

## A UTILIZAÇÃO DE DRONES COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA EMERGENTE PARA A INSPEÇÃO TÉCNICA DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS – REVISÃO E ENSAIO DE CAMPO

Jorge G. F. Falorca<sup>1</sup>, João C. G. Lanzinha<sup>2\*</sup>

1: Eng. Civil, Mestre em Ciências da Construção  
e-mail: jorge.falorca@netvisao.pt,

2: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura  
C-Made Centre of Materials and Building Technologies  
LABSED – Laboratório de Saúde na Edificação – UBIMedical  
Universidade da Beira Interior  
e-mail: joao.lanzinha@ubi.pt  
<https://www.ubi.pt/Pessoa/jcgl>

**Palavras-chave:** Drones, Edifícios, Inspeção, Fachadas, Tecnologia

**Resumo.** *Entre as técnicas de inspeção de edifícios, a inspeção visual é das mais utilizadas, desempenhando um papel relevante na avaliação célere dos problemas construtivos e na definição de um modo adequado de intervenção. No caso da envolvente, este procedimento é também um requisito primordial para garantia da respetiva integridade e segurança. Contudo, o recurso a esta prática simples, pode frequentemente encontrar dificuldades, sobretudo quando os locais a inspecionar são de difícil acesso ou existem riscos de segurança para o inspetor. Torna-se por isso importante encontrar soluções auxiliaadoras, que permitam contornar e superar tais contrariedades e das quais possam ainda resultar benefícios substanciais. É neste contexto que surge o recurso à utilização de drones. Estes aparelhos voadores não tripulados, são um instrumento tecnológico que está em franco desenvolvimento. Quando possuidores de determinadas características físicas (geralmente de tamanho pequeno e multirotores) e terem a capacidade de transportar os equipamentos adequados (sobretudo camaras de alta definição “HD” ou térmicas), os drones têm associadas enormes potencialidades para a coadjuvação eficaz, económica e com menores riscos, da monitorização da condição de diversos casos de construções civis, nas quais se inserem, com particular interesse, os edifícios e os elementos construtivos das envolventes exteriores. Tendo em consideração a importância que estas aeronaves estão a assumir como tecnologia robótica emergente na indústria da construção (IC) e o facto de se constituírem como uma ferramenta de elevado potencial para o apoio a atividades de engenharia civil, julgou-se pertinente realizar uma revisão bibliográfica sobre este tema e, nesse seguimento, apresentar as linhas gerais de um trabalho académico simples em que se realizou um ensaio de campo à inspeção das fachadas de um edifício alto. Desta forma, balizam-se alguns aspetos sobre os progressos entretanto alcançados com os drones, tendo sido possível corroborar a grande utilidade e a importância que os mesmos começam a assumir no âmbito da inspeção técnica de edifícios.*

## 1. INTRODUÇÃO

De forma simples, o termo genérico drone refere-se a aeronaves (ou sistemas aéreos) que podem voar sem um operador humano a bordo. Esta tecnologia teve a sua origem de desenvolvimento em aplicações militares e apesar de esse ainda ser atualmente um grande mercado, as aplicações civis estão a demonstrar um potencial de crescimento enorme. Os drones experimentaram uma elevada aceitação popular desde a introdução no mercado dos quadricópteros, no final dos anos 2000, tendo-se observado um aumento relevante destas plataformas nas gamas civil/comercial, particularmente em 2012 e 2013 [1,2,3]. O sucesso subsequente pode ser explicado em parte pela queda dos preços e por ser uma ferramenta muito eficiente para recolha rigorosa de imagens e outros dados em lugares de difícil acesso ou para observação a partir do solo.

Atualmente existe uma ampla gama de aparelhos para diferentes aplicações, podendo ter várias configurações, diferentes níveis de controlo e de capacidade para transportar cargas distintas (*payloads*). Conforme a respetiva utilização, os drones já estão sujeitos a diferentes regulamentações, dependendo, por exemplo (p.e.), se a aeronave está dentro ou fora do campo de visão, etc. Estes aparelhos são construídos com sistemas de estabilização inteligentes para mantê-los a voar e podem transportar diferentes tipos de sensores para executar tarefas mais dedicadas. Um dos dispositivos mais comuns é uma câmara montada num suporte (*gimbal*) que permite obter fotografia e vídeo de alta qualidade.

É também já muito comum estes aparelhos surgirem no mercado com tecnologia que os permitem ser controlados através de *Smartphones*, redes *Wifi* e/ou GPS e ser possível adaptar (com ou para além da solução com câmara fotográfica), dispositivos de infravermelhos, de comunicação, radares, transferência de dados em direto para estações de controlo, etc. [4]. De um modo geral, os drones diferem basicamente na forma, no custo e nas capacidades, sobretudo em função dos objetivos para os quais se pretendem utilizar.

Com tendência crescente, o campo da Engenharia Civil ocupa-se também, por um lado, da monitorização das estruturas e dos edifícios existentes (através da inspeção), e por outro, da sua conservação e reabilitação. Ora, é nestas áreas que se julga que a utilização desta nova tecnologia trará vantagens acrescidas, sobretudo no que diz respeito ao estudo do comportamento dos elementos da envolvente. Verifica-se que o recurso a drones está a entrar em força na IC, sobretudo em países como os Estados Unidos da América (EUA), alastrando-se crescentemente a outros países mais desenvolvidos. Esta perceção surge da análise de alguma literatura científica e técnica já existente neste domínio em concreto e que aos poucos se vai desmaterializando por outras subáreas, como sejam a inspeção da envolvente dos edifícios, apesar de neste particular a bibliografia envolvendo a utilização de drones ainda não abranger muitas situações de aplicação e/ou estudos.

