

**A ENGENHARIA MILITAR NA PREVENÇÃO. PROPOSTA
DE UM SISTEMA DE VIGILÂNCIA EXPEDITO – TORRE
DE VIGILÂNCIA MODULAR E PORTÁTIL**

Hugo Soares ^{a1}, Luís Guerreiro ^b, Carlos Afonso ^a

^a CINAMIL - Centro de Investigação da Academia Militar, Academia Militar, Lisboa, Portugal

^b Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

ABSTRACT

Promoting a safe environment for the population means not only having the ability to solve problems, with fast and efficient tactics, but also having the army's commitment to act in a strategic mode, preventing risky situations. This prevention can happen in many ways but one of the most practical and economic techniques is the use of observation. In this context the conception and use of a watch tower may be considered as a proficient option. The design of the tower was done considering an optimal solution which began with the knowledge of similar structures.

The chosen solution was a modular and portable structure that uses a hexagonal cabin able to operate at heights between 2 and 12 meters. The design criteria relating to the Ultimate Limit State and to the Serviceability Limit State was taken into consideration to guarantee structural safety and comfort. After completing this assignment, all the safety verifications were made and some of the initial elements needed to be changed.

Due to the fact that the watch tower is to be used at diverse heights, all the elements are required to obey safety conditions in all heights, which helped the elaboration of an assembly and dismantling process.

Keywords: Metallic Structure, Watchtower, Modular, Portable, Portuguese Army

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma torre de vigilância como sistema expedito de observação e apoio no cumprimento de missões do Exército Português.

¹ O presente artigo resultou do trabalho desenvolvido para a Dissertação de Mestrado elaborada pelo autor.
Email para contacto: soares.hac@mail.exercito.pt

O estudo desta teve obrigatoriamente em conta a obtenção de uma estrutura final o mais otimizada possível, cuja etapa inicial passou necessariamente pelo levantamento e conhecimento das estruturas semelhantes já existente. A solução encontrada traduziu-se numa estrutura modular e portátil constituída por uma cabine hexagonal capaz de se colocar em funcionamento a alturas entre os 2 e os 12 metros. Para a sua modelação efetuou-se o estudo de todos os critérios de dimensionamento tendo em atenção não só o Estado Limite Último como o Estado Limite de Serviço por forma a garantir o conforto de utilização além da essencial segurança estrutural.

Após conclusão dessa etapa e identificação dos esforços condicionantes, foram efetuadas todas as verificações de segurança que levaram necessariamente à alteração de alguns elementos inicialmente definidos.

Devido ao facto da estrutura poder ser utilizada com diversas alturas, foi necessário garantir que todos os elementos constituintes na mesma se encontrem em segurança em qualquer das possibilidades, contribuindo assim, para a elaboração do processo de montagem e desmontagem da estrutura.

Palavras-chave: Estrutura Metálica, Torre de Vigilância, Modular, Portátil, Exército Português;

1. INTRODUÇÃO

A Arma de Engenharia do Exército Português desenvolve atividades tanto em tempo de guerra como em tempo de paz, muitas vezes em conjunto com forças de proteção civil, a nível nacional, e com exércitos de países aliados e amigos, a nível internacional. Devido ao elevado espectro de missões, a mesma necessita de estar habilitada a executar um vasto número de atividades e tarefas.

Com o objetivo de contribuir para melhorar as capacidades e meios orgânicos da Engenharia Militar portuguesa no cumprimento das suas diversas missões, a dissertação segundo Soares (2015) teve como objetivo propor uma torre de vigilância modular e portátil. Estas duas características têm como funções adaptar a torre de vigilância às exigências das missões.

A torre de vigilância poderá ser utilizada em variadas missões, tais como:

- Posto de observação em caso de catástrofe;
- Vigilância de campos de refugiados;
- Vigilância e controle de itinerários, áreas e edifícios a partir de um plano superior que garanta uma distância de segurança;
- Vigilância de perímetros defensivos;
- Torre de controlo em pistas de aviação improvisados no campo de batalha;
- Vigilância de linhas fronteiriças;
- Posto de vigia na deteção de incêndios em fase precoce (ver Figura 1).



