobertura, com construção de um maciço em betão armado e teve-se especial atenção à não obstrução de caleiras, garantindo sempre uma distância mínima de 0,20m entre o maciço implementado e a platibanda de cobertura ou murete.

Nos casos em que a laje aparentava ter zonas de abobadilha ou tijoleira foi necessário proceder ao seu amaciamento.

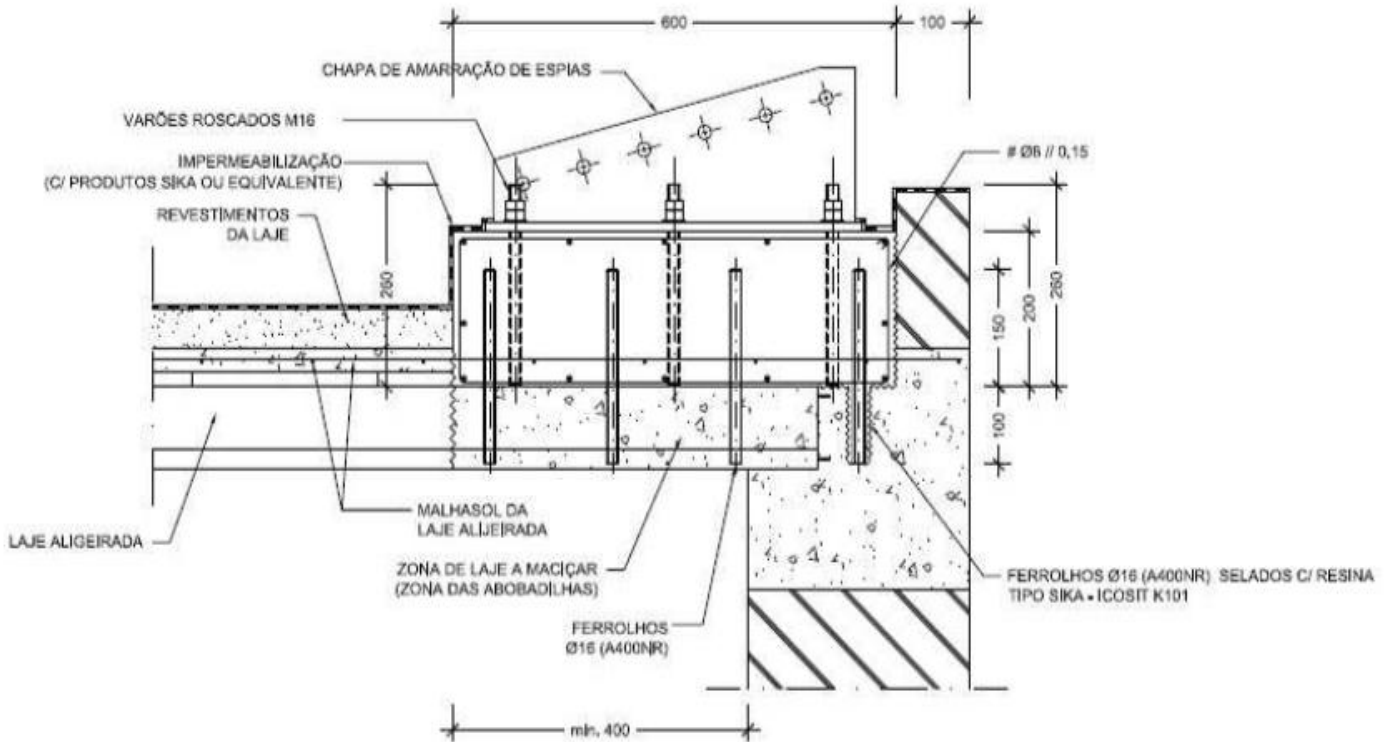


Figura 16 – Pormenor ancoragem com amaciamento de laje aligeirada de vigotas e abobadilhas

### 3.2.3. Ensaio de tração dos pontos de ancoragem

Os ensaios de tração das ancoragens foram executados pelo empreiteiro e supervisionados pela entidade inspetora a quem competiu validar as forças a aplicar durante os ensaios e posteriormente elaborou o relatório dos testes executados evidenciando a conformidade desses valores com os valores de projeto. No anexo 3 apresenta-se um exemplo de um relatório emitido pela entidade fiscalizadora relativo a estes ensaios.

Dado que os furos para introdução dos varões de aço, que servirão de suporte à ancoragem, são preenchidos com bucha química, recorreu-se aos valores recomendados pelo fornecedor para valores de tração para este material. Tendo como referencia esses valores, definiram-se valores standard para a carga de tração a aplicar nos ensaios de tração.



25 Bucha química W-EM								
Dados técnicos								
Diâmetro da bucha [mm]		M8	M10	M12	M16	M20	M24	
Carga recomendada	Betão C 25/30	$F_{recomendada}$ [kN]	8,5	10,5	14,4	16,6	28,9	31,3
Carga máxima	Betão C 25/30	$F_{máxima}$ [kN]	25,6	31,5	43,3	49,7	86,6	94,0

Figura 17 – Carga recomendada e máxima por diâmetro da bucha química (kN)

Desde que superiores aos valores de projeto, os valores das forças de tração a aplicar para os testes de tração a cada perno depende do diâmetro dos mesmos:

- M8 – Força de tração a aplicar a cada perno é de 6 kN,
- M10 / M12 – Força de tração a aplicar a cada perno é de 8 kN,
- M16 – Força de tração a aplicar a cada perno é de 10 kN.

No ensaio da chapa deve ser aplicada uma carga de tração igual à metade do valor do total de pernos que compõem a chapa, a multiplicar pela força de tração a aplicar a cada perno. Por exemplo, para um ponto de ancoragem com 4 pernos M12, o valor de tração a aplicar ao conjunto será de 16kN ( $F_{tchapa} = 4 \text{ pernos} / 2 \times 8 \text{ kN}$ ).



Figura 18 – Exemplo de teste de tração executado num perno M12 com uma força aplicada de 8kN



Como resultado dos testes de tração, pode ocorrer rotura por cedência de um dos pernos ou da chapa metálica, sendo necessário que o empreiteiro execute os respetivos trabalhos de reparação/correção das respetivas ancoragens aonde se deu a rotura, conforme é descrito no ponto 3.2.4 deste trabalho.

É importante reforçar, que por razões de segurança, para torres de maior altura (superior a 12 m) e conforme avaliação da entidade inspetora e do empreiteiro, se ocorrer cedência em alguma das ancoragens deve ser ativada a ancoragem provisória preparada na fase de sondagem.

#### **3.2.4. Trabalhos de reparação ou reformulação de ancoragens**

Foi preciso executar trabalhos de correção ou reformulação de ancoragens sempre que ocorreu uma das seguintes situações:

- Cedência de um ou mais pernos de uma ancoragem;
- Cedência da chapa metálica da ancoragem;
- Suporte da ancoragem com fraca capacidade de resistência à tração, tal como platibandas de cobertura em alvenaria.

Uma das principais ações desenvolvidas durante o estágio foi o acompanhamento dos trabalhos de reparação e realocização dos pontos de ancoragem das torres metálicas treliçadas espiadas ou escoradas.

Em resultado das diversas visitas efetuadas descrevem-se de seguida, para cada tipo de trabalho a executar, os processos utilizados.



### Reparação de ancoragens

Nos casos em que ocorreu cedência de pernos ou da chapa procedeu-se à substituição de todos os pernos da ancoragem e foram deslocados alguns centímetros em relação à sua posição inicial.



**Figura 19 – Furação em laje de cobertura para reparação do ponto de ancoragem**

Nesta operação teve-se especial atenção à profundidade mínima de encastramento dos pernos (superior a 10 cm) e à correta limpeza do furo, evitando resíduos que pudessem prejudicar a aderência. Posteriormente o furo foi preenchido com bucha química assegurando uma fixação de elevado desempenho, e colocados novos varões roscados.