Neste artigo, faz-se uma abordagem ao assunto dos drones vistos como uma ferramenta tecnológica emergente e com interesse para o campo da inspeção dos edifícios. A primeira parte apresenta diversos aspetos relacionados com os drones (aplicações, tipos, características, regulamentação e potencial de utilização na construção), tendo por base uma análise bibliográfica a um conjunto vasto de publicações, que foram segmentadas por três campos de interesse: o primeiro (apenas para efeitos exploratórios) relativo às diferentes utilizações, à regulamentação internacional e à tecnologia dos drones; a segunda, com maior incidência no campo da sua utilização na engenharia, arquitetura e construção; e a terceira mais focada no envolvimento desta tecnologia na inspeção de coberturas e fachadas – assunto este que se verificou estar ainda numa fase embrionária e portanto, apresenta-se, com grande potencial para desenvolvimento de estudos e de investigação. Resultante do início de uma fase exploradora que tem estado a envolver, na Universidade da Beira Interior (UBI), diverso trabalho de campo para análise e verificação das vantagens da utilização dos drones na área das construções, faz-se ainda uma referência a um ensaio exploratório de inspeção com um aparelho de gama alta (*DJI Phantom 4* [5]) num edifício alto implantado na cidade da Covilhã. Indicam-se assim, de forma breve,

os resultados mais relevantes dessa inspeção, decorrentes do tratamento prévio de dados obtidos com o drone.

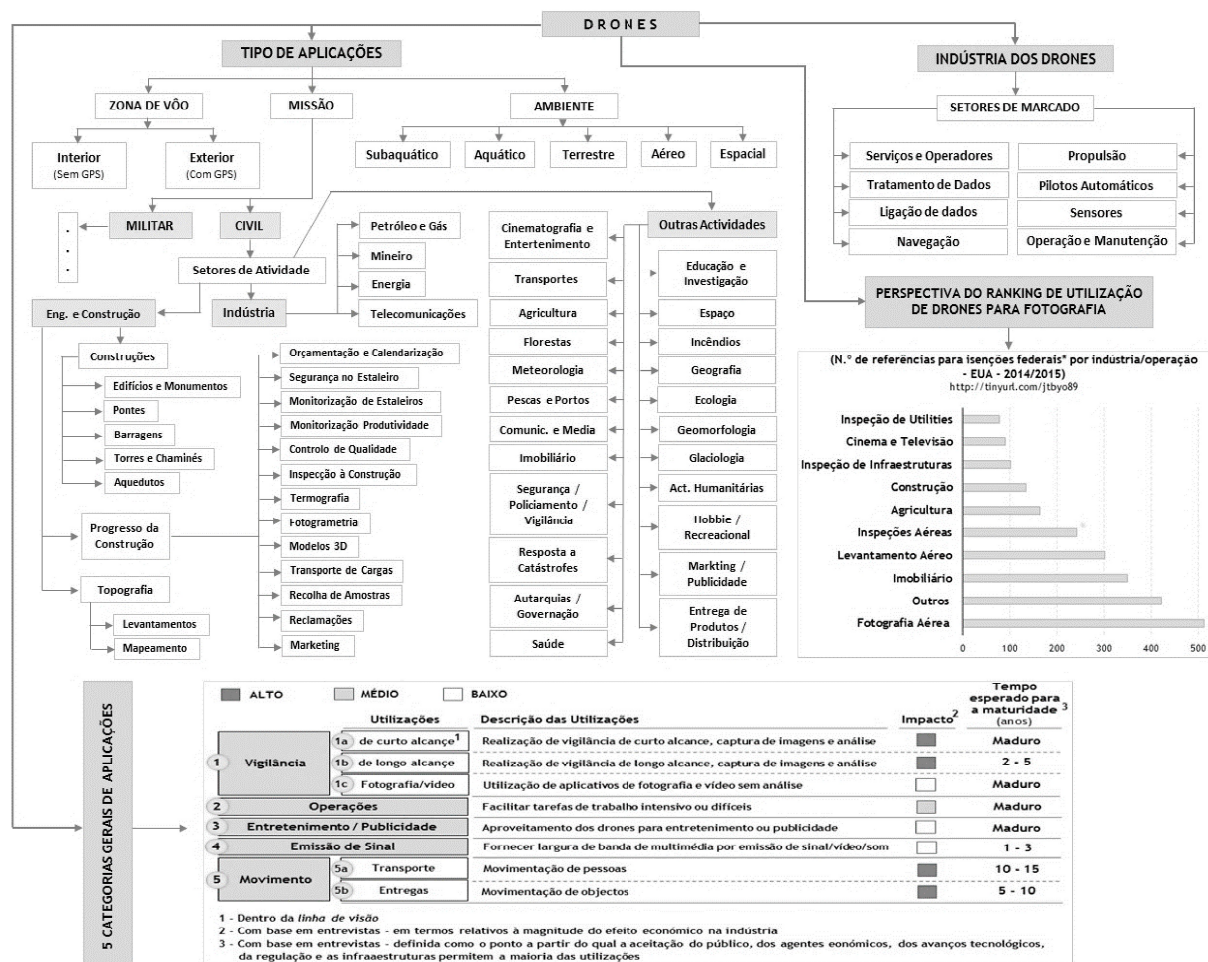
Por fim, apresentam-se as conclusões gerais que se podem aduzir, sobretudo a partir da pesquisa bibliográfica realizada, e da utilização na prática desta nova ferramenta tecnológica.

## 2. OS DRONES COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA EMERGENTE

### 2.1. Tipos, categorias e outros aspetos relativos às aplicações dos drones

Com base numa extensa análise bibliográfica, apresenta-se de forma sucinta na figura 1 o contexto das aplicações dos drones em diferentes áreas e contextos, segundo quatro perspetivas: tipos de aplicações – adaptado a partir de [6] e inserindo transversalmente outras indicações deduzidas da vasta bibliografia consultada; os principais setores de mercado que a indústria dos drones abrange, segundo [7]; a perspetiva do ranking de utilização dos drones para fotografia no ano de 2015 nos EUA de acordo com [8, 9]; e as cinco categorias de aplicações dos drones, adaptada a partir de uma análise interessante referente às respetivas maturidades e impactos, apresentada em [10].