Figura 1: Checkpoint Tower (David Shankbone (2007))

2. ENQUADRAMENTO GERAL

É fundamental enquadrar o dimensionamento da torre de vigilância modular e portátil. Para efetuar esse enquadramento é necessário numa primeira fase esclarecer conceitos e, numa segunda fase, fazer a apresentação de estruturas existentes que irão ajudar na compreensão da solução que se pretendeu projetar.

2.1 TORRE DE VIGILÂNCIA

O termo “torre de vigilância” está associado a uma construção esbelta que tem como principal função permitir a observação de uma determinada área, local ou objeto. De acordo com a Norma Europeia (EN) 1993-3-1 (2006), o termo “torre” refere-se a uma estrutura treliçada de aço autoportante de secção triangular, quadrada, retangular, circular ou poligonal.

2.2 SKYWATCH FRONTIER

A Skywatch Frontier (Flir, 2014), é uma torre móvel e elevatória projetada pela empresa Flir, com o objetivo principal de aumentar as capacidades de vigilância das forças militares.

A estrutura apresenta várias características que serão úteis para o dimensionamento da torre de vigilância modular e portátil, nomeadamente, a sua multifuncionalidade, capacidade de acoplação de equipamentos, vidros escurecidos e blindagem.

A Skywatch apresenta uma falha de segurança grave, sempre que é necessária a troca do elemento que se encontra dentro da cabine é necessário que a cabine desça e volte a ser elevada, constituindo-se num período em que a missão fica comprometida.

2.3 TORRE DAS NAÇÕES UNIDAS

Esta estrutura, na Figura 2, é disponibilizada a FND quando em missões sob o mandato das Nações Unidas (UN), segundo relato do TCor Eng Rocha Afonso. Esta estrutura foi desenvolvida com o objetivo de apoiar as forças militares no cumprimento das suas missões, correspondendo a uma estrutura modular e portátil. Esta estrutura permite a permanência de 2 elementos, contudo apresenta a desvantagem da necessidade de execução de fundações, aumentando o tempo de montagem da estrutura e os impactos no terreno, reduzindo assim a vantagem ganha por ser uma estrutura modular.

Esta estrutura apresenta características que serão tidas em consideração no dimensionamento da torre de vigilância modular e portátil, nomeadamente, a sua constituição por módulos, a sua capacidade de transporte, o processo de montagem repetitivo e o formato da cabine.



Figura 2: Torre das Nações Unidas

2.4 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO A ADOTAR

Soares (2015) pretendeu projetar uma torre de vigilância que aumente e potencie a capacidade de resposta do Exército Português face à diversidade de missões que lhe podem ser atribuída, motivo pelo qual a estrutura terá que

apresentar certas valências como: portabilidade, fiabilidade estrutural, multifuncionalidade, reduzida área de implantação e adaptabilidade à envolvente. A torre deverá ser portátil num sentido que facilite o seu transporte. Para conseguir esta característica é necessário que a estrutura seja leve e que a sua montagem e desmontagem sejam rápidas e fáceis, visto que no contexto militar nem sempre será possível destacar militares que se encarreguem exclusivamente da construção desta.

A fiabilidade estrutural resulta do facto da torre de vigilância ser projetada de forma a ter adequadas características de resistência estrutural, de utilização e de durabilidade. A estrutura deverá apresentar um carácter de utilização temporária e repetida, sendo necessário apresentar níveis de fiabilidade adequados.

A multifuncionalidade da torre de vigilância corresponde a uma valência importante pois permite aumentar o campo de aplicação em que a mesma pode ser utilizada. A reduzida área de implantação e adaptabilidade à envolvente surge como uma exigência necessária que tem como objetivo aumentar o número de locais onde será possível implantar a torre de vigilância.