**Figura 20 – Colocação de varões roscados e chapa metálica após aplicação de bucha química**



Depois de colocada a chapa metálica procedeu-se à aplicação de um vedante à base de poliuretano, resistente à temperatura, água e radiações solares, de modo a impossibilitar infiltrações e humidades prevenindo eventuais patologias que daí possam advir.

Por fim, as espias/escoras foram recolocadas.



Figura 21 – Aspeto final da ancoragem reparada e com a espia recolocada

### Relocalização de ancoragens

Nos casos em que a ancoragem se encontrava assente num suporte de fraca resistência foi necessário relocalizar a ancoragem. O processo de relocalização da ancoragem é semelhante ao descrito anteriormente para a reparação, embora dependa da nova localização.

Após instruções do projetista o empreiteiro executou os trabalhos, tendo sido necessário na maioria das vezes a construção de um maciço em betão armado ou amaciamento de laje aligeirada.

Como exemplo, descreve-se uma relocalização de ancoragem de escora, em que se manteve inalterado o comprimento da escora e os ângulos da escora em relação à torre.



Na execução deste trabalho começou-se por definir e preparar o local de implementação do novo ponto de ancoragem, executando-se os furos para encastramento dos varões.



Figura 22 – Desativação da ancoragem existente e preparação da nova localização

Depois de executados os furos e devidamente limpos foi aplicada a bucha química e introduzidos os varões, assegurando sempre o encastramento mínimo dos mesmos de 10 cm.



Figura 23 – Preenchimento dos furos com bucha química e colocação dos varões roscados

Depois da secagem da bucha química, executou-se o maciço em betão armado e impermeabilizou-se toda a área com tela líquida branca, que sendo um revestimento impermeável à base de



poliuretano, confere uma elevada elasticidade e uma boa aderência sendo ainda permeável ao vapor de água, evitando ocorrência de humidades.

O ponto de ancoragem desativado foi devidamente reparado.



**Figura 24 – Construção de maciço em betão armado e aspeto final da realocização da ancoragem**

Depois de terminados os trabalhos de reparação/relocalização das ancoragens, foram efetuados testes de tração a todas as ancoragens da torre (pernos e chapa) em que ocorreu a intervenção.

### **3.2.5. Análise estatística e considerações**

O acompanhamento de todo o processo de ensaios de tração em ancoragens, bem como a recolha, registo, tratamento e interpretação dos dados reportados pelos intervenientes neste processo, projetista, empreiteiro e entidade inspetora, culminou com a análise que a seguir se apresenta e corresponde a uma das tarefas desenvolvidas durante o estágio realizado.



Do total das torres abrangidas no processo de ensaios de tração, e à data desta análise, verificou-se que, das sondagens efetuadas, cerca de 54% das ancoragens estavam ligadas a um suporte que apresentava boa capacidade resistente.

Nas restantes 46% considerou-se que seria necessário proceder a trabalhos de realocação das ancoragens que, na grande maioria estavam ligadas a suportes em alvenaria, tendo sido todas as soluções adotadas validadas pelo projetista.

Em 60% das torres que se procedeu á realocação de ancoragens, foram executados trabalhos em todos os pontos de ancoragens, ou seja, todos os pontos de ancoragem foram corrigidos/relocalizados.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Capítulo 4

### Torre Metálica Treliçada Autosuportada Transportável

#### 4.1. Torres transportáveis provisórias vs definitivas

As torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis são torres de campo e são, por norma, a solução utilizada para o reforço temporário da rede de telecomunicações em determinado local.

Este reforço pode ser necessário quando exista um evento social de caráter temporário, como por exemplo em festivais de música, em época balnear, em situações que se verifiquem falhas na rede de radiocomunicações devido a problemas técnicos ou quando a área responsável pela manutenção da rede considere necessário reforçar num determinado local.

Dado este caráter temporário, estas torres são dimensionadas e instaladas tendo em consideração a sua utilização durante um prazo curto de tempo.

Contudo, muitas destas torres temporárias acabam por permanecer em funcionamento mais tempo que o inicialmente previsto, sendo nesses casos, necessário intervir em termos de reforço e manutenção.

De formar a aferir quais as situações que se devem considerar como temporárias ou definitivas, foi instituído que todas as torres implementadas há mais de dois anos devem ser consideradas torres definitivas e devem passar a garantir todos os critérios de segurança e manutenção aplicados a todas as restantes torres sendo necessário a revisão do estado estrutural e de conservação das mesmas.



Figura 25 – Torres metálicas treliçadas autoportadas transportáveis

#### 4.2.Dimensionamento

Os pressupostos de dimensionamento das torres metálicas treliçadas autoportadas transportáveis, no que diz respeito às ações permanentes e variáveis são idênticos aos já abordados no ponto 2.2.1 embora nas ações permanentes seja também considerado o peso da estrutura de apoio (em aço), das sapatas pré-fabricadas em betão armado e da cabine técnica e seus equipamentos. Nas ações variáveis é também considerada a ação do vento sobre a cabine técnica.

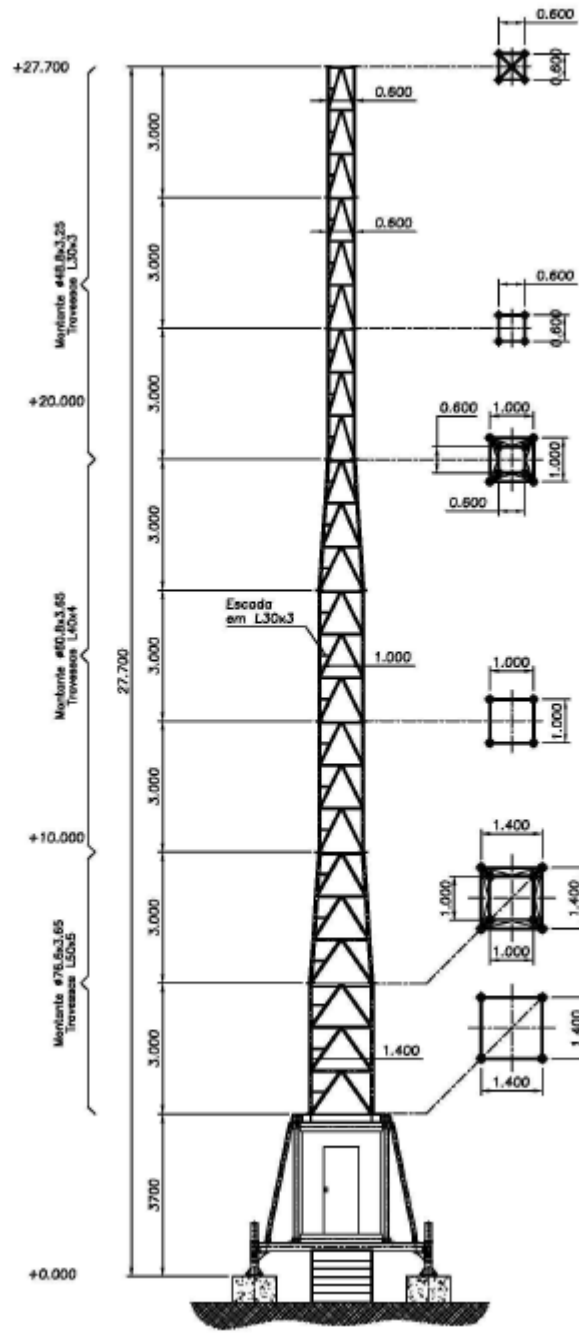


Figura 26 - Desenho de alçado de uma torre metálica treliçada autosuportada transportável de 24m + 3.70m

O pressuposto de dimensionamento diretamente afetado pela passagem destas torres de provisórias a definitivas é o tempo de vida útil para o qual a estrutura é dimensionada que passa a ser de 50 anos, implicando períodos de retorno do vento maiores. Deste modo, foi necessário



proceder à verificação estrutural de todas as torres transportáveis que passaram a definitivas assegurando a segurança aos estados limites últimos e estados limites de utilização.