Apesar da representação aqui feita ser simples, a perceção resultante do estudo da literatura permite concluir que o âmbito das aplicações dos drones é já bastante abrangente, havendo p.e autores [11] - referido por [1] - que salientam o surgimento, em menos de três anos, de mais de 200 aplicações.



\* Determinado tipo de exceções previstas pela Section 333 do FAA Modernization and Reform Act de 2012.

Figura 1. Aplicações dos drones em diferentes áreas e contextos (adaptado a partir de [6,7,8,9,10]).



## 2.2. Fundamentos e aspetos tecnológicos dos drones

É importante referir que o termo “drone” é apenas um nome genérico (em Português significa simplesmente *zangão*) com origem no campo militar e que se tem vindo a difundir pelo mundo, para se referir em geral aos objetos voadores não tripulados. No Brasil é muito utilizada a terminologia VANT (*Veículo Aéreo Não Tripulado*) que se encontra institucionalizada pelos órgãos reguladores de transporte aéreo [12,13,14]. As normas e as regras internacionais, nomeadamente as estabelecidas pela *Organização Internacional da Aviação Civil* (ICAO) e pela Comissão Europeia, referem-se a *Veículos Aéreos Não Tripulados* (em inglês: *Unmanned Aerial Vehicles – UAV*) como parte de uma categoria mais ampla de aeronaves não tripuladas que podem ser programadas para voar de forma autónoma [14].

O termo *Sistema de Aeronaves Não Tripuladas* (em inglês: *Unmanned Aircraft System – UAS*) também é usado por alguns reguladores, como a Administração Federal de Aviação dos EUA (FAA) e segundo alguma literatura, serve para incluir no sistema os elementos com base terrestre (*ground-based*) [14,15]. É comum surgirem também outros termos, como *Aeronave Remotamente Pilotada* (em inglês: *Remotely-Piloted Aircraft – RPA*) e a terminologia oficial nas leis da aviação civil que é *Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas* (em inglês: *Remotely-Piloted Aircraft Systems – RPAS*), tratando-se não só da aeronave envolvida, mas de todos os recursos do sistema que a faz voar: a estação de pilotagem remota, a ligação de comando, os seus equipamentos de apoio, etc. [13,14].

As configurações, a classificação dos sistemas e outros aspetos técnicos intrínsecos aos drones são tratados de forma bastante pormenorizada em algumas publicações de relevo [3,6,16,17,18,19]. Na tabela 1, apresenta-se p.e. uma forma de caracterizar os drones, através da diferenciação de categorias, que podem ir de micro a grandes aparelhos de combate, o respetivo peso, a altitude de operação, o raio de missão ou alcance, o tempo de voo ou autonomia, a utilização típica, etc. Note-se que já existem também os chamados nano drones (ou *Nano Air Vehicles – NAV*), que foram criados inicialmente para uso militar. Segundo [3], a nanotecnologia pode vir a ser utilizada para criar nano drones com promissoras potencialidades na navegação em ambientes interiores e em inspeções.

Categoria	Peso (Kg)	Massa (Kg)	Altitude Normal de Operação	Radio de Missão	Alcance (km)	Tempo de Voo / Autonomia		Altitude		Utilização Típica
	[16]	[20]	Acima de (...) AGL <sup>3</sup>	[16]	[20]	[16]	[20]	[16]	[20]	[16]
<b>Micro</b>	< 2	< 5	200 pés (61 m)	5 Km (LOS <sup>4</sup> )	< 10	Algumas Horas	1 hora	Muito Baixa	250 m	Reconhecimento, Inspeção, Vigilância
<b>Mini</b>	2 a 20	< 25/30/150	3.000 pés (914 m)	25 Km (LOS)		Mais de 2 dias	< 2 horas	Baixa	150/250/300 m	Vigilância, Recolha de Dados
<b>Pequeno</b>	20 a 150	25 a 150	5.000 pés (1.524 m)	50 Km (LOS)	10 a 30		2 a 4 horas			
<b>Curto Alcance</b>							3 a 6 horas			
<b>Tático</b>	150 a 600	50 a 250	10.000 pés (1524 m)	200 Km (LOS)	30 a 70			Média		Vigilância, Transporte de Cargas
<b>MALE<sup>1</sup></b>			45.000 pés (13.716 m)	ilimitado		Dias / Semanas				
<b>HALE<sup>2</sup></b>			65.000 pés (19.812 m)	(BLOS <sup>5</sup> )	> 70		> 6 horas	Alta	> 3000 m	
<b>Ataque/Combate</b>										

<sup>1</sup> - MALE - *Medium Altitude Long Endurance* (Altitude Média, Longo Endurance)    <sup>2</sup> - HALE - *High Altitude Long Endurance* (Altitude Alta, Longo Endurance)  
<sup>3</sup> - AGL - *Above Ground Level* (Acima do Nível do Solo)    <sup>4</sup> - LOS - *Line Of Sight* (Linha de Visão)    <sup>5</sup> - BLOS - *Beyond Line Of Sight* (Além da Linha de Visão)

Tabela 1. Classificação das categorias de drones (adaptado de [16,20]).

Para efeitos do presente estudo, interessam sobretudo os aparelhos que se inserem na categoria de micro ou mini drones, mais concretamente aqueles que estão num patamar muitas vezes denominado de drones de amador ou *Hobbyist Drones* – ver base do triângulo da figura 2a). Outra forma de caracterizar estas aeronaves pode passar pela referência aos três tipos mais usuais de drones, função do respetivo mecanismo de voo, como sejam de Asa Fixa, Multirotores ou Asa Rotativa e os Híbridos (Figura 2c).