Para fazer face a estes requisitos, considerou-se dimensionar uma estrutura com as seguintes características:

- Cabine blindada em forma de hexágono, com 1,15 metros de lado e 2,50 metros de altura, de modo a conferir a habitabilidade para 2 homens e o respetivo equipamento, Figura 3;
- As cotas padrão a que a base da cabine se pode encontrar do solo são 2, 4, 6, 8, 10 e 12 metros;
- Reduzida área de implantação;
- Reduzida intervenção no terreno;
- Módulos fáceis de acomodar e transportar;
- Construção modular;
- Cabine com janelas em todas as faces e aberturas basculantes invertidas.

As medidas apresentadas para as dimensões da cabine e as cotas possíveis a que esta se poderá encontrar justificam-se pelas restrições que os possíveis modos de transporte mais prováveis apresentam: contentor marítimo e viaturas táticas pesadas que equipam o Exército

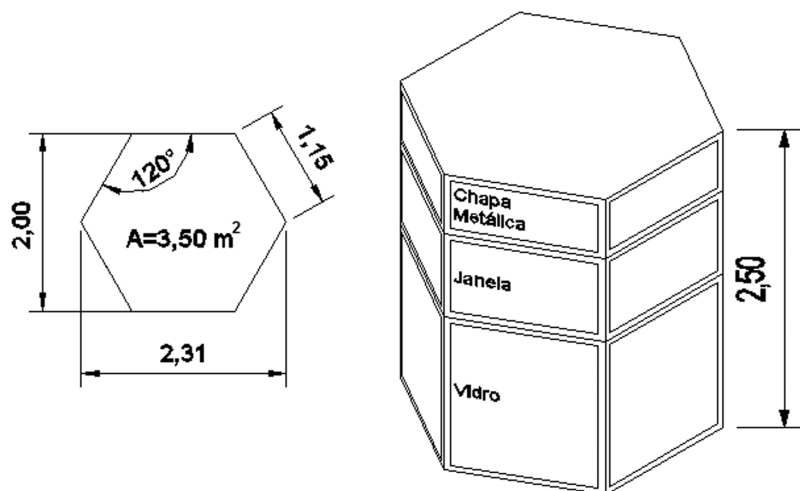


Figura 3: Dimensões da cabine [m]

3. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

3.1 SEGURANÇA ESTRUTURAL – REGULAMENTAÇÃO

Na análise e dimensionamento da estrutura foram aplicados os critérios de verificação de segurança aos ELU e ELS apresentados nas normas portuguesas dos eurocódigos.

3.2 AÇÕES

As ações correspondem a todos os agentes capazes de introduzir estados de tensão ou deformação num qualquer elemento estrutural, podendo ser de caráter permanente, variável ou acidental.

A torre de vigilância é considerada como uma estrutura provisória, a que corresponde um tempo de vida útil de 10 anos NP EN 1990 (2009), mas por se considerar que a estrutura se encontrará montada num período de tempo máximo de 2 anos, as ações foram definidas de forma a garantir a probabilidade dessas ações não serem excedidas neste período. A única exceção a esta hipótese é a ação variável vento, pois o período de referência, de acordo com a regulamentação, é 1 ano.

As ações permanentes correspondem ao peso próprio (PP) dos materiais e às restantes cargas permanentes (RCP). As ações variáveis são aquelas cuja variação

de intensidade no tempo não é desprezável, sendo que as ações consideradas foram: as sobrecargas (SC) no pavimento e o vento. A ação variável neve não foi considerada visto que a estrutura apresenta uma área de exposição a neve reduzida, 3,5 (m²), e a consideração da mesma é contra a segurança face ao equilíbrio global da estrutura, visto que o local onde existe maior probabilidade de ocorrência de precipitação sob a forma de neve, corresponde a um local onde a ação do vento é condicionante e a neve tem um efeito estabilizador. Para a quantificação das SC nos pavimentos considerou-se, segundo a NP EN 1991-1-1 (2009), a categoria de utilização B, escritório. Na Tabela 1 encontram-se os valores das ações consideradas.

