

# AIRTICI Advanced Interactive Robotic Tools for the Inspection of Critical Infrastructures



## Relatório Técnico Final

Consórcio:



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Julho de 2013





# Resumo

Neste relatório técnico final são apresentados os principais resultados do projeto AIRTICI, os trabalhos desenvolvidos, as demonstrações dos resultados levadas a cabo, bem como a estratégia de valorização.

Inicialmente, as valências dos promotores e das empresas subcontratadas que constituem o consórcio são apresentadas em detalhe, esboçando o funcionamento e a complementaridade entre os diversos parceiros. Uma visão geral do projecto é também apresentada, tendo em conta uma perspectiva de final de projeto, detalhando a motivação, os objetivos principais, as tarefas e actividades, a comparação entre o cronograma inicialmente proposto e o cronograma que foi realizado, tal como as principais milestones propostas e atingidas durante o projeto.

A descrição dos trabalhos desenvolvidos são reportados com todo o detalhe no Relatório Técnico Intercalar, que foi entregue em 2011 e reporta os primeiros 2 anos do projeto, e também no Relatório Técnico Auxiliar, que é submetido com este mesmo relatório e reporta os últimos dois anos do projeto. Ainda assim, um resumo consolidado dos trabalhos desenvolvidos, divididos por grupos temáticos, são apresentados também neste relatório, tal como uma lista completa das publicações científicas conseguidas no âmbito deste projeto.

São ainda apresentadas as actividades e a estratégia de valorização dos resultados do projeto, detalhando as ações específicas levadas a cabo pelo consórcio durante o decorrer do projecto e a estratégia de valorização tendo em conta o impacto percebido pelo consórcio e a estratégia de valorização de médio e longo prazo. Por fim, é feita uma breve avaliação do projecto e resumidos os factos da execução financeira.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>O Consórcio</b>	<b>1</b>
1.1	Empresas . . . . .	2
1.1.1	Sociedade de Construções H. Hagen S.A. . . . .	2
1.1.2	EDP, Labelec . . . . .	3
1.1.3	Brisa Auto-estradas de Portugal . . . . .	3
1.2	Instituições . . . . .	4
1.2.1	Instituto Soldadura e Qualidade (ISQ) . . . . .	4
1.2.2	Instituto Superior Técnico (IST) . . . . .	7
1.2.3	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) . . . . .	8
1.3	Empresas Subcontratadas . . . . .	8
1.3.1	Albatroz Engenharia . . . . .	8
1.3.2	Blue Edge – Engenharia de Sistemas . . . . .	9
1.3.3	Reverse Engineering . . . . .	11
<b>2</b>	<b>O Projeto</b>	<b>13</b>
2.1	Motivações . . . . .	13
2.2	Objetivos . . . . .	14
2.3	Tarefas, Atividades e Cronograma . . . . .	14
2.4	Milestones e Resultados Atingidos . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Trabalhos Desenvolvidos</b>	<b>21</b>
3.1	Desenvolvimento de Veículos Aéreos Autónomos . . . . .	21
3.2	Inspeção e Monitorização de Pontes e Viadutos . . . . .	24
3.3	Inspeção de Infraestruturas de Transporte de Energia . . . . .	24
3.4	Testes e Ensaios . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Actividades e Estratégia de Valorização</b>	<b>27</b>
4.1	Actividades de Valorização . . . . .	27
4.2	Estratégia de Valorização . . . . .	30
4.3	Impacto do Projeto no Consórcio . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Avaliação</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Execução Financeira</b>	<b>37</b>
	<b>Publicações do Projecto</b>	<b>39</b>



# Lista de Figuras

2.1	Cronograma inicial e execução aquando do relatório intermédio. . . . .	16
2.2	Cronograma adaptado e execução no final do projeto. . . . .	17
4.1	Apresentação do projecto e demonstração de voo aquando da assinatura de um protocolo entre MAI, IST e AIP. . . . .	28
4.2	Participação na exposição Portugal Tecnológico 2010. . . . .	29
4.3	Divulgação nas XI Jornadas da Engenharia Electrotécnica e de Computadores. . . . .	29
4.4	Demonstração de voo durante o festival nacional de robótica, Robótica 2011. . . . .	31
4.5	Presença na exposição realizada no Pavilhão do conhecimento no âmbito da "European Robotics Week". . . . .	32
4.6	Presença na Sessão Anual COMPETE. . . . .	33





# Lista de Tabelas

2.1	Mapa de tarefas de acordo com a proposta inicial . . . . .	14
2.2	Mapa de relatórios técnicos entregues. . . . .	15
2.3	Resumo de milestones das Tarefas A e B. . . . .	18
2.4	Resumo de milestones das Tarefas C e D. . . . .	18
2.5	Resumo de milestones das Tarefas E, F e G. . . . .	19
2.6	Resumo das milestones da actividade de Testes e Ensaios. . . . .	19
2.7	Resumo das milestones da actividade de Promoção e Divulgação. . . . .	19
6.1	Investimento e taxa de execução por promotor. . . . .	37



# Capítulo 1

## O Consórcio

A constituição do presente consórcio tem como estratégia subjacente apostar na capacidade de investigação e desenvolvimento tecnológico de um conjunto de instituições e empresas nacionais com resultados comprovados nas suas áreas de especialidade e para as quais as metas traçadas no projecto se revestem de elevado interesse para o reforço da sua actividade e projecção no domínio da I&DT. O consórcio é formado por três empresas (HAGEN, LABELEEC e BRISA), uma universidade (Instituto Superior Técnico, IST), um instituto de transferência de tecnologia (Instituto de Soldadura e Qualidade, ISQ), um laboratório do estado (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC), e conta com a participação de um instituto de investigação Francês (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS, Sophia Antipolis).

Para além dos co-promotores, o consórcio conta com a participação de três empresas na forma de subcontratadas, a ALBATROZ, REVERSE e BLUE EDGE. Estas empresas de base tecnológica, apesar da sua dimensão reduzida, são detentoras de elevado know-how em áreas críticas para o projecto. O consórcio foi assim constituído para que, por um lado, estas empresas dessem suporte no projecto a alguns desenvolvimentos tecnológicos muito específicos. Por outro lado, e sem prejuízo das iniciativas de industrialização e comercialização de produtos e serviços que os co-promotores empresariais possam vir a tomar, estas três subcontratadas poderão também garantir condições para a utilização da tecnologia desenvolvida colocando no mercado produtos e serviços de elevado valor acrescentado nas diversas vertentes da actividade da inspecção de infra-estruturas críticas.

Convém salientar que o fio condutor do projecto se centra nas empresas co-promotoras, de grande dimensão, e que por isso mesmo apresentam necessidades muito específicas de desenvolvimento de tecnologia para inspecção e monitorização de infra-estruturas críticas. No médio prazo, as empresas co-promotoras deverão integrá-los no seu portfolio de técnicas e metodologias de inspecção, quer para utilização própria, quer para eventual prestação de serviços a terceiros. Para além disso o investimento a realizar no âmbito do projecto deverá permitir o desenvolvimento de um cluster de conhecimento e tecnologia no domínio da inspecção de infra-estruturas críticas, que deverá integrar quer as empresas co-promotoras quer as subcontratadas. Este conhecimento deverá ser utilizado para suprir as necessidades identificadas e criar mais valias ao nível da introdução de serviços e produtos, quer no mercado nacional quer em diversos mercados internacionais.

A experiência de trabalho em projectos de I&DT aliada à complementaridade de competências que o consórcio apresenta foram fundamentais para que os objectivos propostos tenham sido atingidos. Designadamente, no domínio das aplicações, a inspecção de pontes e viadutos envolve como protagonista a BRISA, a inspecção de linhas de transporte de energia é uma área de intervenção da LABELEEC do grupo EDP, e o acompanhamento de obras de construção civil e obras públicas encontra-se no âmbito de actuação da HAGEN. A componente

de investigação em robótica esteve a cargo do IST, enquanto que o desenvolvimento de técnicas avançadas de inspecção é conduzido pelo ISQ e LNEC. O consórcio foi ainda apoiados no esforço de processamento de imagem, tratamento de dados laser e de termografia pela pelas REVERSE, ALBATROZ e BLUE EDGE.

## 1.1 Empresas

### 1.1.1 Sociedade de Construções H. Hagen S.A.

Inserida no GRUPO HAGEN, a Sociedade de Construções H. Hagen, é detentora das autorizações necessárias para o desenvolvimento da sua actividade, constantes das categorias e subcategorias mencionadas no Alvará de Construção no 52. A Sociedade de Construções H. Hagen S.A., é uma empresa que desenvolve as suas actividades no âmbito da Engenharia e Construções desde 1950, cujo Sistema de Gestão da Qualidade se encontra certificado pela norma de referência NP EN ISO 9001:2000, desde Fevereiro de 2004.

A empresa Sociedade de Construções H.Hagen S.A., tem como objectivo, desenvolver as suas valências ao nível de mercado internacional e desta forma promover a expansão da empresa no estrangeiro. Acreditamos que a firmeza do nosso compromisso e da nossa visão e estratégia de sustentabilidade constituem o mais seguro garante da capacidade de gerir os riscos e de assegurar a solidez e o sucesso do negócio, traduzindo o empenhamento contínuo da H. Hagen S.A. na geração de valor num contexto de crescimento, diversificação e internacionalização. O objectivo central é aumentar a produtividade, com o aumento da industrialização da construção, aperfeiçoamento do sistema de qualidade e produtividade, promoção dos serviços de construção e engenharia prestados pela Sociedade de Construções H. Hagen S.A. e estímulo à inovação na cadeia produtiva.

Com vista a dar resposta ao acréscimo do nível de competitividade no mercado de trabalho, a empresa pretende proporcionar aos seus colaboradores, formação adequada, de modo a aumentar o número de trabalhadores com Certificado de Aptidão Profissional, bem como, contratar mão-de-obra qualificada. A Sociedade de Construções H. Hagen S.A. está convicta da necessidade de proteger e gerir o nosso capital humano atraindo e retendo recursos humanos qualificados e motivados num quadro de rigor e compromisso que estimule a excelência e o mérito, a progressão na carreira, a vontade permanente de aprender e melhorar, permitindo assim fazer do universo de empresas do Grupo Hagen comunidades de trabalho dinâmicas e progressivas, aptas a enfrentar tranquilamente os desafios do futuro.

A Sociedade de Construções H. Hagen S.A. pretende estabelecer uma estratégia para adequar as pessoas, os recursos e as tecnologias (aspectos técnicos) às necessidades impostas no mercado: qualidade final do produto, minimização de riscos ambientais e prevenção de riscos no âmbito da segurança e saúde no trabalho. Para tal, a empresa visa proceder à utilização de equipamentos que conduzam a resultados mais fiáveis do ponto de vista da produção e que apresentam um menor risco para o trabalhador, bem como, à implementação de soluções técnicas mais eficazes e que evidenciem a integração das preocupações ambientais.

Tendo em conta a perspectiva de evolução dos mercados nacional e internacional e os desafios prementes e cada vez maiores, nas áreas da gestão, ambiente e segurança, a empresa pretende alargar o seu âmbito de certificação, abrangendo a Qualidade (certificação já existente), Ambiente e Segurança e Saúde no Trabalho. Na H. Hagen S.A. entendemos que o sucesso da nossa visão estratégica deve consubstanciar-se num compromisso firme com uma gestão ética, social e ambientalmente responsável. Apostamos assim numa abordagem integradora dos valores e princípios da sustentabilidade nos sistemas de gestão, operações e actividades, práticas e atitudes empresariais, prestando especial atenção ao relacionamento e comunicação com as partes

interessadas num clima de rigor, transparência e abertura. Acreditamos nas virtualidades e benefícios de um modelo de gestão social e ambientalmente responsável potenciador dos mais elevados padrões de eco-eficiência, que proteja o meio ambiente e preserve os recursos naturais, promova a diferenciação e a excelência competitivas pela geração de um clima interno favorável à aprendizagem, inovação, eficiência, qualidade e melhoria contínua do nosso desempenho.