O princípio central do sistema de aeronaves não tripuladas é que o operador é removido do *cockpit*, o que implica que o controlo da aeronave seja feito com recurso a outros meios. Existem essencialmente três formas de controlo de um drone: terrestre (pilotado remotamente), autónomo ou semiautónomo. Em geral, a tecnologia que compõe os drones, sobretudo daqueles que lhes é permitido um voo não tripulado e um comportamento autónomo (com as funções de *Observar, Orientar, Decidir e Agir*), baseia-se principalmente em sensores de navegação, nas cargas úteis (*payloads*), no software, nas infraestruturas C3 (comando, controlo e comunicação) e em capacidades autónomas instaladas a bordo. Portanto, a arquitetura básica da aviónica de um drone abrange em essência um computador de bordo que liga à estação terrestre, aos atuadores, aos sensores e às cargas [16] – ver figura 3c). As principais partes físicas constituintes de um drone da categoria de interesse para o nosso estudo, são esquematicamente indicadas na figura 3 b).

Na grande maioria dos drones não militares usados por consumidores e operadores comerciais, a fonte de energia principal é, em cerca de 90% dos casos, uma bateria de *Li-Po* (polímero de lítio), de curta duração. Muitos destes drones, mesmo os mais bem classificados em termos de vendas, têm tempos de voo de mais ou menos 20 minutos, o que obriga, na maioria das vezes, que a sua operação se faça dentro da linha de visão do operador [6,23].

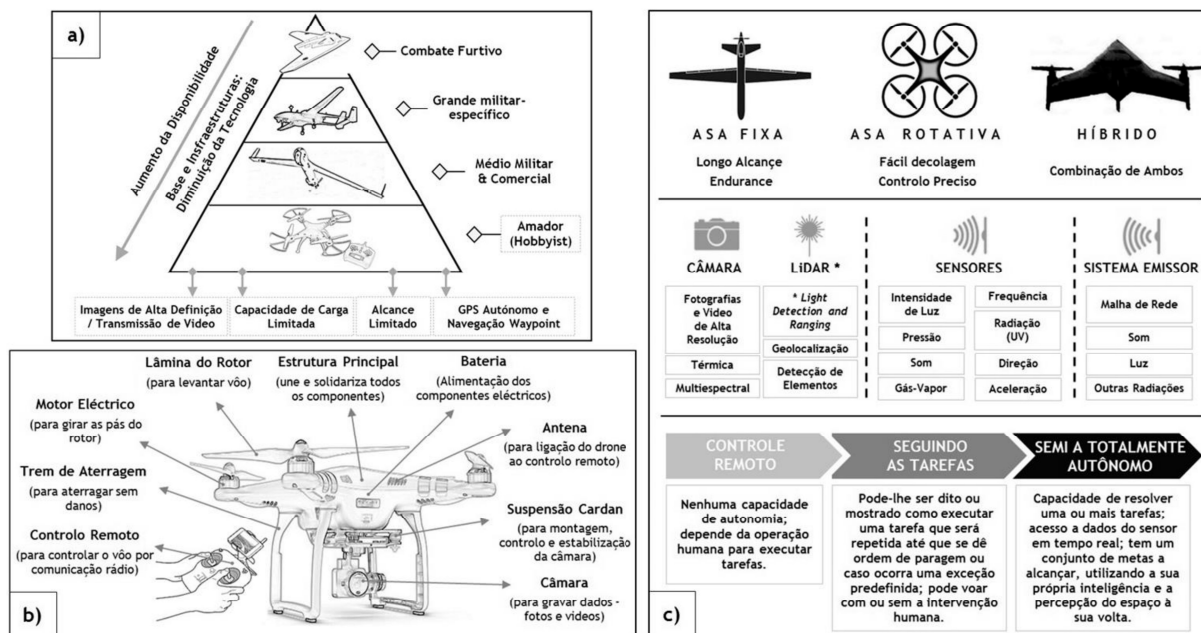


Figura 2. a) Categorias de sistemas; b) partes de um drone; e c) tipos, cargas, níveis de controlo (figuras adaptadas a partir de [17,21,22]).

### 2.3. Aspetos regulamentares

O assunto relativo à regulamentação do uso dos drones para fins civis é importante, não só devido à salvaguarda das questões de privacidade do público em geral, como das relativas à navegabilidade de outras aeronaves e da segurança em geral. Um enquadramento regulatório adequado permite a disponibilização de orientações para o uso dos drones, a criação de um ambiente mais estabilizado para o desenvolvimento de toda a indústria relacionada, bem como o alavancamento de muitas atividades económicas nas quais é viável a adaptação e utilização deste tipo de aparelhos.

Neste texto, não se fará uma análise pormenorizada aos conteúdos regulamentares existentes em diversos países, dado ser um exercício exaustivo, embora se salientem algumas publicações recentes que o fazem de forma muito eficaz [24,25]. As abordagens deste tipo recaem normalmente na verificação da situação a nível internacional, comparando as regras entre os países em que se

registaram os maiores desenvolvimentos nos últimos anos, analisam também a situação nos EUA e na Europa, bem como o que se passa em cada país em particular (geralmente o da origem da publicação). Uma das lacunas atualmente presentes no universo dos drones é a questão de não haver consenso mundial sobre quais as características que devem ser levadas em consideração para a classificação destas aeronaves para que possam ser reguladas e terem uma operação segura em regime internacional. Contudo, as regulamentações e normas existentes relativas ao uso de drones já distinguem a utilização comercial e a utilização recreativa. Nos casos mais avançados, tem-se em conta p.e. o peso do drone, a área de voo permitida (com restrições perto de aeroportos, áreas militares, áreas públicas importantes e zonas ou aglomerados densamente populosos), a hora do dia para operação e as altitudes máximas e mínimas permitidas. No trabalho apresentado pela consultora PwC [26] no qual se faz também a comparação da regulamentação de 15 países (em campos como a possibilidade de realizar voos comerciais, a exigência de requerimento para voar, a possibilidade e/ou requerimento para operar BVLOS, o requerimento de seguro, o treino prévio para pilotagem), acabou por se verificar que muitos países ainda carecem de uma regulamentação específica que garanta um ambiente legal mais atrativo ao mercado em geral.