Tabela 1: Ações consideradas

PP	Aço ($\gamma_{aço}$)	77,0 kN/m ³
	Material de Enchimento (γ_{enc})	18,0 kN/m ³
RCP	Piso da Cabine	0,4 kN/m ²
	Cobertura da Cabine	0,4 kN/m ²
	Blindagem	1,2 kN/m ²
	Vidro Classe BR6 S	1,3 kN/m ²
SC	Categoria B	2,0 kN/m ²
	Homem	1,0 kN

Quanto a ação variável vento considerou-se que o valor de referência da velocidade do vento seria de 30 m/s, correspondendo a zona mais desfavorável (arquipélagos e regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m).

3.3 MATERIAIS

Os materiais a utilizar na construção torre de vigilância são:

- Aço – EN 10210-1 S 355 H;
- Cavilhas amovíveis de aço de classe 8,8;
- Barreiras defensivas tipo HESCO.

As fundações de uma estrutura têm como objetivo transmitir as cargas ao solo de forma a garantir a sua estabilidade havendo, na maioria das situações, intervenções significativas na preparação do terreno. No entanto, um dos objetivos da torre de vigilância, em estudo, é reduzir ao máximo essas intervenções.

Neste contexto, surge a utilização das barreiras defensivas tipo HESCO, que funcionam como contrapeso. As barreiras defensivas irão ser instaladas na parte inferior da torre de vigilância e, sempre que esta seja solicitada por uma ação destabilizante, o contrapeso funcionará como ação contrária garantindo o equilíbrio global da estrutura.

As barreiras defensivas do tipo HESCO (HESCO 2015), correspondem a um sistema de barreiras desenvolvidas para a proteção de forças militares em teatros de operações com elevado nível de ameaça, sendo constituídas por uma malha de arame de aço soldada com cordões de zinco-alumínio que é revestida por um geotêxtil de polipropileno. Na Figura 4 apresenta-se um exemplo de utilização dessas barreiras defensivas pelo Exército Português.



Figura 4: Utilização das barreiras defensivas do tipo HESCO, exemplo 1

As barreiras encontram-se disponíveis em unidades recuperáveis e não recuperáveis e em vários tamanhos, ajustáveis às exigências do terreno e da ameaça. A proteção é garantida pelo material de enchimento, normalmente inertes de granulometria extensa.

3.4 MASTRO

Adotou-se uma solução com três elementos verticais. Esta solução foi escolhida por ser a solução que não necessita da utilização de cabos de amarração e, dentro das soluções que não necessitariam destes, a escolha da solução que apresentava menos elementos em busca da simplicidade. Os elementos constituintes do mastro são perfis CHS, numa gama entre 88,9x5,0 e 60,3x5,0.

3.5 FUNDAÇÕES

As fundações têm como função a transmissão dos esforços da torre de vigilância para o terreno permitindo que se garanta o equilíbrio global da estrutura. Chegou-se à disposição apresentada na Figura 6.

3.6 ESTRUTURA DA CABINE

A estrutura da cabine consiste no elemento que efetua a transmissão de esforços do habitáculo para o mastro, visível na Figura 5, utilizando-se perfis circulares CHS 76,1x5,0 para garantir a ligação aos elementos verticais do mastro e perfis retangulares RHS 150x100x10 para suportar o piso da estrutura da cabine.

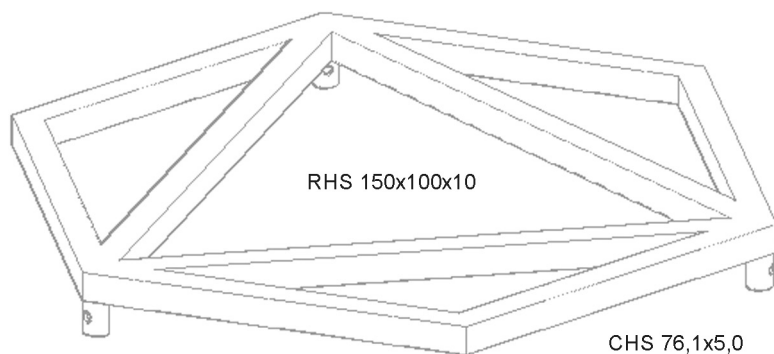


Figura 5: Estrutura de suporte da cabine

3.7 ESTRUTURA FINAL

Depois de dimensionados todos os elementos, nomeadamente: materiais, mastro, fundações e estrutura da cabine, efetuou-se a modelação da estrutura no seu todo. Foram considerados 2 modelos: um referente à estrutura da cabine e outro referente ao mastro e fundações. Na Figura 6 apresenta-se o modelo referente à modelação da estrutura final.