### **1.1.2 EDP, Labelec**

A Labelec, uma empresa do grupo EDP, tem como objectivo a prestação de serviços especializados nas áreas da energia eléctrica e do ambiente. A Labelec desenvolve as suas actividades preferencialmente no sector eléctrico, actuando no âmbito da produção, do transporte, e da distribuição de energia eléctrica. Sempre que solicitada, presta serviços no apoio à manutenção de instalações eléctricas do sector industrial e no desenvolvimento e comprovação da qualidade da industria nacional, no fabrico de equipamentos e materiais utilizados pelo sector eléctrico. Partindo de uma base laboratorial assente na existência de cinco laboratórios acreditados e altamente especializados, responde a necessidades específicas do sector eléctrico (Laboratórios de Alta Tensão, Metrologia, Ensaios Físicos, Materiais Isolantes e Meio Ambiente). Tem também na sua estrutura orgânica uma equipa especializada na elaboração de estudos técnicos relacionados com a rede eléctrica, nomeadamente aplicados à coordenação de isolamento, à qualidade de serviço e aos sistemas de protecção.

As actividades mais relevantes distribuem-se por seis grandes áreas, que são também as grandes apostas estratégicas da empresa, a saber:

1. Estudos e Desenvolvimento (Estudos Técnicos relacionados com a Rede Eléctrica)
2. Alta Tensão (Laboratório Alta Tensão; Laboratório de Ferramentas de Trabalhos em Tensão; Laboratório Metroológico de Alta Tensão; Ensaios de Campo; Qualidade Técnica de Serviço; Ensaios de Terras)
3. Ensaios Físicos (Laboratório de Ensaios Electromecânicos; Termografia Aérea e Terrestre; Inspeção e Ensaios de Materiais/Equipamentos)
4. Metrologia (Laboratório de Ensaios de Contagem de Energia, Laboratório Metrologia de Grandezas Eléctricas;
5. Laboratório de Ensaios de Câmaras Térmicas)
6. Materiais Isolantes (Ensaios de Óleos e SF6)
7. Ambiente (Ensaios das características da Água e Ar Ambiente)

### **1.1.3 Brisa Auto-estradas de Portugal**

A Brisa Auto-estradas de Portugal foi fundada em 1972. Em 36 anos, transformou-se numa das maiores operadoras de auto-estradas com portagens no mundo e a maior empresa de infra-estruturas de transporte em Portugal.

Hoje, tem uma capitalização bolsista próxima dos 6 000 milhões de euros e as suas acções são cotadas na Euronext Lisboa, onde integra o seu principal índice, o PSI-20. Faz ainda parte do Euronext 100 - o índice que reúne as maiores empresas de França, Holanda, Bélgica e Portugal - e do FTSE4Good, o índice de referência em responsabilidade social. Actualmente, cerca de 89% dos proveitos de exploração provêm da construção e exploração de auto-estradas. A principal área de negócio da Brisa é a construção e a exploração de auto-estradas com portagem, quer

através de investimentos directos em Portugal, quer através das suas participadas nacionais e internacionais.

Os restantes negócios desenvolvidos pela empresa complementam a sua área principal e consistem na prestação de serviços associados à segurança ou à comodidade da circulação rodoviária, em auto-estrada e em circuito urbano. Mercados:

- Brasil, América do Norte e Espanha concentram a maioria dos investimentos internacionais da Brisa:
- No Brasil, detém 18% do capital da Companhia de Concessões Rodoviárias (CCR), a maior operadora de auto-estradas da América Latina;
- Nos Estados Unidos, detém 90% do capital da concessão Northwest Parkway;
- Em Espanha, detém 1% da Abertis, uma das maiores operadoras europeias do sector.

A BRISA é uma empresa cotada em bolsa, estando por isso sujeita à regulação da Comissão de Mercados de Valores Mobiliários (CMVM). Por isso e porque tal seria considerado como informação privilegiada pela Entidade Reguladora, não divulga e se não apresentam os Balanços e Demonstrações de Resultados Previsionais relativos ao período compreendido entre 2008 e 2011.

## 1.2 Instituições

### 1.2.1 Instituto Soldadura e Qualidade (ISQ)

O ISQ possui domínios de especialização múltiplos que podem ser sistematizados nas seguintes áreas de actuação:

- Qualidade Industrial e Manutenção Industrial;
- Electricidade, Ambiente, Energia e Segurança;
- Garantia da Qualidade;
- Tecnologia da Produção e Controlo Não Destrutivo.

O ISQ procura através das suas competências na área da construção e manutenção industrial, garantir a qualidade e segurança na construção de unidades industriais, bem como o uso eficiente dos recursos existentes, minimizando a possibilidade de acidentes e maximizando a utilização das capacidade produtivas. Trata-se de um conjunto de actividades integradas, fazendo recurso a um leque de técnicas e conhecimentos diversificados, e que se inicia na revisão dos projectos, evolui para a inspecção e controlo da construção, definição de programas de garantia da qualidade e segurança, bem como no planeamento do uso dos equipamentos e posteriormente na respectiva manutenção. A verificação do projecto, assegurando a qualidade das construções, é condição essencial da segurança de pessoas e bens e da economia do investimento. A boa execução do projecto torna-se essencial para garantir a qualidade da construção e economia do investimento.

A inspecção de construção e montagem de equipamentos isolados ou de unidades industriais constitui uma das fases mais importantes de um processo de garantia de qualidade e permite aumentar de modo significativo a confiança na adequação do produto ao fim a que se destina e em simultâneo a fiabilidade desse mesmo produto. O ISQ presta serviços de inspecção de construção, visando principalmente o cumprimento do projecto, das normas ou códigos técnicos e ainda da regulamentação legal aplicável. Para categorias de equipamentos em que tal está

regulamentado, o ISQ efectua ainda a certificação da construção possibilitando assim a sua comercialização no mercado. A manutenção tem em vista assegurar o correcto funcionamento e optimização da vida útil dos equipamentos e unidades industriais. O ISQ fornece soluções integradas de gestão da manutenção, recorrendo a modernas tecnologias de avaliação da vida restante de equipamentos e unidades industriais. A instalação de sistemas de monitorização "on line", o fornecimento de sistemas de periciais de apoio à decisão e de software para gestão da informação dos resultados da inspecção incluem-se nos serviços fornecidos nesta área. Neste âmbito, o ISQ interveio nos maiores projectos industriais realizados em Portugal, com particular destaque para a construção metálica em geral para as indústrias do Petróleo, Sector Químico e Petroquímico, Gás Natural, Cimentos, Pasta de Papel, Pontes Metálicas, e Gasodutos. O ISQ actua periodicamente nos mercados Europeus (Noruega, Espanha, Suíça), América Latina (Brasil, México, e Cuba), Africa (Angola e Moçambique) e Asia (Macau, Hong Kong e China). No âmbito do enquadramento anterior, o ISQ afirma-se claramente como a maior entidade portuguesa de Inspeções Técnicas detendo competências em diversos domínios nomeadamente inspecção de Construção Metálicas, Instalações Eléctricas, Construção Civil, Instalações de Ar Condicionado, Pontes e Viadutos, Equipamento de Elevação, Redes de Gás, Protecções Anticorrosivas e Isolamentos, Certificação de Materiais, Equipamentos e Pessoal (soldadores, técnicos de gás, etc.).

De forma complementar à área anterior, surge um conjunto de competências relacionadas com a actividade de inspecção e análise de cabos, instalações e equipamentos eléctricos e de meios de elevação. A actividade da divisão de electricidade subdivide-se em duas grandes componentes, uma laboratorial (com dois laboratórios acreditados) e uma componente não laboratorial. No âmbito desta última componente destaca-se as actividades de inspecção de elevadores e equipamentos de elevação e de movimentação (tendo o ISQ sido a primeira entidade portuguesa a obter o reconhecimento como Organismo Notificado para a Directiva Comunitária Ascensores), a inspecção de equipamentos e instalações eléctricas de apoio à Indústria Nacional, e desde Fevereiro de 1999, as actividades enquanto Entidade Regional Inspector de Instalações eléctricas de 5ª Categoria no âmbito do disposto no Decreto Lei no 272/92.

A Divisão de Desenvolvimento Sustentável (DS) do ISQ é um dos principais intervenientes na área da inspecção ambiental em Portugal, e está dotada para apoiar as empresas e organismos oficiais na avaliação do impacto criado pelas intervenções humanas no meio ambiente, na definição de programas preventivos/correctivos para preservação da natureza, e para a certificação ambiental de empresas. A DAES é constituída pelo Centro de Tecnologias Ambientais, o Centro de Acústica e Controlo de Ruído e o Centro de Segurança. Os Centros possuem laboratórios especializados e acreditados, respectivamente, o Laboratório de Química e Ambiente (LABQUI) e o Laboratório de Ruído (LABRD). O Centro de Tecnologias Ambientais (CTA) centra a sua actividade na realização de inspecções, auditorias e avaliação de impactos ambientais e de energia. Trata-se de um centro que possui desde o seu início um protocolo de colaboração com a DGA, e está credenciado como Centro de Competência em Energia e Ambiente. As actividades do Centro estendem-se desde a avaliação de conformidade ambiental, impacte ambiental e análise do ciclo de vida de produtos e instalações a estudos de dispersão de poluentes, estudos sobre a utilização racional de energia, desenvolvimento e aplicação de tecnologias limpas ou pouco poluentes. A área do ambiente é uma das que se perspectiva um maior crescimento a curto prazo nomeadamente através de uma intensificação da acção do ISQ como braço técnico da administração, pelo apoio sistemático às associações industriais, e como forte suporte na implementação de sistemas de gestão ambiental nas empresas.

O ISQ desde o final dos anos 80 que presta serviços de consultoria em gestão da qualidade nas mais diversas vertentes. Actualmente dispõe de experiência, de recursos humanos, de laboratórios e equipamentos que o colocam em posição ímpar na oferta de serviços visando a

Qualidade Total. O ISQ foi acreditado no âmbito do PEDIP-medida 5, como centro de competência em Gestão da Qualidade e Controlo Estatístico. Apoia as empresas e serviços na implantação dos seus Sistemas da Qualidade, apoio que já se traduziu na certificação da qualidade de dezenas de empresas, dos mais diversos domínios de actividade. Ultimamente tem desenvolvido esta actividade no apoio ao sistema de gestão integrado Ambiente, Qualidade, Segurança. No âmbito da qualidade, e num quadro legal que exige de forma crescente a certificação de bens e calibração de equipamentos, o ISQ desenvolveu um Laboratório de Metrologia (LABMETRO). Assim, o ISQ dispõe de capacidades para realização de ensaios de medição de comprimento, superfície, ângulo, massa, volume, densidade, pressão, força, bem como de unidades de grandeza eléctricas, magnéticas e temperatura, para além da medição da distância focal e raios de curvatura de lentes, rugosidade de superfícies, e verificação de circuitos impressos.

A interacção entre as actividades de Investigação & Desenvolvimento e prestação de serviços técnicos colocam o ISQ em posição singular de organizar acções de formação de acordo com as necessidades reais da indústria nacional, e recentemente, de cariz internacional, e elaborar conteúdos permanentemente actualizados. O ISQ mantém como permanente preocupação a disponibilização dos meios de formação adequados à reciclagem e actualização dos quadros industriais, à qualificação e certificação de pessoal, e à inserção e readaptação no mercado de trabalho. O leque de cursos oferecidos pelo Instituto contém pós-graduações, cursos intra-empresa, cursos inter-empresa, e cursos técnicos de aprendizagem, que atravessam horizontalmente os diversos domínios do conhecimento do ISQ (Qualidade, Soldadura, Manutenção, Segurança, Ambiente, tecnologias de Produção, Gás, Inspeção e Ensaio, Logística Industrial). Parte significativa das actividades de formação estão centradas em actividades muito dinâmicas e em permanente actualização, que exigem do ISQ um grande esforço na actualização de conteúdos e meios didácticos que servem de suporte aos diferentes cursos. O ISQ tem também dedicado grande esforço aos meios de suporte utilizados na produção desses mesmos meios, procurando utilizar os instrumentos que melhor se adequam a cada situação. A emergência da internet induz ao ISQ enormes desafios e oportunidades pois poderá através deste suporte dinamizar as actividades de ensino à distância, com especial enfoque em acções de âmbito regional ou internacional. O ISQ tem com cada vez maior frequência promovido acções de formação no estrangeiro, devendo assumir para os próximos anos o desafio de institucionalizar a sua presença física nos países de língua oficial portuguesa.