Foi efetuada a verificação da segurança das secções aos estados limites últimos para as barras da torre treliçada (montantes e diagonais) e para as barras da grelha da estrutura de apoio (escoras e vigas). No caso das fundações, foi feita a verificação ao arranque, à compressão e ao derrubamento.

Em termos de verificações aos estados limites de utilização, determinaram-se os deslocamentos e as rotações máximas na estrutura para as combinações raras de ações e corrigidas para uma velocidade do vento de 100km/h (vento de “serviço”).

Depois de efetuada a verificação estrutural concluiu-se que cerca de 50% das torres não verificavam a segurança aos estados limites últimos.

As soluções de intervenção nestas torres podem passar pela execução dos seguintes trabalhos:

- Colocação de "contrapesos" de modo a equilibrar todo o conjunto;
- Construção de micoestacas (uma por sapata) para funcionar como pregagem;
- Diminuição da altura da torre com desinstalação do último troço e realocização dos equipamentos;
- Selagem dos pernos roscados, com argamassa de retração compensada, do espaço entre o topo da sapata e a chapa de base do montante da estrutura da base de modo a conferir proteção dos elementos expostos e melhor distribuição de esforços. A argamassa de retração compensada apresenta:
  - Boas resistências mecânicas e de desenvolvimento rápido;
  - Sendo isenta de cloretos e de partículas metálicas, não oxida em contato com humidades;
  - Tem um PH alcalino o que protege os elementos metálicos contra a corrosão.
- Reforço da torre treliçada através de escoramento.



Figura 27 – Exemplo de uma sapata com selagem de pernos e com pregagem e outra com pernos expostos

### 4.3. Inspeção e manutenção – Análise estatística

Após inspeção de cerca de 2/3 das torres transportáveis, cerca de 49% foram classificadas como nível 1, ou seja, havendo necessidade de intervenção imediata.

PRIORIDADE INTERVENÇÃO	
NÍVEL 1 – IMEDIATA	48,7%
NÍVEL 2 – ALTA	5,1%
NÍVEL 3 – MÉDIA	46,2%
NÍVEL 4 - ACOMPANHAMENTO	0,0%

Destas torres, em que se concluiu a necessidade de intervenção imediata, 94,7% não verificou o parâmetro de condição estrutural, dado que estas estruturas passaram de provisórias a definitivas tendo sido necessário executar trabalhos de reforço ou diminuição da altura da torre.

A partir das inspeções efetuadas, e após tratamento dos dados, obtiveram-se as percentagens de parâmetros classificados com “Não satisfaz”. Na tabela abaixo são indicados os parâmetros que foram classificados com “Não satisfaz” em mais de 50% das torres inspeccionadas.



Tabela 4 – Percentagem de parâmetros "Não Satisfaz" em mais de 50% das torres inspeccionadas

PARAMETROS " NÃO SATISFAZ"	% no total das torres inspeccionadas
Escadas e plataformas	89.7%
Esteiras ou caminho de cabos	89.7%
Proteção anticorrosiva	87.2%
Outras ligações	76.9%
Sistema segurança	76.9%
Chumbadouros	76.9%
Grouting	76.9%
Verificação de check list do sistema anti-queda	74.4%
Ligações por aparafusamento	71.8%
Sinalética	61.5%
Fundações	61.5%
Condição estrutural	51.3%

Constatou-se que a maioria dos parâmetros em que ocorreram maiores percentagens de “Não satisfaz” estavam diretamente relacionados com o facto de serem torres provisórias, alguns exemplos são:

- Para o parâmetro que avalia a *proteção anticorrosiva* verificou-se que 87,2% das torres inspeccionadas apresentavam extremidades superiores de montantes sem tamponamento.
- No parâmetro *escadas e plataforma* verificou-se a ausência de escada amovível no interior de cabine técnica que permita o acesso a base de torre em 89,7% das inspeções efetuadas.
- A avaliação do parâmetro *esteiras ou caminho de cabos* constatou que em 89,7% das inspeções executadas este parâmetro não satisfaz por se encontrarem cabos desalinhados e amarrados a travessas com abraçadeira plástica.

Por outro lado, e para os parâmetros que mais podem comprometer a segurança estrutural da torre, foi verificada a conformidade em 100% das torres inspeccionadas, como são exemplo os seguintes parâmetros:



- Ligações por soldadura;
- Ensaio de medição de espessuras de revestimento de proteção;
- Assentamentos, movimentos de terra e drenagens.

Todos os dados apresentados foram o resultado da análise dos relatórios de inspeção elaborados pela entidade inspetora e dos projetos de verificação estrutural, tendo sido desenvolvida enquanto tarefa executada no âmbito do estágio realizado.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Capítulo 5

### Torres GFRC

#### 5.1. Caracterização do GFRC e a sua aplicação em torres de radiocomunicações

Na década de 90 as redes de radiocomunicações expandiam-se em grande escala, com conseqüente implementação de novas torres enquanto infra-estrutura necessária.

De modo a responder a esta procura tornou-se necessário uma maior rapidez e capacidade de produção e começaram a avaliar-se soluções de pré-fabricação em betão armado para torres.

Desenvolviam-se estudos, financiados pela comissão europeia, que envolviam fornecedores e áreas de investigação, que pretendiam avaliar o comportamento do compósito de betão reforçado com fibras de vidro aplicados em torres de radiocomunicações - Ferreira, J. (2002) “Caracterização e aplicação estrutural do betão reforçado com fibras de vidro (GRC): aplicação a torres de telecomunicações”, Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico.

O grande potencial esperado e as necessidades identificadas levou à implementação de algumas torres em GFRC pela Vodafone Portugal (na altura Telecel).

O GFRC consiste num betão de finos sem brita, composto por cimento de alto desempenho (Cimento Portland CEM I 52,5R), areia siliciosa, água e aditivos. A esta matriz é adicionado fibra de vidro, com dimensões entre 35 e 50 mm, que confere consistência à matriz melhorando o



comportamento do material à tração, tendo-se concluído, pelos estudos desenvolvidos um valor médio da tensão de rotura à tração de 7,5 mPa.

No que diz respeito aos valores característicos de resistência à compressão é idêntico aos betões de alta qualidade e desempenho, mas para que seja verificado estes valores exige um controlo de qualidade muito rigoroso.

Apesar das melhorias conseguidas pela introdução da fibra de vidro na matriz em termos de resistência a esforços de tração, quando utilizado este material em torres sujeitas a elevados esforços verificou-se que a resistência do GFRC era insuficiente e por isso teria de haver uma solução de armaduras.

Em primeira fase, foi considerada a utilização de armadura composta com fios de carbono que têm bom comportamento à tração embora não seja tão boa ao corte e por isso a torre seria “enrolada” com malha electrosoldada, mas dadas as pequenas espessuras que se conseguia com o GFRC torna-se difícil cumprir recobrimentos com conseqüente ocorrência de oxidação dos elementos metálicos.

Numa segunda fase, optou-se pela utilização de varões em aço inox grafitados dispostos longitudinalmente no interior da torre (zona oca), e aplicada pós-tensão correspondente a 75% da capacidade máxima do cabo. Ao longo dos troços da torre, o número de cabos pós-tensionados varia, sendo em maior número no troço da base e reduzindo com a altura.