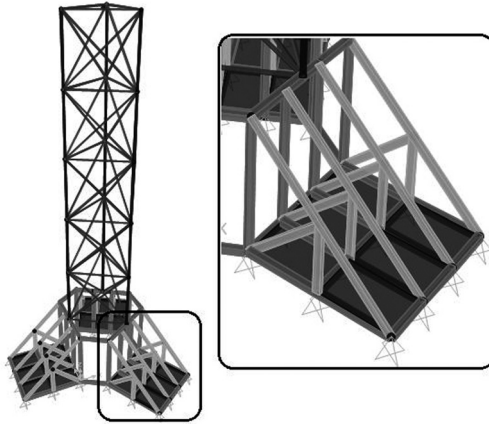


Figura 6: Torre de vigilância modelada

4. ANÁLISE DE ESFORÇOS E VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Depois de modelada a estrutura foi necessário identificar as condicionantes associadas de modo a efetuar as respetivas verificações de segurança. Observou-se a necessidade de se fazerem alterações dos elementos, nomeadamente na ligação entre os elementos verticais e a ligação do mastro a estrutura de fundação. Na Figura 7 encontra-se os sistemas de ligação, através de cavilhas.

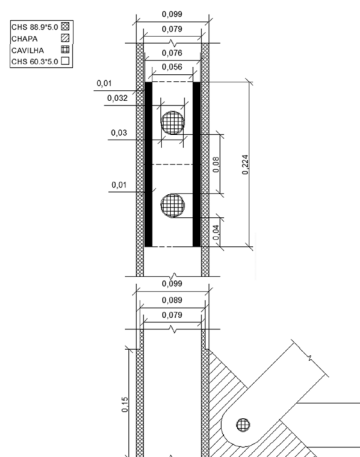


Figura 7: Alteração dos perfis [m]

Face as ligações soldadas a metodologia utilizada passou pelas seguintes etapas:

- identificação do local mais condicionante;
- verificação das condições de segurança, com o objetivo de escolher a espessura do cordão;
- adoção dessa espessura em todas as ligações, sendo que a espessura mínima deve ser superior a 3 milímetros.

O local mais gravoso para o dimensionamento dos cordões de soldadura encontra-se na ligação dos elementos verticais do mastro e da estrutura de suporte, chegando a uma espessura efetiva de cordão de 4 milímetros.

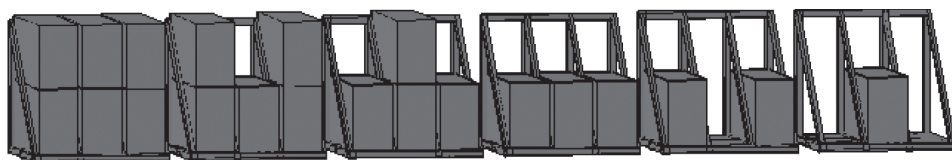
4.1 VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA GLOBAL DA ESTRUTURA

Um dos critérios de verificação de segurança de uma estrutura prende-se, de forma óbvia, com o equilíbrio desta. Na torre de vigilância este aspeto é deveras importante pois a estrutura não apresenta qualquer sistema de fixação ao solo. O equilíbrio será garantido, tal como já abordado anteriormente, através dos módulos tipo HESCO e consoante a disposição em altura da estrutura será necessário um número mínimo de módulos por estrutura de suporte.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de verificação do equilíbrio global da estrutura face à estabilidade, derrubamento e deslizamento. Sendo apresentados os números de módulos por fundação tendo em conta a ação do vento em função da cota a que se encontra a cabine, as tensões no terreno e a respetiva verificação ao deslizamento, através do coeficiente de atrito. A colocação dos módulos deve ser feita de forma equilibrada, para que a estrutura se encontre sempre estável. Para que esse critério seja cumprido, na Figura 8 são apresentadas as várias disposições dos elementos, da esquerda para a direita: 6 módulos, 5, 4, 3, 2 e 1 módulo. Se pretendido, aquando da montagem da torre de vigilância, pode-se colocar mais módulos além dos necessários, contudo, é necessário que estes sejam dispostos de acordo com a Figura 8.