A actividade de I&D integra uma componente horizontal interna essencial para o desenvolvimento de outras actividades, e de forma crescente, para o lançamento de novas actividades no âmbito do Instituto. É prioridade estratégica do ISQ a promoção de tecnologias necessárias as suas actividades operacionais, bem como, outras inovações, que contribuam para o desenvolvimento de novos e melhores produtos, processos e sistemas organizacionais na indústria. Outro objectivo, que o ISQ procurará dar maior importância no futuro, já que se reconhece que no passado esteve muito virada para as actividades internas, é a promoção de incorporação de novas tecnologias e processos nos sectores tradicionais industriais, bem como o desenvolvimento de novas actividades industriais. A actividade de I&D, é de uma forma crescente, uma actividade que cada vez mais se processa dentro de um quadro de colaboração internacional, com a constituição de redes de investigação transnacionais que partilham e difundem a inovação entre si. Salientam-se neste campo, uma participação activa no estudo do funcionamento e optimização da vida útil dos equipamentos e unidades industriais (que fomentou a constituição dos Laboratórios de Materiais e Metalurgia e o Laboratório de Comportamento Mecânico), tecnologias da produção, Ensaios Não Destrutivos, e Tecnologias Ambientais. Abordando globalmente todas as actividades do Instituto verificamos que o ISQ no fundo oferece um conjunto de serviços necessário ao crescimento de todas as indústrias em bases sustentadas de qualidade, segurança e preservação do ambiente, bem como é, e pode ser mais, um braço técnico do Estado nas suas



actividades de inspecção. No Futuro o ISQ pretende ter uma intervenção maior na promoção da produtividade das unidades empresariais e na promoção de processos e produtos inovadores. O Volume de negócios do ISQ apresenta claramente uma tendência crescente, embora anualmente possam verificar-se oscilações significativas, em função da existência de grandes obras.

O ISQ actua presentemente em Portugal e internacionalmente, destacando-se fundamentalmente uma presença na América Latina no Brasil e México, na Africa em Angola e Argélia e no Sudoeste Asiático em Macau e Hong Kong. Saliente-se contudo que parte dos trabalhos desenvolvidos não se encontram reflectidos nos mapas de facturação do ISQ, já que este promoveu a constituição de empresas participadas que desenvolvem directamente actividades locais. A prestação de serviços no estrangeiro é superior os 20% do volume de negócios anual. A carteira de clientes do ISQ é bastante diversificada quer na tipologia de clientes, quer no número de entidades a quem presta serviços. Na carteira de clientes do ISQ encontram-se as mais prestigiadas empresas nacionais, bem como um conjunto significativo de pequenas e médias empresas e particulares.

### 1.2.2 Instituto Superior Técnico (IST)

O Instituto Superior Técnico (IST) é uma das maiores escolas de engenharia portuguesas. Desenvolve actividade de investigação num largo espectro de campos da engenharia a qual é realizada nos vários institutos e laboratórios nos quais se inclui o Instituto de Sistemas e Robótica (ISR/IST).

O ISR-Lisboa, é um instituto de I&D de base universitária onde são desenvolvidas actividades de investigação multidisciplinar avançada nas áreas da Robótica e Sistemas Autónomos (veículos terrestres, oceanográficos e aéreos), Processamento de Informação, incluindo Sistemas e Teoria do Controlo, Processamento de Sinal, Visão por Computador, Optimização, I.A. e Sistemas Inteligentes, Engenharia Biomédica. Aplicações incluem Robótica Submarina Autónoma, Busca e Salvamento, Comunicações Móveis, Multimédia, Formação de Satélites, Auxiliares Robóticos.

A equipa do ISR/IST é constituída por cerca de 30 investigadores e engenheiros seniores, 50 estudantes de pós-graduação e 20 estudantes de graduação que estão envolvidos em mais de 30 projectos de I&D nacionais e internacionais. Os objectivos principais da actividade de investigação e desenvolvimento levada a cabo pela equipa do ISR/IST que participa neste projecto nas áreas da robótica aérea e oceanográfica são: 1) contribuir para a evolução do conhecimento na área da robótica e dos sistemas autónomos, e 2) aplicar ferramentas de análise e design das áreas da navegação, comando e controlo, recentemente desenvolvidas, à construção de veículos aéreos e oceanográficos.

O trabalho desenvolvido levou à construção dos seguintes veículos aéreos e oceanográficos: ALTICOPTER (pequeno helicóptero autónomo para teste de algoritmos), DELFIMx (catamarã de superfície autónomo), INFANTE (submarinorobótico autónomo) e do IRIS (estrutura automática semi-submersa para monitorização) desenvolvida no âmbito do projecto MEDIRES. Estes veículos e ferramentas possuem um duplo papel de i) plataformas de teste avançadas, permitindo o teste em campo de novos conceitos teóricos sobre os sistemas e de novas arquitecturas de hardware/software para o controlo de veículos autónomos, e ii) plataformas capazes de operar em cenários reais, conduzindo a sinergias enriquecedoras entre tecnologia e ciência marinha e terrestre.

Em termos internacionais esta equipa esteve envolvida no desenvolvimento bem sucedido do MARIUS, o primeiro submarino autónomo Europeu para oceanografia costeira no âmbito de um projecto coordenado pelo ISR/IST, e financiado pela Comissão das Comunidades Europeias (Programa MAST II, 1996). O ISR/IST também teve um papel activo no design, implementação, e teste no mar dos sistemas de comando, navegação, controlo e controlo de missão do

SIRENE, uma plataforma submarina para posicionamento automático de laboratórios bênticos, desenvolvido no âmbito de um projecto Europeu coordenado pelo IFREMER, França (Programa MAST II, 1997).

Recentemente o IST/ISR foi coordenador do projecto MAST-III ASMOV que juntou especialistas das ciências marinhas e das áreas da tecnologia para o desenvolvimento de ferramentas avançadas e metodologias para exploração oceanográfica (2000). Actualmente, o ISR/IST está envolvido em vários projectos e acções concertadas envolvendo instituições nacionais e estrangeiras com o objectivo de desenvolver e evoluir metodologias e equipamentos de engenharia até ao ponto de se tornarem ferramentas versáteis para expandir o nosso entendimento sobre os oceanos. Instituições representativas incluem os grupos UAV e AUV da Naval Postgraduate School of Monterey, CA (USA), o Instituto Automazione Navale, Geneva (Italy), o National Institute of Oceanography (NIO), Goa (Índia), o IGM-Instituto Geológico e Mineiro de Portugal, o DIST/University of Genova (Italy), o IMAR/DOP/Uaços- Departamento de Oceanografia e Pescas da Universidade dos Açores (Portugal), o CREMINER- Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia da Universidade de Lisboa, e o LNEC-Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal).

### **1.2.3 Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)**

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), fundado em Novembro de 1946, é um instituto público de investigação, com o estatuto de Laboratório de Estado, dedicado à Ciência e Tecnologia, que exerce a sua atividade nos múltiplos domínios da Engenharia Civil e áreas afins, sujeito à tutela do Ministério da Economia e do Emprego, sendo a competência relativa à definição das suas orientações estratégicas exercida em articulação com o Ministério da Educação e da Ciência.

De acordo com a sua Lei Orgânica, Decreto-Lei 157/2012, de 18 de julho, o LNEC tem por missão empreender, coordenar e promover a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico, bem como outras atividades científicas e técnicas necessárias ao progresso e à boa prática da engenharia civil, exercendo a sua ação, fundamentalmente, nos domínios da construção e obras públicas, da habitação e urbanismo, do ambiente, da gestão dos riscos, da indústria dos materiais, componentes e outros produtos para a construção e em áreas afins. Cumpre-lhe ainda apoiar o poder executivo, com isenção e idoneidade científica e técnica, nas suas atividades de governo e regulação e de servir, tecnologicamente apoiando e inovando, a parte do tecido produtivo que é usual designar-se por setor da construção.

A atividade do LNEC visa, no essencial, a segurança e qualidade das obras, a proteção e reabilitação do património natural e construído, bem como a inovação tecnológica no sector da construção e nas áreas da água e do ambiente. Em termos de capital humano tem cerca de 560 trabalhadores e 140 bolseiros. Os Investigadores representam 30% do mapa de pessoal e têm grau de Doutor ou equivalente.

## **1.3 Empresas Subcontratadas**

### **1.3.1 Albatroz Engenharia, Investigação, Desenvolvimento e Inovação S.A**

A Albatroz Engenharia, Investigação, Desenvolvimento e Inovação S.A. é uma empresa privada que define as suas actividades em resposta às necessidades de inovação manifestadas pelos seus clientes nas áreas da robótica, aeronáutica, software, mecânica e electrónica.

Albatroz Engenharia assume que a solução óptima para um determinado problema não é, na maioria dos casos, a melhor solução técnica nem o remendo mais barato; a solução óptima reside algures entre estes dois extremos e só pode ser encontrada em conjunto com cada cliente. Servir

dois clientes com necessidades (aparentemente!) iguais, conduz normalmente a duas soluções óptimas diferentes. As actividades da empresa Albatroz Engenharia são orientadas para os projectos.

Albatroz Engenharia trabalha em cooperação próxima com os seus clientes, durante todas as fases do projecto. Os membros da Albatroz Engenharia interagem com as equipas dos clientes - se possível participando nas actividades do cliente - para aprender as especificidades das actividades. Após terem apreendido os processos, os membros da Albatroz Engenharia podem olhar os desafios com pontos de vista interno e externo. O cliente é mantido a par do progresso do projecto e as auditorias técnicas e científicas de terceiros durante o projecto são bem-vindas<sup>1</sup>. Albatroz Engenharia estabeleceu-se como uma ponte entre as universidades, os institutos de investigação, a indústria e os serviços. Promove estágios e cooperação com escolas de engenharia bem como parcerias de longo prazo com a indústria e serviços (fornecedores, pares ou clientes).

A empresa está sediada em Lisboa, Portugal e iniciou as suas actividades em Março de 2006. Conta na sua equipa com cinco engenheiros (um PhD, dois MSc e dois licenciados com cinco anos de formação) e um consultor externo (MSc). O projecto chave da empresa, designado “Power Line Maintenance Inspection” [PLMI] consistiu na concepção, desenvolvimento, produção e teste de um sistema integrado de inspecção de linhas eléctricas aéreas que oferece um sistema automático de detecção de obstáculos em torno dos condutores com resultados em tempo real que é uma inovação a nível mundial. Este sistema está em uso quotidiano na LABELEEC, a empresa do Grupo EDP que realiza inspecções de linhas por helicóptero e a Albatroz Engenharia procura agora desenvolver produtos afins para empresas estrangeiras de inspecção de linhas.

Inspirada no projecto PLMI, a Albatroz Engenharia criou um sistema similar para utilização em veículos terrestres que oferece detecção de obstáculos e registo de vídeo e, futuramente, também incluirá registo de infra-vermelhos, de forma a poder servir as empresas que recorrem a inspecções de linhas pelo solo. Este sistema tem a particularidade de poder também ser usado para reconstrução tridimensional em aplicações de engenharia civil, ambiente e ordenamento do território, de arqueologia, museologia e para criação de conteúdos multimédia, quer em ambientes de exterior quer dentro de construções. Para tal basta substituir o software de inspecção de linhas pelo software de reconstrução 3-D.