De salientar que ao ser aplicada a pós-tensão a estrutura fica fortemente comprimida e esta compressão é aumentada em determinadas seções quando ocorre flexão da estrutura pela ação do vento.

As zonas de encaixe dos diversos troços (zonas com cerca de 0.5m), por serem pontos críticos da estrutura, são reforçadas com arame em aço inox, disposto em espiral (cintas).



Figura 28 – Pormenor de ligação de troços



Figura 29 – Pormenor da ligação da base da estrutura por meio de flanges ligadas com chumbadouros roscados



## 5.2. Dimensionamento

As torres em GFRC foram dimensionadas para 20 anos o que reduziu o período de retorno do vento e conseqüentemente o valor da pressão dinâmica do vento que passou a ser minorado pela aplicação de um fator de correção de 0,89.

Para as ações permanentes foi considerado o peso próprio da estrutura recorrendo a medições experimentais para obtenção do peso específico do material ( $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ), o peso da plataforma e dos equipamentos. Foi também considerado o pós-esforço para uma tensão inicial de 75% da tensão de rotura dos cabos de pré-esforço. O valor do pré-esforço a tempo infinito é obtido pela multiplicação do fator 0.88 ao valor da tensão inicial.

Nas ações variáveis tal como para as restantes torres considerou a ação do vento como condicionante por apresentar valores mais gravosos. Os coeficientes de força aplicados foram determinados experimentalmente através de ensaios em modelo reduzido em túnel de vento.

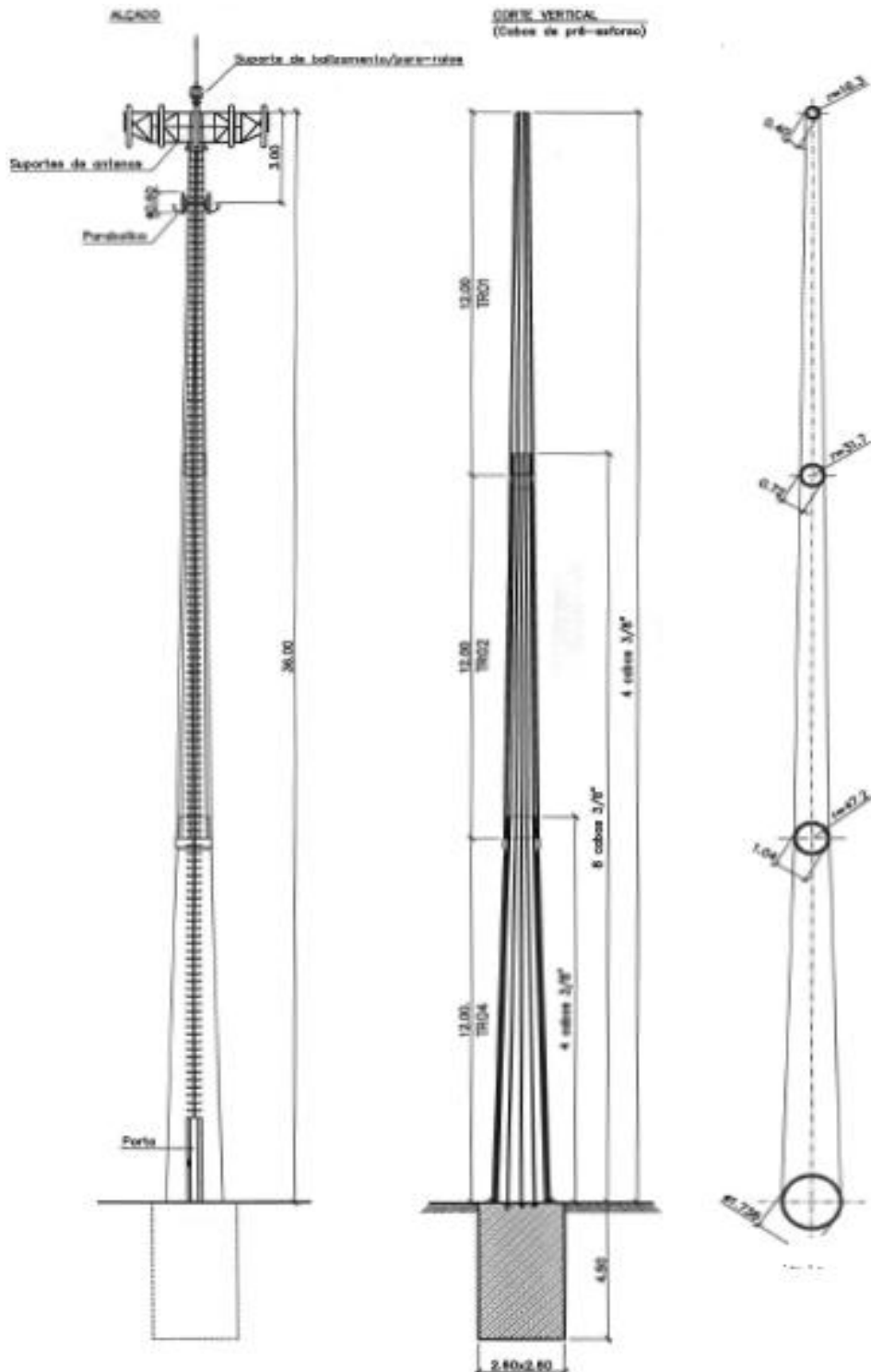


Figura 30 – Desenho de alçado e cortes de cabos de pré-esforço para uma torre em GFRP de 41m



### **5.3. Vantagens e desvantagens na utilização de GFRC em torres de radiocomunicações**

Quando associada a fibra de vidro ao betão conseguem manter-se os bons valores de resistência à compressão característicos do betão, e melhorar significativamente a capacidade de resistência à tração, permitindo obter elementos estruturais de menores espessuras.

Como consequência obtém-se uma estrutura mais leve o que irá refletir-se em vantagens em termos de esforços na estrutura, maior facilidade de transporte e instalação e menor impacto ambiental por ser usada uma menor quantidade de material. Contudo, para que se consigam bons valores de resistência é necessário assegurar um elevado controlo de qualidade na produção.

A maior desvantagem de utilização deste material em torres é a fraca ou inexistente informação quanto ao seu processo de envelhecimento no que diz respeito à degradação das propriedades deste compósito. De salientar a importância de se utilizarem na produção deste material cimentos de baixo teor alcalino e fibras com propriedades alcalino-resistentes para que não ocorra reatividade álcali-sílica.

No decorrer de inspeções efetuadas a estas torres verificou-se que as patologias características de elementos de betão também ocorrem neste material, como por exemplo delaminação e fendilhação em determinadas seções destas torres.



**Figura 31 – Fendilhação em Torres em GFRC**

Outra dificuldade na execução das inspeções tem a ver com a impossibilidade de acesso ao interior da torre para verificação do estado dos elementos, em particular, das ligações e tensões instaladas nos cabos de pré-esforço. Uma solução apresentada pelo empreiteiro, para ultrapassar parte desta dificuldade, seria a medição da frequência de vibração do cabo com recurso a aparelhos próprios de medição, a instalar no interior da torre e dessa forma obter os valores de tensão instalado nos cabos.

Mais recentemente, foi decidido remover uma destas torres por apresentar um desvio significativo no topo (figura 32). Após remoção detetou-se que um dos cabos de pós-tensão tinha-se soltado estando a torre debilitada e dessa forma não estar assegurada a segurança (figura 33).

Como consequência, foi decidido avaliar todas as torres GFRC existentes e verificar se devem ser removidas, reforçadas ou aligeiradas.