Tabela 2: Verificação da estabilidade face aos diferentes comprimentos do mastro

Comprimento do mastro [m]	2	4	6	8	10	12
Nº módulos por fundação	1	2	3	4	5	6
σ_{min} [kPa]	3,05	3,49	3,35	2,87	2,31	1,44
σ_{max} [kPa]	10,90	19,89	29,39	39,18	49,05	59,18
Peso da Estrutura [kN]	89,13	155,01	220,88	286,78	352,67	418,54
Fw [kN]	9,5	10,6	11,4	12,0	12,5	12,9
Coefficiente de atrito	0,16	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05

**Figura 8:** Disposição dos módulos por fundação

5. PROCESSO DE MONTAGEM E DESMONTAGEM

5.1 CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA A MONTAGEM E TRANSPORTE

A estrutura não apresenta qualquer condicionante face à localização de montagem. A torre de vigilância foi dimensionada de forma a poder ser colocada ao serviço em qualquer local de Portugal. No caso de se pretender montar a estrutura fora de Portugal, será necessário verificar se o local é mais condicionante e fazer as respetivas verificações.

Face às condições do terreno, o mesmo terá que ser nivelado e compactado devendo corresponder a um terreno de categoria B. Caso se pretenda utilizar a estrutura num terreno com características de resistência inferior, é necessário efetuar as verificações face à resistência do terreno e à ação sísmica. Para a implantação da estrutura é necessário garantir uma área de 7x7 m². Durante o transporte todos os elementos devem encontrar-se bem acondicionados de forma a não sofrer danos que possam condicionar a montagem da estrutura ou a sua resistência.

Antes da montagem, toda a estrutura deve ser verificada, bem como o equipamento necessário à sua execução. A verificação deve conter os seguintes passos:

- identificação de todos os elementos;
- verificação se todos reúnem as condições necessárias para a sua utilização;
- verificação de todos os equipamentos necessários a sua montagem.

Todos estes passos devem ser executados por uma equipa que já tenha recebido formação prévia.

5.2 MANUAL DE MONTAGEM E DESMONTAGEM

O processo de montagem desenvolvido é composto por 13 etapas, apresentadas na Tabela 3, na qual se identifica cada um e o respetivo material utilizado. Consoante a disposição pretendida, algumas etapas poderão repetir-se. O processo de desmontagem apresenta as mesmas etapas que o processo de montagem, à exceção da primeira, sendo efetuado pela ordem inversa.

Tabela 3: Etapas do processo de montagem

Etapa	Função	Equipamento
1	Nivelar o terreno [7x7 m ²]	Retroescavadora
2	Disposição das estruturas de suporte de terras e alinhamento, com ajuda da plataforma da cabine	Retroescavadora /Grua
3	Trancar a posição das estruturas de suporte de terras	-
4	Remoção da plataforma da cabine, colocação das barreiras defensivas HESCO (de acordo com a altura) e enchimento das mesmas	Retroescavadora
5	Disposição dos elementos vertical (com ajuda da plataforma da cabine)	-
6	Colocação dos elementos horizontais e travamento dos mesmos com as cavilhas	-
7	Colocação dos contraventamentos e travamentos dos mesmos com as cavilhas e colocação das cavilhas de segurança	-
8	Colocação dos perfis CHS 76,1x10,0 e respetiva fixação através das cavilhas e cavilhas de segurança	-
9	Retirar a plataforma da cabine e colocação dos elementos verticais segundo a horizontal	Retroescavadora /Grua
10	Repetição das etapas 5/6/7/8/9 de acordo com a altura pretendida.	-
11	Colocação das escadas	-
12	Elevação do mastro e união as estruturas de suporte	Grua
13	Colocação da estrutura da cabine e respetiva fixação	Grua

6. CONCLUSÕES

Na elaboração deste trabalho foi possível concluir que atualmente já existem diversas estruturas utilizadas para a vigilância. O Exército Português utiliza-as nas FND quando fornecidas pela organização internacional em que estão inseridas, como por exemplo, a Torre das Nações Unidas.