### 1.3.2 Blue Edge – Engenharia de Sistemas

A Blue Edge nasceu no ambiente fértil em inovação do Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Robótica Oceânica, do Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) em Lisboa. Perante os frequentes pedidos de aplicação do know-how aí existente verificou-se que havia um mercado com necessidades sendo possível resolver problemas e oferecer novas soluções com vantagens tecnológicas a um custo competitivo.

A Blue Edge começou por oferecer serviços nas áreas da aquisição de dados e consultoria em engenharia. Esteve e está envolvida em projetos com o Centro de Energia Offshore (WavEC), tendo começado com um dos primeiros protótipos de grande dimensão para aproveitamento da energia das ondas – o “Archimedes Wave Swing” (AWS). Presentemente continua a trabalhar nesta área no âmbito do projeto KIC-Innoenergy “Offshore Test Station” (OTS), desenvolvendo um sistema robótico de acoplamento de conectores elétricos subaquáticos.

Desde cedo a Blue Edge estabeleceu uma cooperação com a Oceanscan (Aberdeen, Escócia) com o duplo objetivo de i) chegar ao mercado global através da rede da Oceanscan e ii) oferecer os serviços de aluguer e vendas da Oceanscan para Portugal e Espanha. A actividade comercial foi reforçada nos anos mais recentes destacando-se entre outras representadas:

- SeaBotix, USA – veículos robóticos submarinos tele-operados;

- Reson, DK – sonares avançados de alta resolução para mapeamento de fundos marinhos e estruturas submersas;
- Bartington, UK – magnetómetros e outros sensores avançados para medição de campos magnéticos.

Desde o início uma das principais apostas foram os serviços de levantamentos batimétricos. Com tecnologia própria e uma equipa experiente em operações de campo, a Blue Edge oferece dados de elevada qualidade apenas possíveis graças ao conhecimento profundo de todo o processo desde os sensores ao pós-processamento dos dados. As cooperações estabelecidas com especialistas nas áreas da topografia permitem oferecer serviços integrados de levantamentos topo-hidrográficos.

No presente a Blue Edge continua a trabalhar em diversos projetos com o objectivo de desenvolver soluções “cost-effective” de base tecnológica para necessidades reais, com especial enfoque no ambiente marinho.

Principais projetos realizados e em curso:

- [2003-2013] Levantamentos de imagem sonar 3D de alta resolução;
- [2003-2004] Projeto AWS – modelação do comportamento do dispositivo na sua instalação (processo de afundamento controlado);
- [2005] Sistema de interface para Sonar. Desenvolvimento de um protótipo para um sistema de interface de sonar para aplicações de defesa. O protótipo foi co-especificado pela OceanScan e incluiu pela primeira vez neste tipo de produtos um controlador com tecnologia bluetooth;
- [2006] Sistema de ajuda à detecção de fogos. Desenvolvimento e integração de hardware e software para um sistema de apoio à localização de alvos baseado em informação geográfica em tempo real com aplicação à detecção de fogos;
- [2007] Envolvimento no projeto Europeu GREX: Coordination and Control of Cooperating Heterogeneous Unmanned Systems in Uncertain Environments - Especificação e implementação de comunicações entre veículos autónomos marinhos para uso em missões cooperativas multi-veículo;
- [2008-2013] Inspeções com veículo tele-operado ROV (Remotely Operated Vehicle);
- [2009-2013] Projeto AIRTICI – Ferramentas Robóticas Avançadas para a Inspeção de Infraestruturas Críticas;
- [2012] Projeto “Offshore Test Station” (OTS) – sistema robótico de acoplamento de conectores elétricos subaquáticos;
- [2013] Inspeção robótica de emissários de grande dimensão (até 1200 m de comprimento) com tecnologia ROV, recorrendo a vídeo e sonar;
- [2013] Projeto “Symbio tracker”: localização acústica de cabos submarinos – dispositivos de grande autonomia alimentados por indução.

### 1.3.3 Reverse Engineering

A Reverse Engineering é uma empresa Portuguesa jovem que fornece soluções de digitalização e metrologia 3-D, controle de qualidade e soluções multimédia baseadas em tecnologia de visão por computador.

A empresa iniciou a sua actividade no ano 2000, tendo desenvolvido a sua própria tecnologia, um sistema de digitalização tridimensional baseado em visão por computador, como o resultado de pesquisas feitas por dois dos colaboradores da empresa no Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) no Instituto Superior Técnico (IST). O sistema foi então testado e desenvolvido em conjunto com algumas das mais importantes empresas portuguesas da indústria de moldes. O sistema dPlus é usado na digitalização e medição de coordenadas 3-D, para a modelação reversa de objectos, tendo em vista o desenvolvimento de produtos, análise de deformação experimental e controle de qualidade.

Recentemente, a empresa diversificou seu portfólio, que agora inclui sistemas de controle de qualidade em linhas de montagem para o controle dimensional, ferramentas para análise de deformações, serviços de digitalização e sistemas de fácil utilização para multimédia 3-D. A equipa multi-disciplinar da Reverse inclui doutorados e outros especialistas com know-how em áreas tão importantes como processamento de imagem e algoritmos, software, hardware e electro-óptica, bem como uma rede de consultores externos de diversas universidades nacionais e internacionais. Isso torna possível para a empresa desenhar e produzir soluções de grande valor acrescentado para os nossos clientes, sempre que surge a necessidade de uma visão baseada em metrologia ou sistema de controle de qualidade.

Principais projetos:

- Sistema de controle de qualidade para anéis de pistão (componente de um motor), instalado na linha de montagem, que analisa dois segmentos por segundo e detecta erros angulares no anel inferiores a 1 grau;
- Digitalizador de pés para o fabrico de sapatos ortopédicos personalizados (cliente empresarial Norueguês, que pretende instalar o sistema nos seus principais centros ortopédicos);
- Sistema de digitalização 3-D de solas de sapatos, tendo em vista o aumento da atual produtividade operacional (processo objetivo para a redução do tempo total de fabrico em 40%);
- Sistema de apoio para a cirurgia estética reconstrutiva (reconstrução de face) para identificar, durante a intervenção, quais são os desvios na metade da face que está sendo reconstruída para a metade de referência.



## Capítulo 2

# O Projeto

O projeto AIRTICI tem como objectivo desenvolver ferramentas robóticas avançadas e metodologias para a inspeção de infra-estruturas críticas (ICs) que permitam beneficiar os atuais programas de inspeção através da disponibilização de novos meios de diagnóstico e da redução de custos e riscos associados.

### 2.1 Motivações

A monitorização da integridade estrutural desempenha um papel fundamental na manutenção de grandes infra-estruturas críticas, tais como pontes, viadutos, centrais térmicas, linhas de transporte de energia e outras obras de engenharia. O custo destas estruturas, o seu comportamento esperado bem como as consequências económicas, sociais e ambientais de um comportamento anormal, justificam plenamente a existência de programas de inspeção periódicos e exaustivos. O processo natural de envelhecimento de uma estrutura bem como a exposição a ambientes hostis e a utilização intensiva tornam necessária a realização de trabalhos de manutenção e proteção durante o seu tempo de vida útil. Os programas de inspeção têm como objectivo fundamentar o processo de decisão relativamente ao momento ideal da intervenção e a extensão dos trabalhos de manutenção ou mesmo reparação a realizar.

A eficácia destes programas tem um enorme impacto económico, social e ambiental já que a avaliação atempada e criteriosa pode significar uma intervenção muito menos onerosa e no caso limite pode evitar cenários de catástrofe associados ao colapso da estrutura. Também na fase inicial de construção, a inspeção desempenha um papel essencial no acompanhamento da construção e na certificação de uma obra de engenharia. Os mesmos princípios gerais são aplicáveis à manutenção da rede eléctrica, no sentido em que esta requer uma constante e exaustiva atividade de monitorização de diferentes elementos, entre os quais se destacam as unidades de produção e as linhas de transporte de energia, nomeadamente no que respeita à detecção de obstáculos (por exemplo árvores) na vizinhança das mesmas. O processo de inspeção tem como base o diagnóstico do estado da estrutura, o qual deverá depender de um conjunto de parâmetros que caracterizem claramente a integridade da mesma. Atualmente, o trabalho de monitorização apoia-se essencialmente em inspeções visuais realizadas por técnicos especializados para identificação de anomalias. Para além de estarem limitados pelos meios humanos disponíveis, estes métodos produzem informação reduzida.

Por exemplo, os fenómenos de fissuração e corrosão em estruturas de betão armado só são visíveis a olho nu em estágios muito avançados, enquanto que na inspeção de linhas de transporte de energia, a simples avaliação visual é um método pouco eficaz para identificar vãos em que há obstáculos demasiado próximos da linha. Estas tarefas de inspeção têm também um elevado fator de risco associado devido às limitações de acessibilidade, que frequentemente

Tabela 2.1: Mapa de tarefas de acordo com a proposta inicial

Tarefa	Promotores
A. Projeto dos sistemas de controlo e navegação para o veículo aéreo	IST
B. Técnicas avançadas de controlo e navegação para o veículo aéreo	IST
C. Instrumentação da plataforma e integração sensorial	Hagen,IST,ISQ
D. Sistema visual de alta resolução para inspeção de estruturas	Hagen,IST,ISQ
E. Técnicas avançadas de inspeção de pontes e viadutos	ISQ,Brisa,LNEC
F. Técnicas avançadas de inspeção de linhas de transporte de energia	ISQ,Labellec
G. Técnicas avançadas de acompanhamento de obras de engenharia	Hagen,ISQ,LNEC
H. Testes de campo	Todos
I. Promoção	Todos

implicam a instalação de estruturas de inspeção dispendiosas ou a mobilização de meios pesados como veículos com braços articulados.

## 2.2 Objetivos

O desenvolvimento de metodologias avançadas de inspeção baseadas em ferramentas robóticas, nomeadamente veículos aéreos não tripulados (VANTs), terá um impacto significativo na eficácia de programas de inspeção de infra-estruturas críticas, trazendo claros benefícios em termos de redução de custos e riscos de acidente. Equipados com a última tecnologia em sistemas laser e de visão, dispositivos de detecção remota infravermelhos, plataformas inerciais e de posicionamento de alta precisão, estes veículos deverão oferecer as funcionalidades e autonomia necessárias para efetuar inspeções tridimensionais de elevada precisão, mesmo em zonas de difícil acesso, requerendo apenas a vigilância de um operador especializado. Através da integração dos diferentes sensores com o sistema de navegação inercial do veículo, pretende-se que sejam disponibilizados, em tempo real, conjuntos de dados com resolução espacial e temporal suficiente para sustentar diagnósticos fiáveis. A viabilidade da utilização de VANTs advém do facto dos cenários de operação corresponderem a áreas confinadas localizadas fora dos agregados populacionais e onde se pretende que o helicóptero autónomo opere no raio de ação e sob a vigilância de um piloto responsável por tomar o comando da aeronave quando tal se justifique.

Em síntese, esta abordagem ao problema de inspeção de infra-estruturas críticas pretende: i) aumentar a quantidade, qualidade e precisão dos dados disponíveis, automatizando a recolha, processamento e armazenamento dos mesmos; ii) otimizar a utilização de recursos humanos e minimizar os riscos para a segurança associados às atividades de inspeção; iii) facilitar a inspeção de zonas de acesso difícil por meios convencionais. Tal deverá traduzir-se no aumento da qualidade da inspeção e na redução dos riscos e custos operacionais.