No caso da Europa, os países ainda não dispõem de uma legislação harmonizada. Apesar de tudo, foi muito recentemente aprovado pelo Parlamento Europeu (PE) regras gerais para uso de drones na União Europeia (EU), com o objetivo de dar resposta ao desenvolvimento deste setor e aos problemas que se podem colocar a nível da aviação civil, prevendo que os seus operadores sejam obrigatoriamente registados e as operações de alto risco certificadas. Entretanto, em Portugal também acabaram por emergir novas regras. A Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), que é a autoridade que regula a aviação civil em Portugal, elaborou um regulamento [27] que estabelece as normas aplicáveis às aeronaves usualmente conhecidas como “drones”. O Decreto-Lei n.º 58/2018 de 23 de julho [28] estabelece um sistema de registo e seguro de responsabilidade civil obrigatório aplicável aos drones, bem como a criação de um regime sancionatório. Na tabela 2, faz-se uma síntese dos aspetos mais importantes desta legislação [27, 28] e das regras recentemente aprovadas pelo PE [29].

<p><b>ANAC</b>  <b>Regulamento</b>  <b>n.º 1093/2016</b>  <b>[27]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Define aeronave brinquedo: aeronave pilotada remotamente, não equipada com motor de combustão e com peso máximo operacional inferior a 0,250 kg...;</li> <li>• Operação até 25 kg (sem restrições de idade) - peso superior requer autorização;</li> <li>• Não podem operar a mais de 30 metros de altura (100 pés) - Não podem voar sobre pessoas;</li> <li>• Aeronave pilotada remotamente (RPA - <i>Remotely Piloted Aircraft</i>): aeronave não tripulada que é pilotada a partir de uma estação de piloto remoto.</li> <li>• Apenas podem efetuar voos diurnos, em operações VLOS, até 120 metros acima da superfície (400 pés);</li> <li>• Devem manter uma distância segura de pessoas e bens;</li> <li>• Uma RPA não pode voar: a) Nas áreas definidas no Anexo ao Regulamento (aerportos); b) Sobre concentrações de pessoas ao ar livre (mais do que 12 pessoas) e em zonas de sinistro...;</li> <li>• Voos diurnos, à linha de vista devem voar sempre com luzes de identificação ligadas, independentemente de se tratar de voos noturnos ou diurnos;</li> <li>• Carece de autorização expressa da ANAC: a realização de voos noturnos, de operações BVLOS, e de voos acima de 120 metros acima da superfície (400 pés).</li> <li>• O regulamento não faz nenhuma distinção de uso recreativo/comercial;</li> <li>• Cumprimento, por parte dos operadores e pilotos de outros regimes jurídicos que sejam aplicáveis;</li> <li>• Captação de imagens e realização de vídeos - Lei de Proteção de Dados Pessoais e autorizações a requerer à Autoridade Aeronáutica Nacional.</li> </ul>
<p><b>Decreto-Lei</b>  <b>n.º 58/2018 de</b>  <b>23 de julho</b>  <b>[28]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obrigatoriedade de registo dos operadores drones que tenham uma massa máxima operacional superior a 250 gramas, criando-se um código de identificação a atribuir; A etiqueta de registo que contém o código de identificação do operador deve ser afixada na estrutura do(s) drone(s);</li> <li>• Cada drone só pode ser operado se o respetivo operador estiver validamente registado junto da ANAC;</li> <li>• Obrigatoriedade de contratualização de seguros de responsabilidade civil quando a massa máxima operacional da aeronave for superior a 900 gramas;</li> <li>• Estabelece-se um regime sancionatório a aplicar em caso de incumprimento das regras instituídas pelo decreto-lei.</li> </ul>
<p><b>Algumas</b>  <b>Regras</b>  <b>Previstas pelo</b>  <b>Parlamento</b>  <b>Europeu [29]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os Drones deverão ser projetados e construídos com certas características e funcionalidades de forma a serem operados sem criar riscos para as pessoas;</li> <li>• Os operadores e os pilotos remotos terão de assegurar que o Drone se encontra a uma distância segura de outras aeronaves e das pessoas em terra;</li> <li>• Deverá definir, p.e., quais os Drones que terão de ser certificados em função dos riscos e especificar as condições em que deverão estar equipados com determinados dispositivos;</li> <li>• Os Drones que possam causar danos em caso de colisão terão de ser registados, devendo todos estar identificados;</li> <li>• Exigem o registo dos operadores de Drones em função da capacidade cinética da aeronave que está sob o seu controlo e a certificação de operações de alto risco.</li> </ul>

Tabela 2. Utilização de drones - apontamento sobre aspetos regulamentares mais relevantes.

### 3. POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS DRONES NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

Parece ser consensual que a tecnologia drone é bastante promissora, tanto que em 2017, continuou no topo do pico das expectativas do *Hype Cycle* anual da *Gartner Inc.* para as tecnologias emergentes [30]. Num relatório internacional de 2018 para as tendências de tecnologia na construção [31], os



drones já surgem como a principal tendência na utilização de ferramentas avançadas. Outro estudo [32], também indica que os drones surgem no topo das preferências entre as novas tecnologias robóticas da Construção. De acordo com [33], o recurso a estes aparelhos pode contribuir para reduzir o tempo de realização de tarefas, aumentar a qualidade do trabalho, melhorar os padrões de segurança e diminuir os custos. O uso de drones na IC é assim um conceito relativamente novo e as partes interessadas do setor ainda estão a descobrir as suas aplicações, as quais, segundo a literatura, podem passar pela monitorização das atividades de construção, levantamentos topográficos, fotografia e vigilância, inspeção visual em locais de difícil acesso, inspeção de segurança em obra, orçamentação, deteção de anomalias e defeitos de construção e interação com os trabalhadores [33], etc. Na tabela 3 apresenta-se um enquadramento na construção sugerido por [34] para os drones.