Todos estes equipamentos apresentam desvantagens, sendo que a torre de vigilância desenvolvida tenta suprimi-las. As principais desvantagens prendem-se com a sua portabilidade e transportabilidade, adaptabilidade a diferentes missões e a necessidade de se efetuarem significativas intervenções no terreno, de forma a garantir a sua adequada colocação em serviço. A par disto, existe a necessidade de suprir a dependência atual das FND de outras organizações quando necessita de utilizar este tipo de infraestruturas. O processo de dimensionamento da estrutura iniciou-se pela definição das características que se pretendiam que a torre de vigilância detivesse: cabine com capacidade para 2 pessoas, cota da cabine variável, reduzida área de implantação, diminuta intervenção no terreno e que o processo de montagem e desmontagem fosse o mais simples possível.

Através da análise de um modelo da estrutura, chegou-se à conclusão que as ligações requeriam especial atenção. Isto porque era necessário que as ligações fossem simples e com o menor número de elementos possível. Através do referido programa de cálculo foi também possível concluir que a ação condicionante da estrutura é a ação variável vento. Devido à disposição dos elementos ao longo do mastro, observou-se que a transmissão de esforços se efetuava essencialmente através do esforço axial.

Para reduzir as intervenções no terreno não se considerou a hipótese de se efetuarem sapatas. De forma a se garantir o equilíbrio global da estrutura foram desenvolvidos contrapesos compostos por uma estrutura metálica onde se colocam barreiras defensivas tipo HESCO.

Depois de modelada a estrutura e efetuadas todas as verificações de segurança foi possível desenvolver o processo de montagem e desmontagem da estrutura. Para que tal seja possível apenas é necessário garantir uma área de 7x7 m² de terreno nivelado e compactado, com as características de um solo de categoria B. O processo de montagem da torre de vigilância é efetuado em 13 fases, sendo que os equipamentos necessários são exclusivamente: os veículos de transporte, uma retroescavadora e uma grua. Os veículos de transporte têm como função movimentar a estrutura, a retroescavadora tem a função de nivelar o terreno e auxiliar em algumas fases do processo de montagem, e a grua tem como função a elevação dos materiais ao longo do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

David Shankbone, *West Bank Checkpoint*, 2007, http://religion.wikia.com/wiki/Israel_Defense_Forces_checkpoint?file=West_Bank_checkpoint_by_David_Shankbone.jpg, consultado em Setembro de 2014.

Flir, Skywatch™, 2014, <http://www.flir.com/surveillance/display/?id=65026>, consultado em Novembro de 2014.

HESCO, *Recoverable Units*, <http://www.hesco.com/recoverable-units>, consultado em Fevereiro de 2015

Norma Portuguesa Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas (NP EN 1990), LNEC, Dezembro de 2009

Norma Portuguesa Eurocódigo 1 – Acções em estruturas Parte 1-1: Acções gerais Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios (NP EN 1991-1-1 2009), LNEC, Dezembro de 2009

SOARES, Hugo (2015). *A Engenharia Militar na Prevenção. Proposta de um sistema de vigilância expedito – Torre de Vigilância Modular e Portátil*, Academia Militar, Lisboa

Hugo Soares é Tenente de Engenharia e Mestre em Engenharia Militar pela Academia Militar.

Luís Guerreiro é Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Instituto Superior Técnico. Desenvolve as suas atividades de investigação no Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (ICIST).

Carlos Afonso é Tenente Coronel de Engenharia. Atualmente desempenha funções como Diretor de Curso e Professor de Engenharia Militar na Academia Militar. Desenvolve as suas atividades de investigação no CINAMIL.