Figura 32 – Exemplo de torres em GFRC com desvio no topo



**Figura 33 – Cabo de pós-tensão solto na zona oca de uma Torre em GFRC**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Capítulo 6

### Considerações finais e desenvolvimentos futuros

#### 6.1. Conclusões e Avaliação do estágio

Em conclusão, o programa de inspeção e manutenção de torres de radiocomunicações da Vodafone Portugal é um processo dinâmico, que procura de forma contínua a melhoria dos níveis de eficácia e eficiência, procurando integrar, sempre que aplicável, ajustes e novos processos com vista ao prolongamento de vida útil das torres e à segurança de bens e de terceiros.

Todas as equipas intervenientes neste programa estão envolvidas neste processo de melhoria contínua e estão alinhadas com os objetivos da empresa, pela aplicação das melhores práticas existentes, com critérios rigorosos de execução e de qualidade dos materiais e da mão-de-obra, e desenvolvendo controlos que permitam agir atempadamente para que nunca esteja em causa a segurança do bem e de terceiros.

É através desta envolvimento e interação das diversas áreas, desde o dono de obra, projetista, entidade inspetora e empreiteiro, que se consegue assegurar o melhor resultado nos objetivos do programa de inspeção e manutenção.

Em termos de balanço do estágio desenvolvido, foram cumpridos os objetivos inicialmente propostos no que diz respeito ao levantamento, avaliação e acompanhamento das ações relativas aos processos de inspeção e manutenção e definição estrutural, e mais especificamente:



- Estado de conservação e resistência das ancoragens por meio dos ensaios de tração e respetivos trabalhos de manutenção e reparação;
- Definição estrutural em projeto das torres metálicas treliçadas autosuportadas transportáveis;
- Análise das torres GFRC em particular a análise das vantagens e desvantagens da aplicação deste material em torres de radiocomunicações.

No decorrer do estágio foi possível acompanhar e analisar as soluções escolhidas e perceber as razões das opções tomadas:

- Pela participação em reuniões com a equipa Vodafone, empreiteiros, projetista e fiscalização;
- Em campo, no acompanhamento da fiscalização e da receção dos trabalhos.

O estágio permitiu a consolidação e maior entendimento de alguns conhecimentos académicos pela vivência da realidade na área de infraestruturas da empresa.

Foi especialmente enriquecedor pelo contato e partilha com especialistas nas áreas de projeto, manutenção e fiscalização, que contribuiu para o conhecimento mais aprofundado na área da inspeção e manutenção de estruturas, especificamente de torres, desde a fase de projeto, manutenção, ensaios, reforço e reparações a que estas estruturas estão sujeitas durante o seu tempo de vida útil.

## **6.2.Desenvolvimentos futuros**

Conforme abordado no ponto anterior, a melhoria contínua do programa de inspeção e manutenção pressupõe a identificação constante de oportunidades de melhoria do processo.

Um dos desenvolvimentos previstos é a criação de uma base dados com toda a informação integrada para registo das inspeções e trabalhos de manutenção que permita avaliar e comparar as



patologias mais recorrentes bem como os trabalhos executados e assim aferir ações de modo a melhorar o programa existente. As principais vantagens deste desenvolvimento são:

- Detetar e entender os principais fatores causadores de anomalias;
- Escolha das melhores soluções, em termos de eficácia e custos;
- Controlar a ocorrência e evolução das patologias;
- Sistematização de procedimentos.

Prevê-se ainda o alargamento do programa de inspeção e manutenção de torres de radiocomunicações na Vodafone Portugal a suportes individuais de antenas em edifícios.

Recentemente implementou-se o processo de ensaios de tração em ancoragens de torres metálicas treliçadas espiadas/escoradas a todo o grupo Vodafone, tendo sido já adotado pelo grupo e incluído no processo *Minimum maintenance requirements for antenna support structures*.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## Bibliografia

### LEGISLAÇÃO:

- RSAEEP, Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei n.º 235/83 de 31 de Maio.
- Eurocódigo 3: Projecto de Estruturas de Aço; Parte 1.1: Regras Gerais e Regras para Edifícios (NP EN 1993-1-1:2005)
- Regulamento para obtenção de autorização municipal inerente à instalação e funcionamento das estações de radiocomunicações, Decreto-Lei n.º 11/2003, de 18 Janeiro
- Regulamento para licenciamento de redes e estações de radiocomunicações e à fiscalização da instalação das referidas estações e da utilização do espectro radioelétrico, Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de Julho
- Regras gerais de planeamento, organização e coordenação para promoverem a segurança, higiene e saúde no trabalho em estaleiros da construção, Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de Outubro

### TRABALHOS DE MESTRADO/DOCTORAMENTO:

- Murteira, A. (2010) “Inspeção e manutenção de torres e postes de radiocomunicações”, Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



- Travanca, R. (2010) “Torres para radiocomunicações. Patologias e dimensionamento”, Tese de mestrado, Universidade de Aveiro
- Ferreira, J. (2002) “Caracterização e aplicação estrutural do betão reforçado com fibras de vidro (GRC): aplicação a torres de telecomunicações”, Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico
- Beton-Verlag, Glassfibre Reinforced Concrete. Practical Design and Structural Analysis

**DOCUMENTOS INTERNOS:**

- Manual de procedimentos de manutenção de infra-estruturas da Vodafone Portugal, versão 01, Abril 2008
- Caderno de encargos de inspeções de infra-estruturas de suporte de antenas da Vodafone Portugal, versão 02, Julho 2010
- RSAIV – Regulamento de Segurança da Actividade nas Instalações da Vodafone, versão 03, Outubro 2009

**SITES:**

[http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/Mestr\\_Estr/NovosMateriais/apontamentos/teorica/GRC%20-%20Construcao%20de%20elementos%20estruturais%20em%20GRC.pdf](http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/Mestr_Estr/NovosMateriais/apontamentos/teorica/GRC%20-%20Construcao%20de%20elementos%20estruturais%20em%20GRC.pdf) visitado em 15 de Maio de 2013

[http://alephfiles.rtu.lv/TUA01/000025212\\_e.pdf](http://alephfiles.rtu.lv/TUA01/000025212_e.pdf) visitado em 15 de Maio de 2013



<http://www.hydrajaws.co.uk/Products/Heavy-Duty-Range.aspx> visitado em 24 de Junho de 2013

[http://www.wurth.pt/catalogos/WPT\\_FIRMA\\_OUT/blaetterkatalog/index.html](http://www.wurth.pt/catalogos/WPT_FIRMA_OUT/blaetterkatalog/index.html) visitado em 24 de Junho de 2013

<http://www.jobasi.pt/catalogos/telecomunicacoes.pdf> visitado em 24 de Junho de 2013

[http://www.acn.eng.br/imagens/downloads\\_acad/EM%20I.pdf](http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM%20I.pdf) visitado em 02 de Julho de 2013