## 2.3 Tarefas, Atividades e Cronograma

No âmbito deste projeto pretendeu-se desenvolver ferramentas robóticas aéreas para a inspeção de infra-estruturas críticas e demonstrar as suas capacidades em três cenários de operação realistas associados à inspeção de pontes e viadutos, rede eléctrica e acompanhamento de obras de engenharia. Para alcançar os objetivos propostos cumprindo metas temporais, foi definido um plano de trabalhos pormenorizado que contempla a divisão nas tarefas apresentadas na Tabela 2.1. As diferentes fases de desenvolvimento de cada uma destas tarefas são mapeadas nas atividades de ID&T, que incluem os estudos preliminares, especificações, pré-desenvolvimento,



Tabela 2.2: Mapa de relatórios técnicos entregues.

Entrega	Título	Período de reporte
06/2011	Relatório Técnico Intercalar	01/04/2009 – 31/03/2011
02/2012	Relatório Técnico (Extensão)	01/04/2011 – 31/12/2011
07/2013	Relatório Técnico Auxiliar	01/04/2011 – 31/03/2013
07/2013	Relatório Técnico Final	01/04/2009 – 31/03/2013

desenvolvimento ou a prototipagem.

Na Figura 2.1 é apresentado o cronograma com o planeamento inicial constante na proposta do projeto, bem como a execução aquando do fim do período de reporte do relatório técnico intercalar, a 31 de Março de 2011. É também possível ver a organização das tarefas por tipo de atividade, assim como as dependências entre algumas tarefas. Por outro lado, o cronograma apresentado na Figura 2.2 mostra um novo planeamento feito aquando da extensão do projeto por mais um ano (até 31 de Março de 2013), bem como o nível de execução em cada actividade e tarefa alcançado no final do projeto.

Como foi reportado do Relatório Técnico Intercalar (com o período de reporte de 01/04/2009 a 31/03/2011), houve inicialmente um atraso de seis meses relativamente ao planeamento inicial. Por outro lado, foi feito um outro relatório contendo um pedido de prorrogação do prazo de finalização do projeto, submetido em Fevereiro de 2012. As principais razões que implicaram a alteração do plano de trabalhos inicialmente proposto prendem-se com a complexidade e diversidade das soluções técnicas a desenvolver e com os constrangimentos de execução orçamental da Função Pública que afetaram o IST e que se agudizaram nos últimos anos, inviabilizando a aquisição atempada de serviços e do equipamento necessário. Estes constrangimentos justificam também a execução de 95% nas atividades de Prototipagem e de Testes e Ensaios, que ficam ligeiramente aquém do que o consórcio ambicionava.

Para além do presente Relatório Técnico Final, o consórcio decidiu entregar no final do projeto um Relatório Técnico Auxiliar com o reporte detalhado das atividades desenvolvidas no segundo período do projeto, de 01/04/2011 a 31/03/2013. Neste relatório é também relatada a opção tomada pelo estudo conjunto das Tarefas E e G, uma vez que se concluiu que a inspeção de pontes e viadutos em operação não difere fundamentalmente da inspeção de uma obra de engenharia civil, particularmente, as obras de construção de pontes e viadutos. Assim, o desenvolvimento de novas técnicas de inspeção e monitorização de pontes e viadutos foi reforçada, enquanto que foi dada menos relevância ao desenvolvimento de técnicas específicas para o acompanhamento de obras genéricas, tal como se pode ver na Figura 2.2 a execução de 50% da atividade de pré-desenvolvimento da Tarefa G e o prolongamento da Tarefa E. De forma a consolidar uma visão geral dos documentos de reporte técnico entregues neste projeto, a Tabela 2.2 apresenta-os de uma forma estruturada.

## 2.4 Milestones e Resultados Atingidos

Relativamente às milestones previstas para as Tarefas A e B, que são apresentadas resumidamente na Tabela 2.3, prevendo a definição e desenvolvimento de técnicas de controlo e navegação para veículos autónomos, considera-se que foram alcançadas todas as milestones previstas inicialmente. No entanto, existe na proposta inicial a referência ao desenvolvimento de técnicas de controlo coordenado de múltiplos veículos. Apesar de o IST/ISR ter trabalho relevante nesta área, considerou-se que seria mais vantajoso para as especificidades do projeto abordar outro problema igualmente complexo, a localização e mapeamento simultâneos, tendo-se conseguido o desenvolvimento de um novo algoritmo que oferece pela primeira vez garantias necessárias e

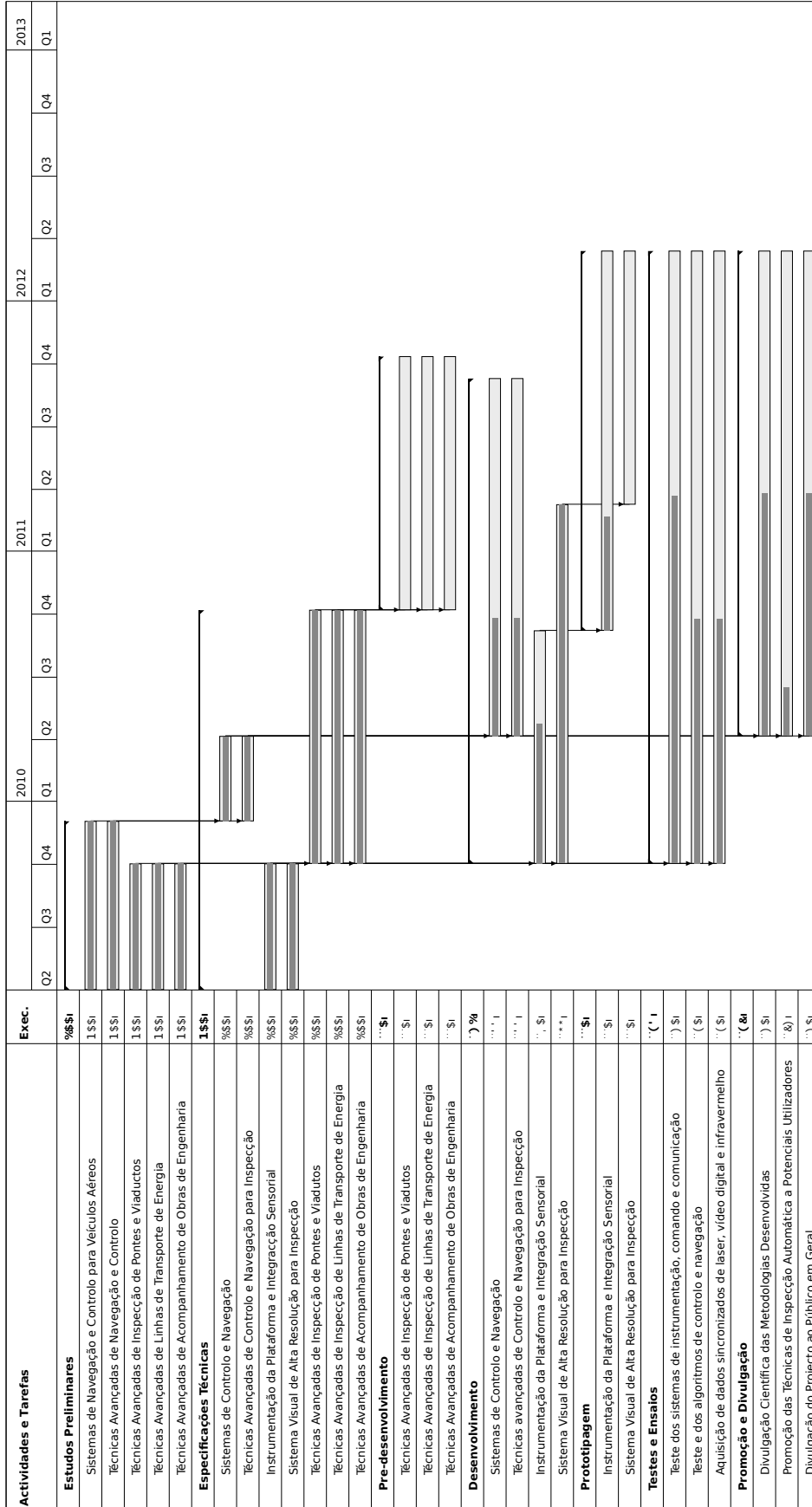


Figura 2.1: Cronograma inicial e execução aquando do relatório intermédio.

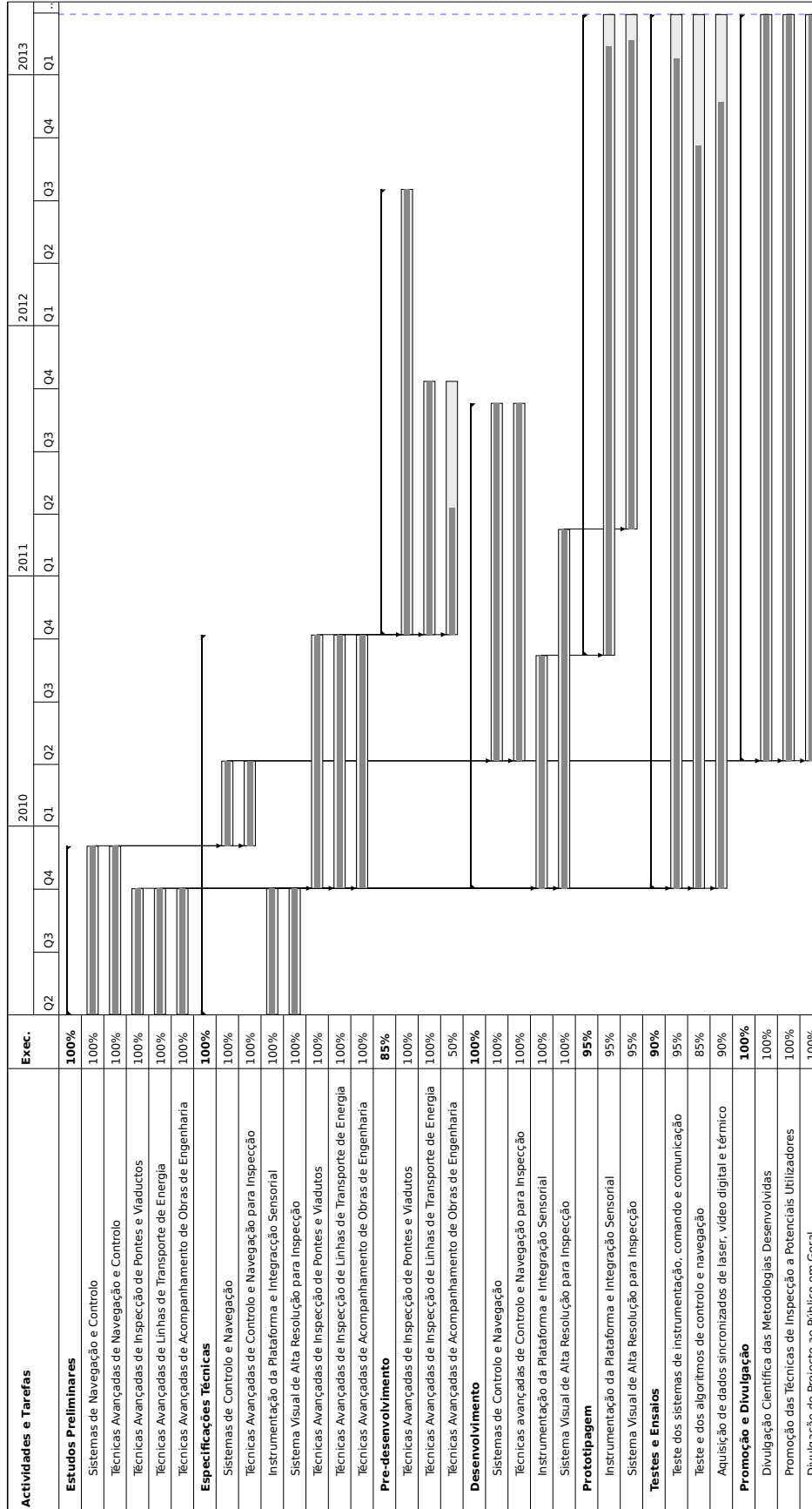


Figura 2.2: Cronograma adaptado e execução no final do projeto.

Tabela 2.3: Resumo de milestones das Tarefas A e B.