	Estudo do Local (Site Survey)	Monitorização dos Progressos	Rastrear Equipamentos e Materiais	Construção	Gestão de Instalações (FM)
Necessidades do Utilizador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realização de projectos rigorosos e sustentáveis para redução de custos extra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguir o cronograma</li> <li>Conservar registos rigorosos dos trabalhos para possíveis reclamações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimizar a utilização de recursos</li> <li>Reduzir o tempo gasto em inventário</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construir mais rápido e barato reduzindo a exposição ao risco da mão-de-obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitorizar as instalações existentes</li> </ul>
Soluções Existentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamento visual qualitativo (com fotografia)</li> <li>Medições manuais (c/ teodolito)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relatórios de obra (com medições discretas, desenhos e fotografias)</li> <li>Diagramas de Gantt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Login manual (com ou sem Códigos de Barras ou RFID)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização em obra de alguns robots</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeção visual humana utilizando quando necessário aparelhos de elevação</li> </ul>
Valor Acrescentado dos Drones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo numérico exaustivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolha autónoma e regular de dados 3D</li> <li>Preparado para utilizar mapas densos (com volumes e fotografias 3D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarefas de inventário autónomas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visão panorâmica sobre outros robots</li> <li>Acesso a sítios onde o homem dificilmente vai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acesso rápido e fácil a quase todos os locais</li> </ul>
Desenvolvim.s Alcançados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamento externo autónomo (com GPS)</li> <li>Interface de utilização para medições (volumes e áreas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapeamento 3D baseado em Laser</li> <li>Voo autónomo em ambiente interior - ensaios académicos</li> <li>Alguma interface entre dados coletados, cronograma e modelos 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Navegação autónoma para rastreamento e registo por RFID</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trator de terraplenagem - parceria com drone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Captura vídeo e reconstrução 3D</li> <li>Voo exterior autónomo</li> </ul>
Lacunas a Superar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Confiança reduzida no GPS para Indoor Survey</li> <li>Desenvolvimento de interface entre dados 3D e BIM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhorar a confiabilidade de voo autónomo em ambiente interior</li> <li>Desenvolver soluções computacionalmente realistas para mapeamento denso on-board</li> <li>Criar uma interface automatizada entre dados recolhidos, o cronograma e os modelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criar um efeito dinamizador a montante da cadeia de valor para generalizar a utilização de etiquetas RFID</li> <li>Melhorar a integração dos dados de sensoramento nas ferramentas de decisão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precisam de ser encontrados novos casos de utilização</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhorar a capacidade de voo autónomo para permitir o acesso a áreas congestionadas</li> </ul>

Tabela 3. Drones na construção (adaptado a partir de [34]).

#### 4. INSPECÇÃO DE ESTRUTURAS E EDIFÍCIOS COM RECURSO A DRONES

Nos últimos anos, tem sido dada maior atenção ao ativo desenvolvimento de diferentes sistemas para a monitoração e inspeção das construções, a qual, quando realizada de forma oportuna, pode contribuir significativamente para a redução dos custos de reparação - sobretudo no caso de grandes obras de engenharia, como torres, pontes, barragens, edifícios altos (envolvente), grandes monumentos, etc. Os métodos tradicionais de inspeção baseiam-se principalmente no exame visual das construções, que por vezes são demorados, caros e tecnicamente difíceis. Na maioria dos casos, devido às dificuldades de acesso aos locais a inspecionar, é necessário recorrer a equipamentos especiais de custos elevados, como andaimes, diferentes tipos de guias, plataformas de elevação, elevadores de lança, etc. Com o desenvolvimento dos drones, a técnica de exame alterou-se. Em algumas circunstâncias, documentar as condições existentes com os drones pode ser feito a um custo menor, mais rápido do que os métodos tradicionais e de forma mais segura. Em geral, os estudos com drones têm apresentado bons resultados, e alguns investigadores têm apostado na utilização de câmaras acopladas para capturar imagens e vídeos em HD e sensores ou câmaras de infravermelhos (e scanners 3D), bem como o recurso à técnica de fotogrametria digital usada para aplicações de mapeamento em larga escala [35,36,37,38].

Considerando o relevo que está a ser atribuído a este assunto, a *American Society for Testing and Materials (ASTM International)* tem já um comité constituído para trabalhar no desenvolvimento de uma norma - ASTM WK58243 - *New Guide for Visual Inspection of Building Facade using Drone* [39].

Da análise da literatura tem-se a percepção de que as vantagens da utilização dos drones na inspeção da envolvente de edifícios são diversas. Elas passam pela grande capacidade de manobra dos aparelhos,

pela possibilidade de otimizar os custos de manutenção, pela mitigação dos riscos de operação, em melhorias substanciais na qualidade dos resultados, etc. Além disso, a clareza visual permitida por câmaras HD ou térmicas pode revelar problemas que poderão passar despercebidos ao olho humano. Por outro lado, também a qualidade das fotos e dos vídeos obtidas pode ser fortemente influenciada por diversos parâmetros, entre os quais estão as condições de iluminação, a distância de inspeção ao elemento e o movimento do veículo induzido pelos efeitos ambientais. Outras dificuldades tecnológicas importantes são as limitações das baterias e eventuais interferências eletromagnéticas e dos obstáculos. A utilização dos drones nestas funções tem associados alguns desafios relacionados com a evolução da regulamentação, com os custos dos equipamentos, com o raio de ação dos aparelhos, com a tecnologia para detetar e evitar colisões, com a limitação das cargas, com as condições meteorológicas, com as limitações físicas locais (p.e. existência de árvores junto das fachadas), etc.

Julga-se que esta atividade, no atual contexto, poderia vir a ser vulgarmente identificada na língua portuguesa como, p.e., “*Inspeção Técnica com Recurso a Drone*” – ITRD.

## 5. ENSAIO COM DRONE - INSPECÇÃO DE FACHADA DE EDIFÍCIO ALTO

Neste ponto faz-se referência, em resumo, a um ensaio exploratório de inspeção [40] realizado com um drone a uma fachada de um edifício situado na Covilhã. No caso em estudo, o edifício tem cerca de 40 anos, 18 pisos (cerca de 50 m) e encontra-se devoluto. Este trabalho poderia eventualmente ter como objetivo principal o estudo pormenorizado da envolvente para efeito de uma eventual reabilitação futura.