<http://www.engenhariacivil.com> visitado em 15 de Julho de 2013

<http://www.emesa.com> visitado em 30 de Julho de 2014



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

**ANEXOS**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **ANEXO 1**

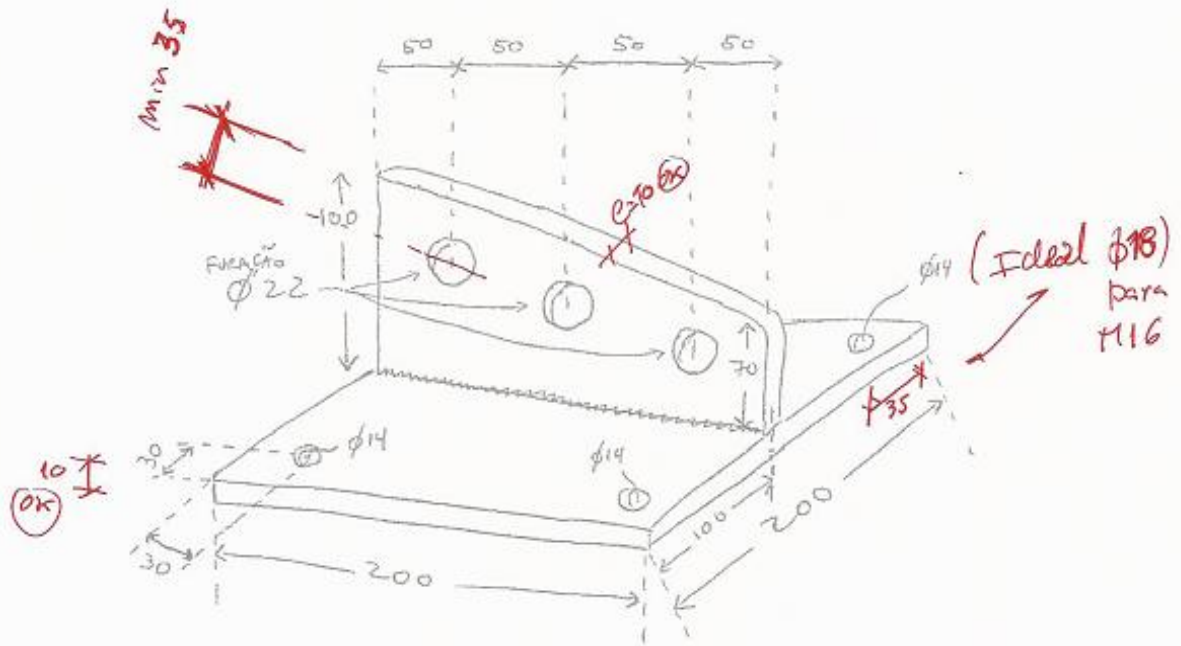
### **Esquisso chapas amarração e maciços correntes**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



CHAPAS DE ANCORAGEM PARA ESPIA:

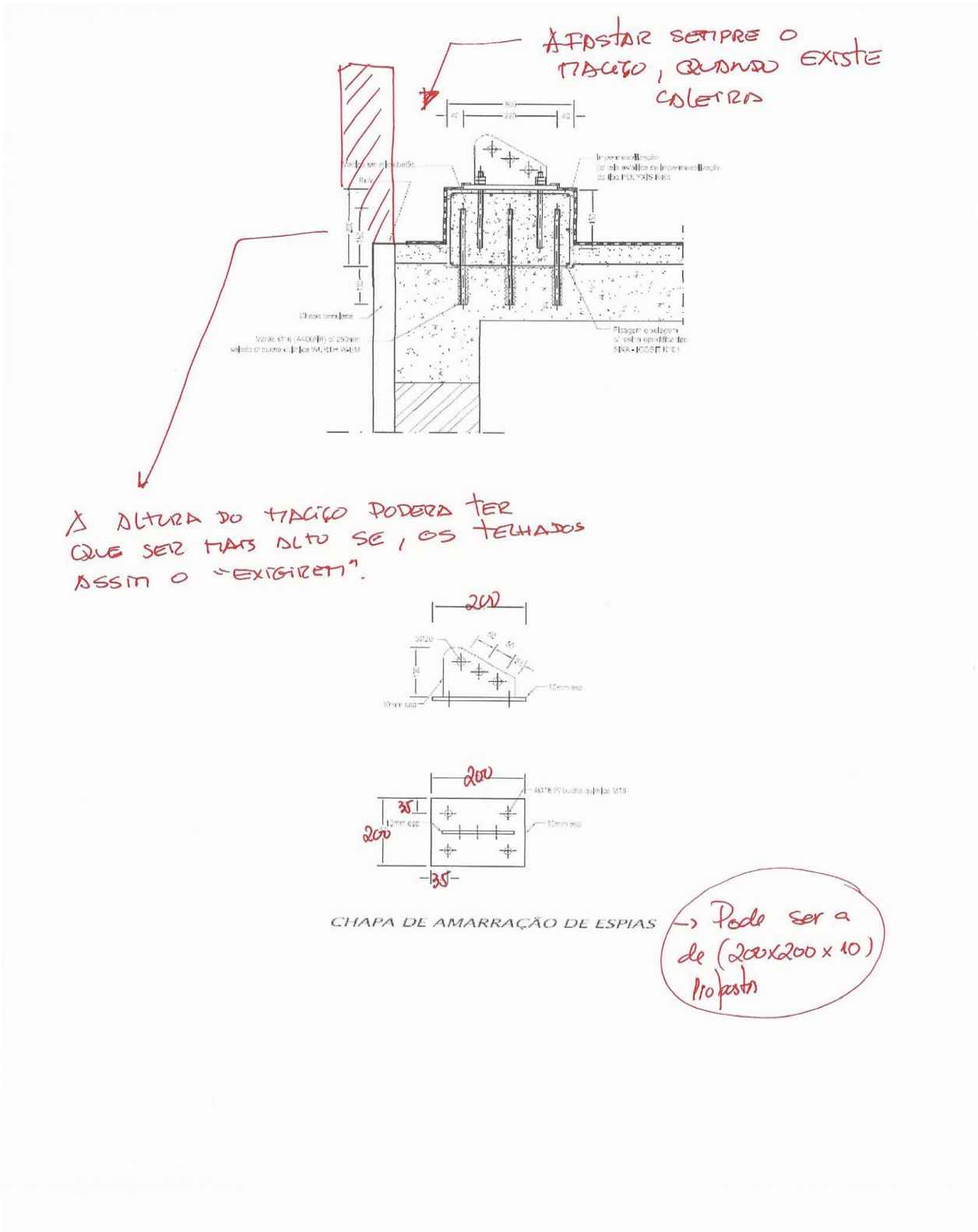


CHAPAS DE 10mm de espessura

(24) UNIDADES

OBRA:	2075/13	(6 UNIDADES)
	1791/13	(6 UNIDADES)
	2088/13	(6 UNIDADES)
	2085/13	(6 UNIDADES)

Nota:  
Cumforme projeto cederiam  
deixar sempre uma porcent  
de Reserva para futura  
eventualidade