Actividade	Execução	Milestones
Estudos	100%	Definição de um conjunto de técnicas de navegação e controlo
Especificações	100%	Definição de performance mínimas e desejadas para os sistemas de controlo e navegação; Definição dos sensores auxiliares.
Desenvolvimento	100%	Localização com GPS-RTK + IMU; Localização relativa a infraestruturas; identificação do modelo dos veículos; voo autónomo básico; seguimento de trajetórias; Navegação e controlo no espaço dos sensores; controlo coordenado de múltiplos helicópteros.

Tabela 2.4: Resumo de milestones das Tarefas C e D.

Actividade	Execução	Milestones
Especificações	100%	Especificações de hardware para os sistemas de aviónica.
Desenvolvimento	100%	Arquitetura distribuída e controlo de missão; módulo do veículo (para aquisição, processamento e transmissão) e módulo de terra.
Prototipagem	95%	Instrumentação preparada para voos em malha aberta e autónomos; Teste de laser e câmara em unidade de pan & tilt; georeferenciação de imagens; reconstrução laser; mosaico de imagens; detecção automática de pontos de interesse

suficientes de estabilidade global.

Na Tabela 2.4 são resumidas as principais milestones das Tarefas C e D, que preveem o a instrumentação e integração sensorial das plataformas robóticas. Considera-se que a grande maioria das milestones previstas para estas estratégias foram conseguidas e demonstradas em testes de campo. No entanto, e devido à elevada complexidade dos problemas de navegação, controlo e da própria inspeção, bem como dos constrangimentos na execução referidos anteriormente, existiram alguns sensores e técnicas de inspeção ativas que não foram completamente testadas e demonstradas. A título de exemplo, optou-se por relegar a inspeção utilizando câmaras termográficas a bordo dos veículos para segundo plano a favor da inspeção utilizando câmaras digitais de alta definição, devido ao peso elevado de ambos os sistemas que impossibilita a aquisição conjunta. Ainda assim, foram efetuadas inspeções exaustivas utilizando termografia e o sistema de aquisição destas imagens a bordo dos veículos foi também concluído com sucesso, como se relata no Relatório Técnico Auxiliar, na Secção 3.1.

No que diz respeito às Tarefas E, F, e G, que definem os trabalhos previstos em termos do desenvolvimento de técnicas avançadas de inspeção de pontes e viadutos, linhas de transporte de energia e obras de engenharia, respetivamente, é apresentado um resumo das milestones para cada uma destas tarefas na Tabela 2.5. Apesar de ter havido uma reformulação destas tarefas, dando primazia à Tarefa E em detrimento da Tarefa G, o consorcio considera que o trabalho desenvolvido é muito relevante e que as principais milestones foram atingidas.

Um resumo das principais milestones da atividade Testes e Ensaios, também designada por Tarefa H, é apresentado na Tabela 2.6. Como relatado no Relatório Técnico Auxiliar, foram feitas demonstração da inspeção de infraestruturas utilizando as ferramentas robóticas desenvolvidas no projeto nos três grandes cenários inicialmente propostos: inspeção de pontes e viadutos,

Tabela 2.5: Resumo de milestones das Tarefas E, F e G.

Actividade	Execução	Milestones
Estudos	100%	Identificação dos principais problemas, riscos, custos e métodos de inspeção tradicionais.
Especificações	100%	Especificações de técnicas avançadas.
Pré-Desenvolv.	100%	Desenvolvimento de técnicas avançadas de inspeção e monitorização de pontes. e viadutos.

Tabela 2.6: Resumo das milestones da actividade de Testes e Ensaios.

Tarefa	Execução	Milestones
A,B	85%	Teste e dos algoritmos de controlo e navegação dos veículos autónomos.
C	95%	Teste dos sistemas de instrumentação, comando e comunicação da plataforma..
D	90%	Aquisição de dados sincronizados de laser, vídeo digital e vídeo infravermelho.
E	100%	Teste e avaliação do desempenho do helicóptero autónomo na inspeção de pontes e viadutos.
F	100%	Teste e avaliação do desempenho do helicóptero autónomo na inspeção de infra-estruturas de energia.
G	100%	Teste e avaliação do desempenho do helicóptero autónomo no acompanhamento de obras de engenharia civil.
–	100%	Teste do final do helicóptero num cenário de demonstração para divulgação e promoção dos resultados do projeto.

inspeção de linhas de transporte de energia, e acompanhamento de obras de engenharia civil. No caso da inspeção de linhas de transporte de energia elétrica, foi ainda feita uma demonstração para uma audiência mais ampla, resultando na produção de um vídeo ilustrativo dos principais resultados do projeto. Para além das demonstrações, foram feitos constantes e inúmeros testes de campo e de laboratório tanto com os veículos como com os sensores e instrumentos utilizados e desenvolvidos. Assim, o consórcio considera que, também nesta atividade, a maioria das milestones foram atingidas, notando que apenas alguns dos testes que tinham sido inicialmente previstos foram adiados devido aos constrangimentos já referidos.

Por último, são apresentadas na Tabela 2.7 as principais milestones da atividade Promoção e Divulgação, também designada por Tarefa I. O elevado nível de publicações científicas conseguido, o grande número de demonstrações da inspeção de infraestruturas utilizando as plataformas robóticas desenvolvidas, bem como as diversas participações em exposições e conferências, relatadas com detalhe no Relatório Técnico Auxiliar, permitem afirmar que estas milestones foram completamente atingidas.

Tabela 2.7: Resumo das milestones da actividade de Promoção e Divulgação.

Execução	Milestones
100%	Divulgação científica das metodologias desenvolvidas.
100%	Promoção das técnicas de inspeção automática a potenciais utilizadores.
100%	Divulgação do projeto ao público em geral.



## Capítulo 3

# Trabalhos Desenvolvidos

O consórcio decidiu a criação de três grupos de trabalho para se debruçarem sobre as tarefas e atividades da proposta inicial, cada um deles centrado numa das grandes áreas de incidência do projeto:

**Grupo de Trabalho 1** – Inspeção de infra-estruturas de engenharia civil. Orientação científica: LNEC. Principais intervenientes: LNEC, ISQ, Reverse, Brisa, Hagen e Blue Edge.

**Grupo de Trabalho 2** – Inspeção de infra-estruturas de produção/distribuição de energia eléctrica. Orientação científica: LNEC e IST. Principais intervenientes: EDP Labeltec, Albatroz Engineering, ISQ, Reverse, LNEC e IST.

**Grupo de Trabalho 3** – Construção de plataformas autónomas de inspeção. Orientação científica: IST/ISR Principal interveniente: IST/ISR.

Este capítulo resume os trabalhos desenvolvidos ao longo do projeto, amplamente detalhados no Relatório Técnico Intercalar e no Relatório Técnico Auxiliar, divididos de acordo com estes grupos de trabalho.

### 3.1 Desenvolvimento de Veículos Aéreos Autónomos

Tendo em conta as tarefas apresentada no Capítulo 2, a equipa do IST/ISR (Grupo de Trabalho 3) concentrou a sua atividade nas componentes teórica e prática do desenvolvimento de veículos aéreos autónomos, tendo efetuado diversas demonstrações de inspeção de estruturas críticas utilizando as plataformas desenvolvidas.

No âmbito da componente mais teórica que envolve as Tarefas A e B, foram desenvolvidas metodologias para abordar um vasto leque de problemas de controlo de movimento para helicópteros tradicionais e quadrirotores não-tripulados, que vão desde a estabilização em voo estacionário até ao seguimento de trajetórias não lineares (como catenárias), passando pela aterragem tendo em conta questões como a saturação dos atuadores, rejeição de perturbações ou desvio em relação a obstáculos no terreno. Os problemas de controlo abordados incluem:

- Estabilização em atitude e velocidade de helicópteros utilizando controlo adaptativo baseado na norma L1;
- Descolagem e aterragem robustas em relação a incertezas, tanto no ambiente como no modelo dinâmico do veículo;

- Descolagem e aterragem automática de helicópteros não tripulados, tendo em conta as interações com o solo e obstáculos;
- Seguimento de trajetórias e caminhos para helicópteros, tendo em conta perturbações de força, garantindo limites no curso de atuação, e permitindo a aplicação de forças de propulsão nulas;
- Seguimento de caminhos que incorpora naturalmente as características multi-ritmo dos diferentes sensores instalados a bordo;
- Seguimento de caminhos não lineares, tais como as catenárias descritas pelas linhas de transporte de energia eléctrica, utilizando medidas baseadas em imagens (na ausência de GPS);
- Controlo de veículos com desvio de obstáculos desconhecidos, utilizando técnicas de controlo preditivo não-linear baseado em modelos;
- Técnicas de controlo híbridas para transição entre modos de voo;
- Estimação e controlo da velocidade e posição de veículos aéreos utilizando sensores de movimento ótico;
- Detecção de marcas visuais, estimação de posição e orientação do veículo, e ainda o controlo do veículo com base nesta informação;
- Estabilização de um corpo rígido completamente atuado, usando um controlador no grupo euclidiano especial,  $SE(3)$ , baseado em landmarks para atuação em força e torque que garante a estabilidade assintótica quase global do alvo bem como a invariância positiva de um subconjunto de  $SE(3)$ ;
- Estabilização baseada em visão de unidade de pan e tilt para manter os pontos de interesse no campo de visão da câmara; etc.

Foi também realizado trabalho na investigação e projeto de sistemas de navegação com aplicação a veículos aéreos autónomos, os quais necessitam que estimativas precisas das suas posições e velocidades linear e angular sejam fornecidas aos respectivos sistemas de condução e controlo, em tempo real e a ritmos bastante elevados. Este trabalho teve como principal resultado o desenvolvimento de técnicas de filtragem para compensação dinâmica das características não ideais dos sensores (acelerómetros e giroscópios), as quais de outra forma poderiam conduzir a erros não limitados nas estimativas do sistema de navegação inercial. Por outro lado, visto que as tarefas de inspeção de estruturas envolvem uma estreita interação com o ambiente e exigem um comportamento reativo e adaptável, foram exploradas abordagens diretamente baseadas em informação sensorial local, como por exemplo a localização e mapeamento simultâneos no espaço do sensor, com garantias de estabilidade, ou ainda a navegação e controlo com base na informação visual de *landmarks* fornecida por uma câmara instalada no veículo. Desta forma, os problemas de estimação, navegação, localização e calibração de sensores abordados incluem:

- Técnicas de filtragem para compensação dinâmica das características não ideais dos sensores, as quais de outra forma poderiam conduzir a erros não limitados nas estimativas;
- Observador não-lineares em  $SE(3)$  de atitude e posição baseados em medidas de velocidade e landmarks, com estabilidade assintótica quase global;
- Observador não-linear em  $SO(3)$  de atitude que combina medidas inerciais de velocidade angular com um sistema de visão ativo, com estabilidade assintótica quase global;



- Observador global para a estimação de atitude e erro sistemático de giroscópios baseado em observadores de conjuntos;
- Nova estratégia de mapeamento e localização simultâneos, com base em sensores laser de varrimento, fornecendo condições necessárias e suficientes de observabilidade e estabilidade global;
- Calibração automática da matriz de instalação de sensores laser de varrimento utilizando métodos de optimização em variedades;
- Calibração de acelerómetros com estimação do vetor do campo gravítico e de desvios de medida variantes no tempo; etc.