A abordagem metodológica prévia foi a seguinte: utilização de um aparelho *DJI Phantom 4* [5]; o conhecimento do ambiente envolvente (existência de eventuais obstáculos ou interferências de qualquer ordem); o estabelecimento de um plano de voo - fixou-se uma distância horizontal às fachadas de 16 metros e realizou-se um mapeamento vertical em linha reta até à cota da cobertura; a verificação de condições meteorológicas adequadas (tempo ameno, com boa visibilidade e velocidade do vento baixa). Foi então realizado o voo e feito o registo de imagens pelo aparelho. Posteriormente, fez-se o tratamento dos resultados em *backoffice*, num programa de edição de imagem, por forma a compilar os *frames* e a obter-se um resultado final no qual é possível analisar em detalhe toda a fachada. Após a análise das fotografias obtidas, os autores [40] verificaram a existência de alguns problemas relacionados com a perda de aderência da argamassa de revestimento exterior e conseqüente destacamento. Outros problemas mais generalizados, dizem respeito à existência de áreas com fissuração. Realça-se o facto desta inspeção ter sido executada de forma rápida e custos muito reduzidos e possibilitar, com alguma facilidade, a determinação de tipos e quantidades de trabalhos de reparação a executar, sem a necessidade de instalar andaimes.

## 6. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentaram-se os drones como uma ferramenta tecnológica emergente, com grande potencial para a realização de inspeções de fachadas. A pesquisa bibliográfica permitiu perceber a abrangência atual da utilização dos drones em diversos campos de atividade; delimitar as terminologias com que este tipo de aeronaves são conhecidas; identificar as principais categorias; e analisar aspetos relacionados com as suas características físicas. Foram ainda abordados alguns aspetos relacionados com a regulamentação, tendo-se verificado que ainda não existe uma uniformização internacional. Em Portugal, já foi publicado um regulamento que estabelece normas aplicáveis aos drones, o que pode ser importante para o desenvolvimento da tecnologia drone e das atividades económicas que pretendam vir a abranger a sua utilização. Na análise feita aos desenvolvimentos ao nível da construção, constatou-se que em alguns países os drones estão a emergir para uma tendência de utilização crescente - sobretudo em estaleiros de obras e na inspeção de grandes estruturas. Ao nível da inspeção técnica da envolvente de edifícios em serviço, o recurso aos drones está a dar os primeiros passos, em particular com o interesse focado no recurso à fotografia e vídeo

digital, termografia e scanner 3D. Os *stakeholders* estão a despertar para as vantagens económicas que esta tecnologia pode trazer, sobretudo quando está em causa o acesso a zonas difíceis de inspecionar. Também a nível académico, ficou a perceção de que o interesse para o desenvolvimento de estudos neste campo já começa a apresentar algum dinamismo, sobretudo a nível internacional. Na literatura existente parecem também já estar razoavelmente identificadas as vantagens, as limitações e os desafios com que se depara atualmente a utilização dos drones.

Um ensaio de campo exploratório realizado com um drone [40], permitiu comprovar a sua grande utilidade e o conjunto de vantagens intrínsecas, particularmente em casos de inspeção técnica de edifícios altos, nos quais o recurso a outros meios auxiliares de apoio à observação visual seria mais oneroso e envolveria maiores riscos de segurança para os intervenientes.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UID/ECI/04082/2013.

Ao João Miraldes, ao Rafael Ramos e ao Sr. Bruno Marques, operador de drone, pela colaboração na realização do trabalho referido no ponto 5.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Schreiber and E. Ostiari, “Game of drones: do civilian applications harbour opportunities for sustainable development?”, Mirova, p. 5, Study Document, May 2014. ([http://www.mirova.com/Content/Documents/Mirova/publications/va/studies/MIROVA\\_Study\\_Game\\_of\\_drones\\_EN.pdf](http://www.mirova.com/Content/Documents/Mirova/publications/va/studies/MIROVA_Study_Game_of_drones_EN.pdf) - 22-06-2018)
- [2] MSS Team Project, “The Rise of Drones”, Dragonfly and International Space University, Final Report, France, March 2017. ([https://isulibrary.isunet.edu/doc\\_num.php?explnum\\_id=1324](https://isulibrary.isunet.edu/doc_num.php?explnum_id=1324) - 22-06-2018).
- [3] D. Gonzalez-Aguilera and P. Rodriguez-Gonzalvez, "Drones - An Open Access Journal", *Drones*, Editorial, MDPI Journal, vol. 1 (1), pp. 1-5, January 2017. doi:10.3390/drones1010001.
- [4] I. Mosly, "Applications and Issues of Unmanned Aerial Systems in the Construction Industry" *International Journal of Construction Engineering and Management*, vol.6 (6), pp. 235-239, 2017. [5] Web page. (<https://www.dji.com/phantom-4> - 22-06-2018).
- [6] M. Hassanalian and A. Abdelkefi, "Classifications, applications, and design challenges of drones: a review", *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 91, pp. 99-131, May 2017.
- [7] B. Chen, “EE5110/6110 Special Topics in Automation and Control – Introduction to Unmanned Aerial Vehicles”, NUS – National University of Singapore, p. 12, Presentation. (<http://uav.ece.nus.edu.sg/~bmchen/courses/EE5110-Chen.pdf>, 16-06-2018).
- [8] C. Guillot, “Commercial Drones”, SAGE Business Researcher, SAGE Publishing, p. 9, 2016.
- [9] S. Kesselman, “The First 1,000 Commercial UAS Exemptions”, AUVSI – Association for Unmanned Vehicle Systems International, Editors: D. Lucey and B. Davis, Report, p. 2, 2015.
- [10] P. Cohn, A. Green and M. Langstaff, “Commercial drones are here: The future of unmanned aerial systems”, McKinsey & Company, Capital Projects & Infrastructure, p. 5, Article, Dec. 2017. (<https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2018-01/commercial-drones-are-here-the-future-of-unmanned-aerial-systems.pdf> - 22-06-2018).
- [11] O. James, “Le marché des drones civils devrait tripler entre 2013 et 2015”, L'Usine Nouvelle, Web page, April 2014. (<https://www.usinenouvelle.com/article/le-marche-des-drones-civils-devrait-tripler-entre-2013-et-2015.N253134>, 14-06-2018).
- [12] D. Resende, "Drones e VANTs - Conceitos básicos e seu uso na engenharia de avaliações e perícias", Saletto – Brasil, 2017. (<https://pt.slideshare.net/DanieldeCastroRibeir/avaliaes-e-percias>, 19-06-2018).
- [13] J. Pecharromán e Ricardo Veiga, "Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados", Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, Brasil, 2017.