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **ANEXO 2**

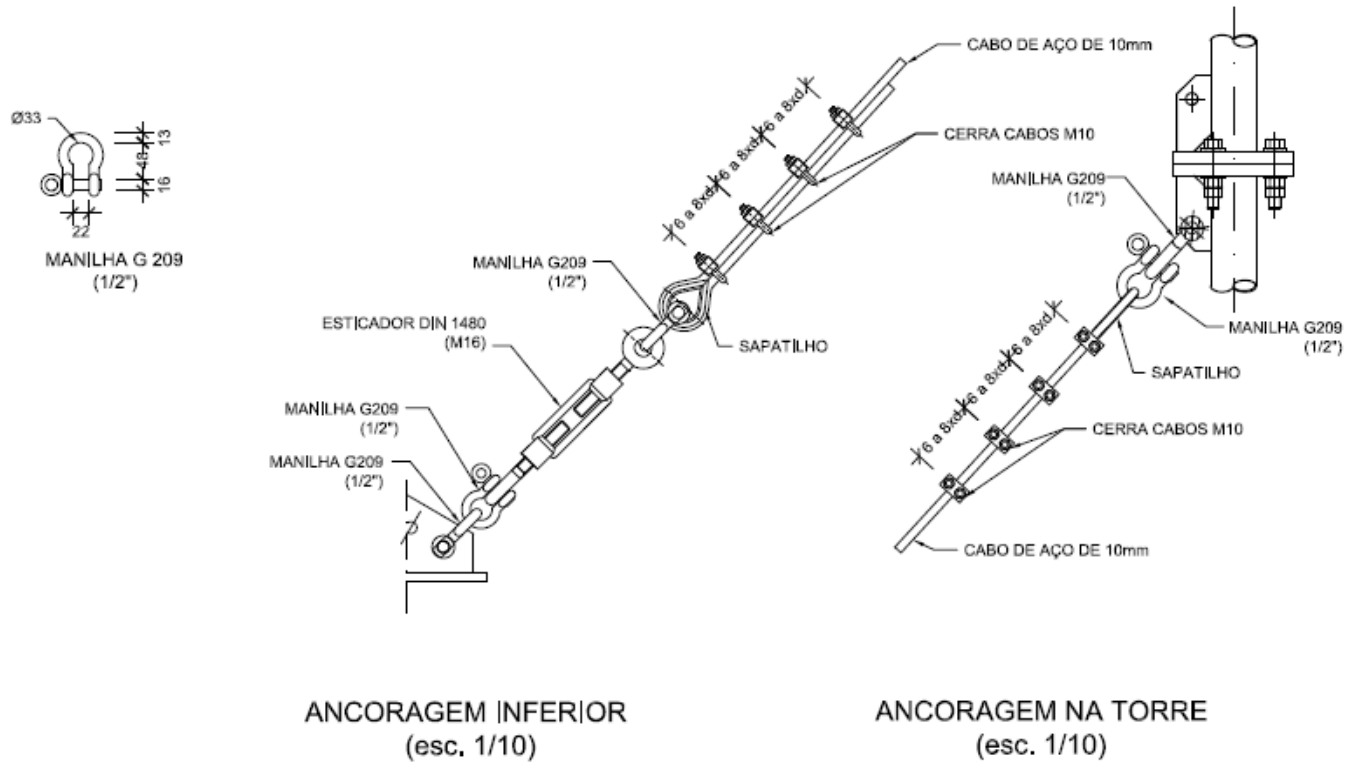
### **Pormenor fixação de espias**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

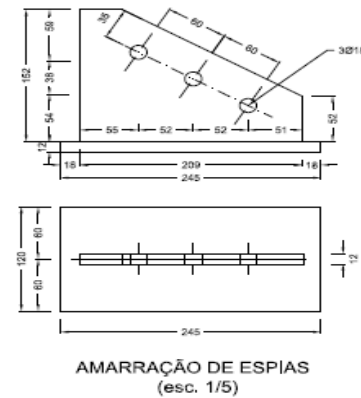
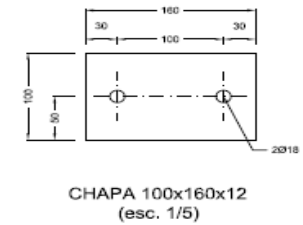
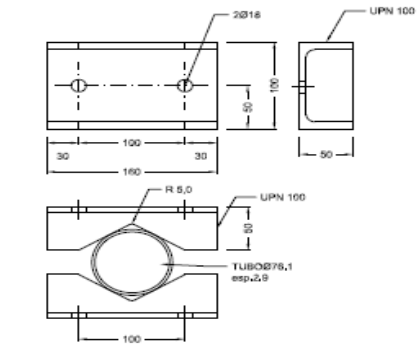
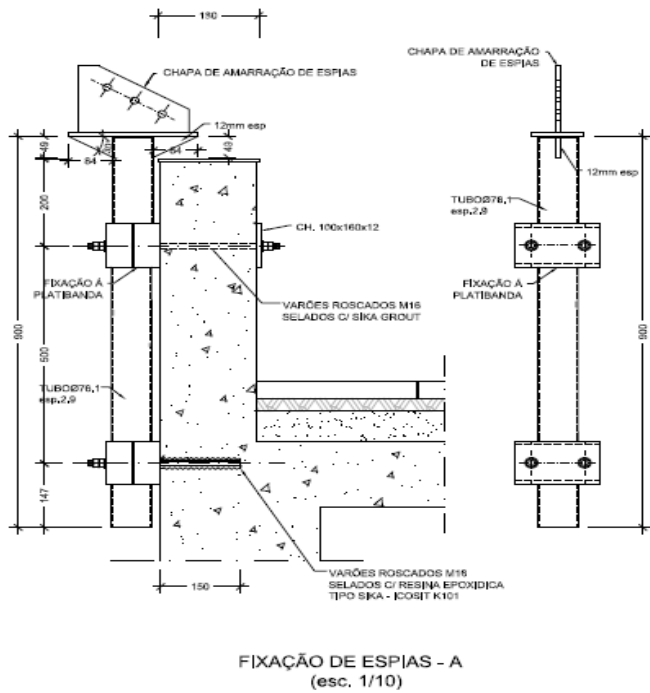