Do ponto de vista mais prático, de acordo com as atividades especificadas nas Tarefas C e D, foram instrumentados diversos veículos, foi feita a integração sensorial de forma a garantir a aquisição de dados sincronizados e a fornecer a informação necessária aos controladores, e foi ainda desenvolvido o sistema visual de alta resolução. Um dos elementos essenciais da tarefa de instrumentação consistiu no desenvolvimento de um sistema de *software* para operação autónoma dos veículos e de consolas de terra para comando e monitorização remotos. O trabalho realizado permitiu desenvolver um sistema de *software* que confere aos veículos as características pretendidas no âmbito deste projeto, em particular o tratamento com baixa latência dos diversos sensores, atuadores e interfaces e a portabilidade do sistema de software para diferentes plataformas de hardware. Para além dos sistemas de *software*, o desenvolvimento e prototipagem dos veículos para a realização de tarefas de inspeção incluíram os seguintes procedimentos:

- Especificação, desenvolvimento e instalação da instrumentação/aviónica;
- Especificação e prototipagem da caixa de aviónica e trem de aterragem;
- Testes preliminares de voo para determinação da carga útil, alcance de rádio e caracterização de soluções de isolamento de vibrações;
- Calibração e avaliação de desempenho de sensores;
- Aquisição, processamento e georreferenciação de dados laser;
- Identificação e modelação da dinâmica do veículo e do sistema de atuação;
- Desenvolvimento de ambientes de simulação para testes de *software-in-the-loop*;
- Implementação e teste de filtros de atitude e controladores de atitude e altitude;
- Integração de diversos sistemas laser de varrimento em simultâneo;
- Utilização de múltiplos recetores GPS no mesmo veículo e o uso de uma estação de base em terra tendo em vista o melhoramento do posicionamento georeferenciado dos veículos;
- Desenvolvimento de um sistema de aquisição, comando e processamento de imagens de uma câmara termográfica;
- Desenvolvimento de soluções integradas para sensores de movimento ótico; etc.

Importa referir que o foram desenvolvidos ainda algoritmos de deteção automática de fissuras para serem utilizados no sistema visual de alta resolução, no âmbito do Grupo de Trabalho 1, como se menciona na secção seguinte.

## 3.2 Inspeção e Monitorização de Pontes e Viadutos

O Grupo de Trabalho 1 debruçou-se nos objetivos propostos nas Tarefas E e G. Depois de alguns estudos preliminares verificou-se que, de facto, existe alguma sobreposição entre estas duas tarefas, uma vez que as diferenças entre a inspeção de pontes e viadutos em operação não difere fundamentalmente da inspeção de uma obra de engenharia civil, particularmente, as obras de construção de pontes e viadutos. Por outro lado, verificou-se que aquando da execução de uma obra existe uma multitude de ferramentas tradicionais, como gruas ou andaimes, que permitem a inspeção da obra sem demasiados custos acrescidos ou perigos adicionais. Ainda assim, considera-se que existem momentos durante o acompanhamento da obra em que se considera de extrema utilidade o uso das técnicas e ferramentas robóticas propostas neste projeto. O trabalho desenvolvido no âmbito destas duas tarefas descreve as principais anomalias destas estruturas, as práticas de inspeção utilizadas tradicionalmente, ensaios complementares em estruturas de betão e de metal, e são também propostas técnicas avançadas de inspeção destas estruturas, tendo em vista a sua utilização em veículos aéreos não tripulados (VANTs). Em particular:

- Foram obtidas imagens de anomalias conhecidas, concentrando os esforços nas fissuras por serem das anomalias de mais difícil deteção utilizando inspeção visual;
- Foram estudados e integrados alguns algoritmos já existentes com aplicação à deteção automática de fissuras;
- Foram investigados e integrados algoritmos inovadores de identificação de *seed points* para resolver os problemas de deteção em imagens de estruturas com artefactos (junção entre lages, grafitis, etc);
- Foram feitos testes exaustivos do uso de imagens termográficas na identificação de anomalias não identificáveis por inspeção visual destas estruturas;
- Desenvolveu-se num conjunto de procedimentos a ter em conta para o uso de termografia na identificação de anomalias em estruturas de betão; etc.

## 3.3 Inspeção de Infraestruturas de Transporte de Energia

Relativamente ao Grupo de Trabalho 2, que se debruçou sobre as atividades da Tarefa F, foram obtidos resultados utilizando veículos tripulados e gruas, que representam as técnicas tradicionais, e utilizando os veículos não tripulados desenvolvidos no âmbito deste projeto, sendo também desenvolvidos os envelopes de voo em segurança tendo em conta a distância entre o veículo e a estrutura. A medição de distâncias no âmbito de uma inspeção com um VANT perto de infra-estruturas tem três objetivos:

1. Medir as distâncias do veículo ao cenário envolvente para estimação do volume de espaço livre e manutenção de um “volume vital” de proteção do VANT (por exemplo, assegurar comportamentos evasivos do VANT que o constringam a permanecer a uma distância mínima de quaisquer objetos circundantes);
2. Identificar propriedades geométricas nos objetos em torno do VANT para conseguir guiar o VANT no processo de inspeção (por exemplo, seguir uma chaminé a uma distância constante de 10m);

3. Medir as distâncias entre o VANT e os objetos no espaço envolvente para criar um modelo de distâncias entre objetos de forma a detectar não conformidades geométricas (por exemplo, a medição da distância de uma linha eléctrica a uma casa vizinha com o objectivo de proteger pessoas e bens).

### 3.4 Testes e Ensaios

Durante o período deste projeto foram feitas cerca de 74 saídas para testes de campo com os helicópteros de inspeção, muitas delas envolvendo vários ensaios de voo e aquisição de dados.

Parte dos objetivos destes ensaios foram o aperfeiçoamento da instrumentação a bordo dos veículos, bem como a adaptação dos instrumentos de inspeção às necessidades evidenciadas pelos parceiros do consórcio que detêm ou exploram as infraestruturas alvo de inspeção regular. Os principais resultados comprovados ou atingidos através destes testes, no âmbito do Grupo de Trabalho 3 foram:

- a resolução dos problemas de vibração, utilizando uma plataforma de isolamento de vibração desenhada no âmbito deste projeto;
- o teste e aperfeiçoamento de voo em modo estabilizado e autónomo;
- a aquisição de dados laser com múltiplos sensores para reconstrução de infraestruturas e localização do veículo;
- a aquisição de imagens de alta resolução durante a inspeção de linhas de transporte de energia eléctrica, viadutos e obras de engenharia civil; e
- a aquisição de imagens de alta qualidade em voo e com a interação de um operador na consola de terra, focando detalhes de inspeção a pedido de profissionais ligados à inspeção tradicional.

Algumas destas saídas para testes de campo tiveram o objectivo de demonstrar as capacidades de inspeção dos protótipos desenvolvidos perante os parceiros do consórcio e de potenciais clientes das tecnologias desenvolvidas no âmbito do projeto. Outros ensaios foram ainda levados a cabo sem a presença de veículos não tripulados, com o objectivo de testar técnicas ou instrumentos a integrar no projeto. Assim, os testes e ensaios efetuados no âmbito dos Grupos de Trabalho 1 e 2 incluem:

- Teste de medição de distâncias utilizando sensores de varrimento laser acoplados a uma grua móvel, comparando as reconstruções tridimensionais possíveis de obter utilizando apenas GPS ou utilizando GPS e sensores inerciais.
- Teste a bordo de helicópteros tripulados para a aquisição de imagens de alta resolução e de imagens termográficas dos apoios de linhas de alta tensão;
- Três testes de inspeção com helicóptero não tripulado a uma linha de média tensão, com obtenção de dados laser, vídeo, e fotografia de alta resolução;
- Teste de inspeção com helicóptero não tripulado a uma linha de alta tensão, com obtenção de dados laser frontal e vertical, vídeo, e fotografia de alta resolução;
- Teste de inspeção com helicóptero não tripulado a um viaduto em operação, com obtenção de dados laser frontal e vertical, bem como fotografia de alta resolução;

- Testes do uso de câmaras termográficas para a deteção de anomalias externas e internas de estruturas de betão, dificilmente detetáveis no espetro do visível;
- Teste de inspeção com helicóptero não tripulado a um viaduto em construção, com obtenção de dados laser frontal e vertical, bem como fotografia de alta resolução; etc.

Como é mencionado no Relatório Técnico Auxiliar, não houve disponibilidade para estender as demonstrações do projeto junto de estruturas de produção de energia devido ao maior grau de risco envolvido e ao facto de ter sido necessário focar também os esforços nas Tarefas E e G.

## Capítulo 4

# Actividades e Estratégia de Valorização

A valorização dos resultados deste projecto assenta nas seguintes actividades de promoção: apresentação dos resultados obtidos nos fóruns científicos mais prestigiados internacionalmente (conferências e revistas da especialidade); organização de sessões especiais em conferências sobre inspecção automática de infra-estruturas; fortalecimento da colaboração com grupos de investigação de renome internacional na área dos veículos aéreos autónomos. Considera-se que os desenvolvimentos resultantes produziram avanços claros ao nível das ferramentas robóticas para a inspecção automática de infra-estruturas críticas, tal como mostram o número de publicações conseguido e a sua qualidade (avaliada pela publicação em conferências e revistas de renome), bem como pelas demonstrações de inspecção utilizando estas ferramentas levadas a cabo junto das empresas do consórcio.

### 4.1 Actividades de Valorização

O consórcio deste projecto envolveu-se em múltiplas acções de divulgação, promoção e valorização do projecto, nomeadamente,

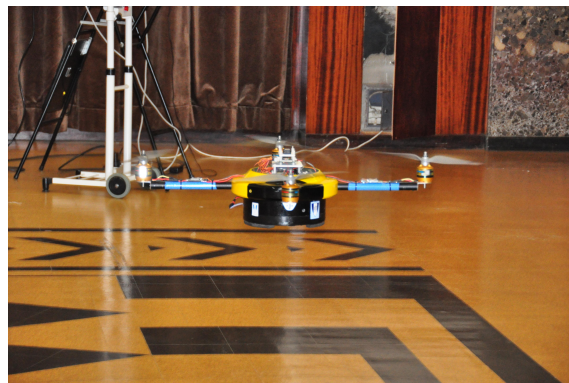
1. apresentação do projecto e demonstração de voo semi-autónomo aquando da assinatura de um protocolo entre o Ministério da Administração Interna (MAI), o Instituto superior Técnico (IST) e a Associação Industrial Portuguesa (AIP);
2. participação na exposição Portugal Tecnológico 2010, que decorreu no espaço da Feira Internacional de Lisboa (FIL);
3. divulgação do projecto nas XI Jornadas da Engenharia Electrotécnica e de Computadores (JEEC) do Instituto Superior Técnico (IST);
4. participação numa reportagem da TVNET sobre veículos aéreos autónomos para inspecção de infraestruturas, na qual foi dado grande enfoque ao projecto AIRTICI;
5. participação e demonstração de voo semi-autónomo no festival nacional de robótica, Robótica 2011;
6. realização de uma palestra na Universidade de Macau onde o projecto foi apresentado em detalhe;
7. participação na European Robotics Week que decorreu no Pavilhão do Conhecimento em Dezembro de 2011;



(a) Apresentação do projeto.



(b) Assistência durante a demonstração de voo.



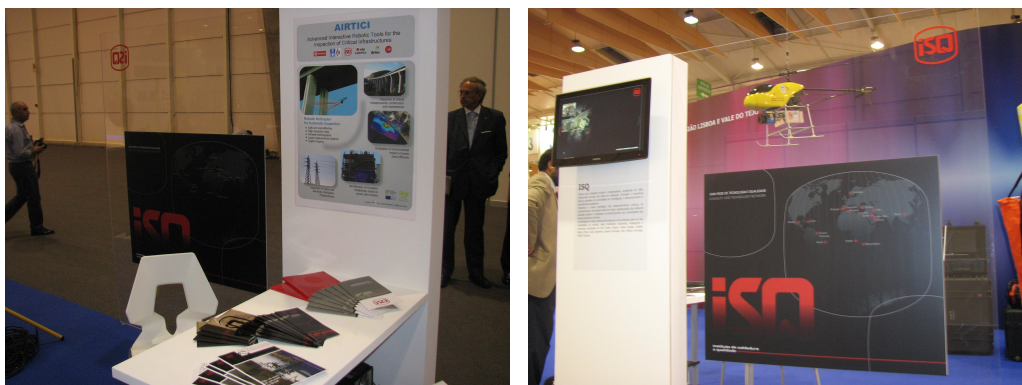
(c) Demonstração de voo.