- [14] F. Greenwood, "Drones on the horizon: new frontier in agricultural innovation", Guest Editor, *ICT Update*, Issue 82, pp. 2 - 4, April 2016.
- [15] C. Sandbrook, "The social implications of using drones for biodiversity conservation", *Ambio*, vol. 44, Supplement 4, pp. 636–647, November 2015. doi: 10.1007/s13280-015-0714-0.
- [16] S. Gupta, M. Ghonge and P. Jawandhiya, "Review of Unmanned Aircraft System (UAS)", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, vol. 2 (4), April 2013.
- [17] K. Saylor, "A World of Proliferated Drones - A Technology Primer", Center for a New American Security, Research Report, June 2015.
- [18] N. Motlagh, "Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicles-Based Internet of Things Services - Comprehensive Survey and Future Perspectives", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3 (6), pp. 899 - 922, December 2016. doi: 10.1109/jiot.2016.2612119.
- [19] E. Mitka and S. Mouroutsos, "Classification of Drones", *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 6 (7), pp. 36 - 41, 2017.
- [20] G. Longhitano, "VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas", Tese de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2010.
- [21] Accenture, "A business approach for the use of drones in the Engineering & Construction industries", 2016. ([www.accenture.com/t00010101T000000\\_\\_w\\_/fr-fr/\\_acnmedia/PDF-24/Accenture-Drones-Construction-Service.pdf](http://www.accenture.com/t00010101T000000__w_/fr-fr/_acnmedia/PDF-24/Accenture-Drones-Construction-Service.pdf), 19-06-2018).
- [22] S. Janssen, "Assessing the perception of drones in the construction", Bachelor Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands, December 2015.
- [23] K. Zickuhr and E. Stahl, "Cities and Drones - What Cities Need to Know About Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)", NLC Center for City Solutions and Applied Research, USA, 2016.
- [24] C. Stöcker, R. Bennett, F. Nex, M. Gerke and J. Zevenbergen, "Review of the Current State of UAV Regulations", *Remote Sensing*, vol. 9 (1), pp. 1 - 26, May 2017. doi:10.3390/rs9050459.
- [25] M. Herrmann, "A Comparison of Unmanned Aerial Vehicle Regulations in the United States and Europe", in *53<sup>rd</sup> ASC Annual International Conference Proceedings*, Washington, USA, 2017, pp. 299 - 306.
- [26] PwC, "Clarity from Above", PwC global report on the commercial applications of drone technology, May 2016. (<https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf>, 19-06-2018).
- [27] ANAC, "Regulamento n.º 1093/2016 - Condições de operação aplicáveis à utilização do espaço aéreo pelos sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente ("Drones")", Diário da República, 2.ª série - N.º 238, 14 dezembro 2016.
- [28] Presidência do Conselho de Ministros, "Decreto-Lei n.º 58/2018 - Estabelece um sistema de registo e seguro de responsabilidade civil obrigatório aplicável aos sistemas de aeronaves civis não tripuladas («drones»)", Diário da República, 1.ª série - N.º 140, 23 de julho de 2018.
- [29] Web page. (<http://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20180607IPR05239/drones-pe-aprova-primeiras-regras-a-nivel-europeu-para-garantir-seguranca> - 19-06-2018).
- [30] Web page. (<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/> - 20-06-2018).
- [31] D. Budiac, "Construction Technology Trends - 2018 Report", Software Connect, Web page. (<https://softwareconnect.com/construction/technology-trends-2018-report/> - 20-06-2018).
- [32] A. Ruggiero, S. Salvo and C. St. Laurent, "Robotics in Construction", IQP Final Report, Faculty of Worcester Polytechnic Institute, UK, 2016.
- [33] I. Mosly, "Applications and Issues of Unmanned Aerial Systems in the Construction Industry", *International Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 6 (6), pp. 235-239, 2017. doi: 10.5923/j.ijcem.20170606.02.

- [34] Q. Dupont, D. Chua, A. Tashrif and E. Abbott, “Potential Applications of UAV along the Construction’s Value Chain”, *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 165 – 173, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.155
- [35] C. Eschmann, C.-M. Kuo, C.-H. Kuo and C. Boller, “Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring”, in *6th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2012)*, Dresden, Germany, 2012.
- [36] J. Martínez, L. García, J. San José and J. Fernández, “New Technologies in the Documentation Process of the Façade OF University of Valladolid”, in *REHABEND 2016*, Burgos, Spain, 2016.
- [37] R. Tajadura, “Drones in the Architectural Rehabilitation, Preventive Conservation in Equity”, in *REHABEND 2016*, Burgos, Spain, 2016.
- [38] R. Ariwoola, “Use of Drone and Infrared Camera for a Campus Building Envelope Study”, Master Thesis, East Tennessee State University, USA, May 2016.
- [39] Web page. (<https://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK58243.htm> - 26-06-2018).
- [40] J. Miraldes e R. Ramos, “Relatório de Inspeção de um Edifício com Recurso a Drone”, Trabalho apresentado na U. C. Patologia da Construção do Mest. Int. Eng. Civil, Supervisão de João Lanzinha, DECA, UBI, 2018.

# construção 2018

reabilitar e construir de forma sustentável

LIVRO DE ATAS

# construção 2018

reabilitar e construir de forma sustentável

LIVRO DE ATAS