Ligação da espia ao edifício e ligação na torre



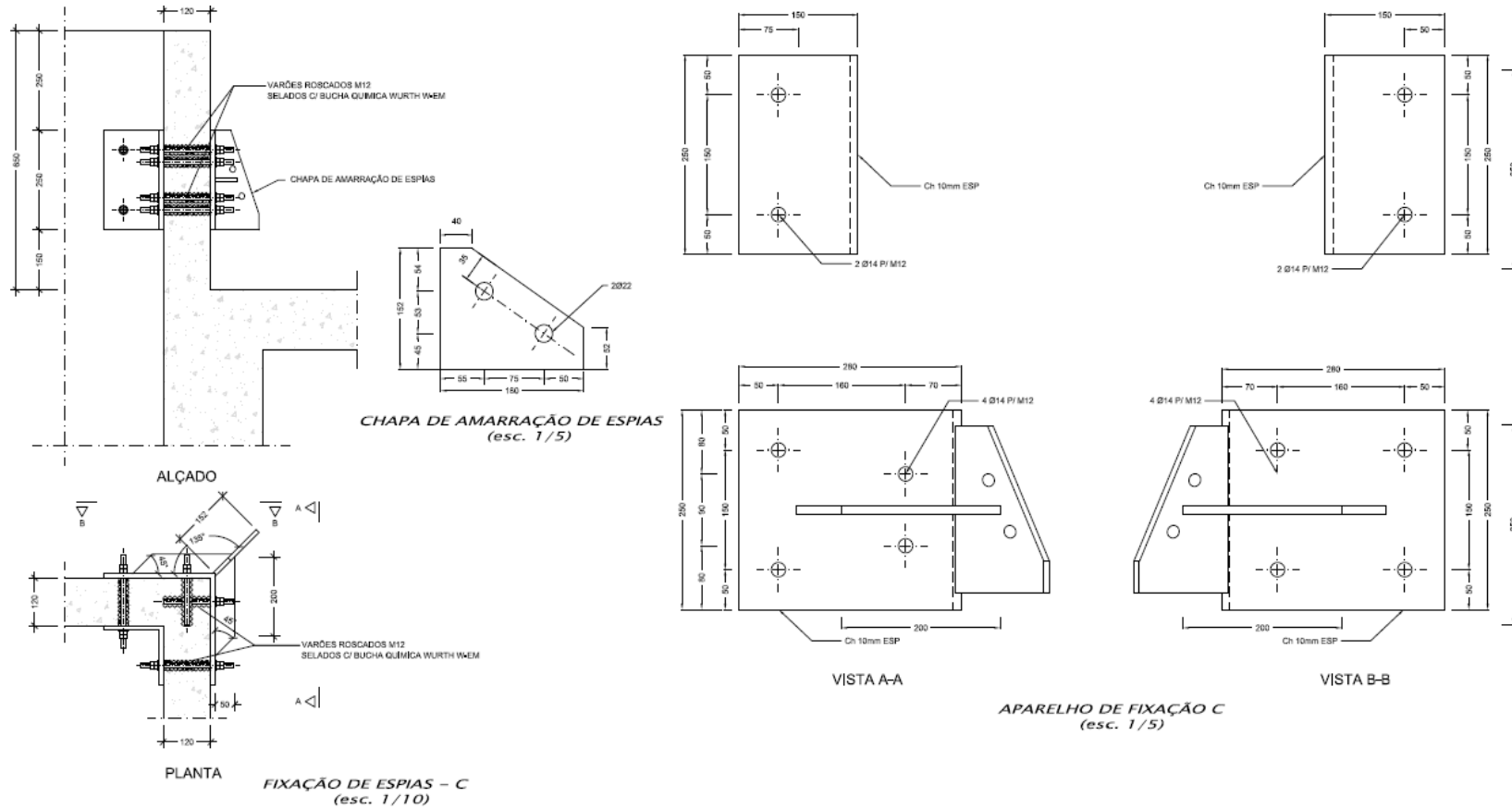


Fixação de espia á platibanda



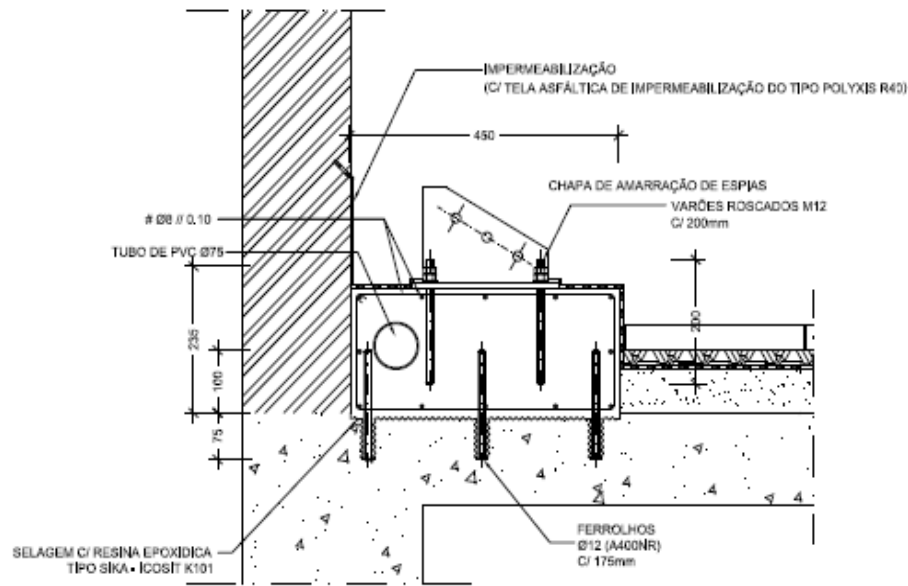


### Fixação de espia á platibanda

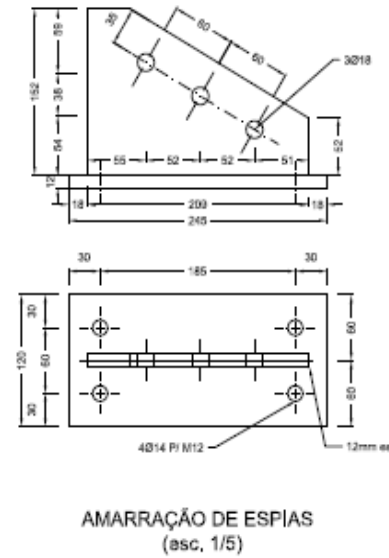




### Fixação de espia a um maciço de betão armado



FIXAÇÃO DE ESPIAS - B  
(esc. 1/10)



AMARRAÇÃO DE ESPIAS  
(esc. 1/5)



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **ANEXO 3**

### **Relatório de ensaios tração em ancoragens**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



**1. Ensaio de "arrancamento" às 'chapas / aparelhos de fixação de espias' e 'pernos de fixação de aparelhos de fixação' através de aplicação de forças horizontais**

1.1 - Força de ensaio por aparelho de fixação, definida em projecto: TAU de 15 Fevereiro 2012 (adenda)

Aparelho de fixação	F <sub>horizontal</sub> (kN)
FE1; FE2; FE3;	17,00

1.2 - Força de ensaio por varão, definida em projecto

Aparelho de fixação	F <sub>horizontal</sub> (kN)
FE1; FE2; FE3;	4,25

**2. Resultados obtidos**

Força de ensaio por chapa/ Pernos de fixação

Aparelho de fixação	Força testada (kN)	Resultado
FE1	42,0	OK
FE2	56,2	OK

Pernos de fixação (*)	Força testada (kN)	Resultado
FE3	8,0	OK

(\*) 50% pernos ensaiados

**3. Análise de resultados / conclusões**

Chapa e pernos de fixação de chapas de ancoragem de espias testadas a forças superiores ao definido em projecto, Sem Cedência

Ancoragem de chapas: Conforme



#### 4. Registo Fotográfico



Foto 1: Ensaio de tracção a aparelho de fixação de espas em platibanda de cobertura de edificio (FE1).



Foto 2: Pormenor de força de teste aplicada (42 kN) a aparelho de fixação (FE1).



Foto 3: Colocação de equipamento para aplicação de tracção em chapa de ancoragem de espas (FE2).



Foto 4: Equipamento em posição para aplicação de tracção em pernos de fixação de aparelho de ancoragem de espas (FE3).



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **ANEXO 4**

### **Auto de receção provisória**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



<p>VODAFONE PORTUGAL, Comunicações Pessoais S.A.</p> <p>Direção de Património Departamento de Gestão de Projetos e Construção de Infraestruturas</p> <p>ACEITAÇÃO PROVISÓRIA</p>	
--	--

Estação : Grça L5300151(0072; 362026)

Data: 16 / 07 / 2013

**Folha Resumo:**

- Trabalhos aceites sem problemas
- Trabalhos com aceitação condicionada à resolução dos problemas abaixo indicados

Deverão ser:

- Disponibilizadas fotografias das inconformidades resolvidas (em ficheiro único, formato pdf);
- Corrigidas as quantidades, trabalhos e materiais indicados no auto em anexo.

Descrição das inconformidades:

- Falta item correspondente ao caso de Aço inicial do 6.1.4.2.1.  
Falta cabeçalho do item 7.1.3.2. (é o item 7.1.3).
- Item 10.7 é necessário que a TLC indique quais as antenas  
aferradas, assim como (e para cada uma delas) quais os TILT'S e  
adivites que foram recomendados e/ou corrigidos.
- Aumentar/reposicionar (ao longo da torre) os ZABOS DE 7/8" etc  
entadas.
- Colocar no auto 12 v's de varão de 12 mm, item 7.6.3.  
item 7.1.3.2. com a quantidade 28 Para 12.
-



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA  
Área Departamental de Engenharia Civil

<p>VODAFONE PORTUGAL, Comunicações Pessoais S.A. Direção de Património Departamento de Gestão de Projetos e Construção de Infraestruturas ACEITAÇÃO PROVISÓRIA</p>	
--	--

Estação : Grupa 45800151 (0072; 362024)

Data: 16/07/2013

**Folha Resumo (continuação):**

- Trabalhos aceites sem problemas  
 Trabalhos com aceitação condicionada à resolução dos problemas abaixo indicados

Deverão ser:

- Disponibilizadas fotografias das inconformidades resolvidas (em ficheiro único, formato pdf);  
 - Corrigidas as quantidades, trabalhos e materiais indicados no auto em anexo.

Descrição das inconformidades:

7. efectuado manutenção do conjunto dos suportes dos braços das Antenas.
8. Trocaram-se Cabos de 118 Para M10.
9. os ~~trabalhos~~ trabalhos previstos no projecto foram ~~ainda~~ não foram concluídos.
- 10.
- 11.
- 12.