Figura 4.1: Apresentação do projecto e demonstração de voo aquando da assinatura de um protocolo entre MAI, IST e AIP.

8. participação na Sessão Anual COMPETE realizada no Edifício da Alfândega do Porto, no dia 20 de Dezembro de 2011;
9. participação na American Control Conference 2012, para a apresentação de dois artigos científicos com resultados decorrentes do projecto.

Aquando da assinatura de um protocolo de cooperação no âmbito das tecnologias aplicadas à segurança interna, entre o Ministério da Administração Interna, o Instituto Superior Técnico e o presidente da Associação Industrial Portuguesa, no dia 7 de Abril de 2010, o Prof. Carlos Silvestre foi convidado a falar sobre o projecto AIRTICI e a fazer uma demonstração de voo semi-autónomo com um dos veículos associados ao projecto.

O consórcio participou na exposição Portugal Tecnológico 2010, que decorreu na FIL de 22 a 26 de Setembro de 2010, através de um espaço dedicado ao parceiro ISQ, no recinto do Programa Operacional Regional de Lisboa (POR-Lisboa) do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN). Neste espaço os visitantes puderam observar o protótipo do helicóptero autónomo não tripulado a ser desenvolvido no âmbito do projecto, bem como questionar os expositores acerca dos detalhes técnicos e científicos do veículo, e de todas as dimensões associadas à sua aplicação no âmbito do projecto. Considera-se que esta participação foi um sucesso, tendo em consideração que este é um espaço privilegiado para o contacto com potenciais utilizadores dos resultados deste projecto, onde os visitantes mostraram grande interesse pelo projecto e pelo protótipo. Foram ainda concedidas entrevistas para o jornal diário Correio da Manhã de 22 de



(a) Espaço dedicado ao ISQ.

(b) Protótipo do Helicóptero.

Figura 4.2: Participação na exposição Portugal Tecnológico 2010.



(a) Protótipo do Helicóptero.

(b) Apresentação do projeto.

Figura 4.3: Divulgação nas XI Jornadas da Engenharia Electrotécnica e de Computadores.

Setembro e para a televisão Canal UP (Canal das Universidades e Politécnicos), disponível em: [http://www.canalup.tv/?menu=vp&id\\_video=2389#default](http://www.canalup.tv/?menu=vp&id_video=2389#default)

Este projecto foi também divulgado nas XI Jornadas da Engenharia Electrotécnica e de Computadores (JEEC) do IST, que decorreram de 14 a 16 de Março de 2011, através da exposição do protótipo de helicóptero autónomo não tripulado a ser desenvolvido no âmbito do projecto e de uma palestra dada pelo Prof. Carlos Silvestre com o título "Veículos Robóticos Aéreos para a Inspeção de Infra-estruturas Críticas - O Projecto AIRTICI". A palestra deu especial atenção ao projecto AIRTICI, com enfoque nos aspectos técnicos que são necessários para tornar autónomos os veículos aéreos em questão, bem como as aplicações desta tecnologia à inspeção de infraestruturas de engenharia civil, de transporte e produção de energia e da monitorização de obras. As fotos e detalhes da organização podem ser consultadas em: <http://www.facebook.com/JEECIST?sk=photos>

A televisão portuguesa TVNET fez também uma reportagem acerca da utilização de veículos aéreos não tripulados para a inspeção de infraestruturas de difícil acesso, onde o Prof. Carlos Silvestre explica os grandes objectivos do projecto AIRTICI. O vídeo foi divulgado a 23 de Março de 2011 e está disponível em: [http://tvnet.sapo.pt/noticias/video\\_detalhes.php?id=66168](http://tvnet.sapo.pt/noticias/video_detalhes.php?id=66168)

O ISR/IST foi convidado a fazer uma demonstração de um dos seus protótipos de veículos aéreos em voo semi-autónomo, durante o festival nacional de robótica, Robótica 2011, que

decorreu no IST de 7 a 10 de Abril. Para esta demonstração foi utilizado o quadricóptero que está a ser desenvolvido pelo ISR no âmbito do projecto AIRTICI, tendo o veículo executado dois voos em modo semi-autónomo com visionamento em tempo real de toda a telemetria e de imagens vídeo na consola de controlo junto da audiência, como se mostra na Figura 4.4. Foi também dada uma explicação dos detalhes técnicos do veículo, das aplicações previstas em termos de inspecção de infraestruturas e ainda uma explicação global do projecto. O Prof. Carlos Silvestre foi ainda convidado a dar uma palestra na Universidade de Macau sobre as suas actividades de investigação e projectos em curso, com particular incidência no projecto AIRTICI.

O ISR/IST participou ainda na Exposição realizada no Pavilhão do Conhecimento, nos dias 3 e 4 de Dezembro de 2011, no âmbito da "European Robotics Week". Neste espaço, os visitantes puderam observar o protótipo do helicóptero, ver Figura 4.5, que foi instrumentado no âmbito do projecto para inspecção de infraestruturas críticas, obter esclarecimentos adicionais junto dos colaboradores do projecto presentes na exposição e visionar um vídeo de divulgação do projecto com imagens das inspecções realizadas junto de linhas de média tensão (<http://users.isr.ist.utl.pt/~rmac/Airtici/Airtici.htm#video>).

O consórcio foi também convidado para a Sessão Anual COMPETE — Competitividade e Internacionalização - Pólos de Competitividade e Clusters", realizada no Edifício da Alfândega do Porto, no dia 20 de Dezembro de 2011. O consórcio participou na exposição associada a este evento, através de um espaço dedicado ao parceiro ISQ, no Pólo de Competitividade e Tecnologia da Energia - ENERGYIN. Tal como no evento anterior, o protótipo do helicóptero, um poster e um vídeo estiveram em exposição e o contacto directo com os visitantes permitiu uma divulgação e promoção mais efectivas do projecto, ver Figura 4.6.

## 4.2 Estratégia de Valorização

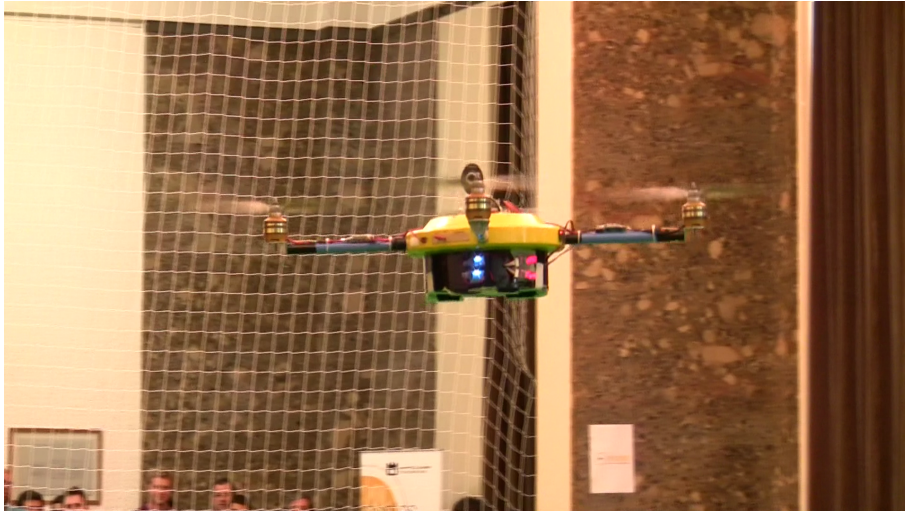
Tendo em conta que os objetivos e a própria natureza deste projeto de investigação e desenvolvimento não assumem que os resultados do projeto são diretamente transformáveis em produtos ou serviços, a estratégia de valorização do projeto inclui

- Divulgação dos resultados obtidos;
- Consolidação e aprofundamento de conhecimentos técnicos;
- Conceção e execução de novos projetos mais direcionados para o desenvolvimento de produtos e serviços resultantes da experiência obtida no projeto.

Em conjunto com as ações de promoção apresentadas anteriormente, os ensaios realizados junto das estruturas contaram com a presença de audiências alargadas não só dos parceiros de projeto, mas também de outras empresas. Alguns destes ensaios deram origem a um vídeo promocional para a intranet da EDP e a interação com os participantes permitiu direcionar os esforços de desenvolvimento para ir ao encontro das necessidades de inspeção expressas e também verificar que as fotografias de inspeção obtidas apresentam uma qualidade mais do que adequada para o objectivo a que se destinam.

No âmbito da divulgação científica, foi promovida a apresentação de resultados em encontros científicos internacionais e a publicação em revistas internacionais da especialidade. Tal como detalhado no Relatório Técnico Intercalar e no Relatório Técnico Auxiliar, foi conseguido um número apreciável de publicações associadas ao projeto, consolidadas no capítulo das publicações deste relatório e também disponíveis em <http://users.isr.ist.utl.pt/~rmac/Airtici/Airtici.htm#pubs>. Em particular, foram publicados 15 artigos em conferências internacionais, 14 artigos em revistas internacionais e ainda 2 teses de mestrado. A apresentação destes resultados permite estreitar a colaboração com várias universidades internacionais de





(a) Quadrirotor em voo

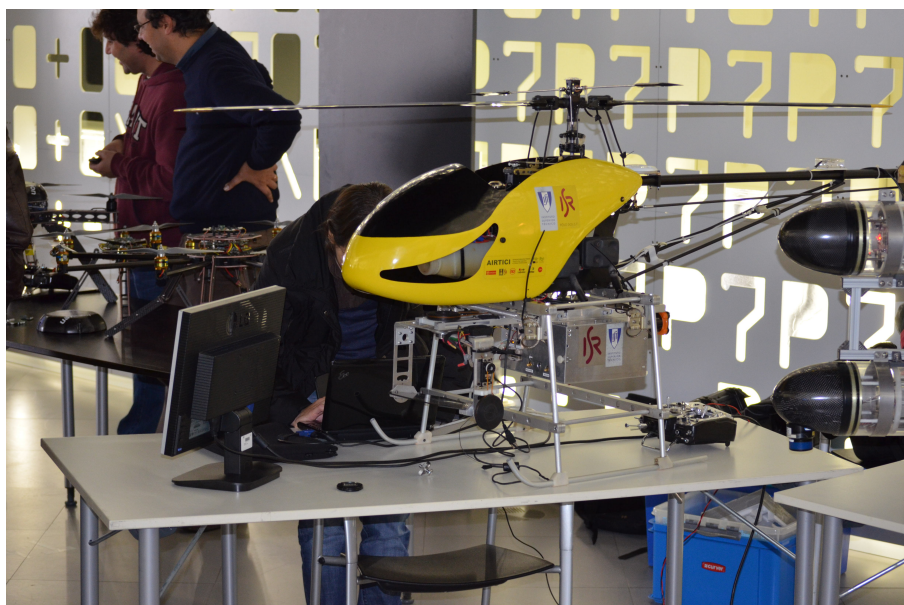


(b) Consola de comando e assistência

Figura 4.4: Demonstração de voo durante o festival nacional de robótica, Robótica 2011.



(a) Visão global da bancada do LARSys/ISR



(b) Detalhe do helicóptero não tripulado

Figura 4.5: Presença na exposição realizada no Pavilhão do conhecimento no âmbito da "European Robotics Week".



Figura 4.6: Presença na Sessão Anual COMPETE.

topo, de forma a acompanhar os mais recentes avanços técnicos, como foi o caso com o Centre National de la Recherche Scientifique CNRS, Sophia Antipolis, através da estadia de um estudante de doutoramento neste instituto durante três meses.

### 4.3 Impacto do Projeto no Consórcio

O impacto do projeto no consorcio pode ser avaliado pelos próprios resultados demonstrados em inspeções a diversas infraestruturas e nas muitas publicações internacionais conseguidas. Por um lado, foi possível juntar à mesma mesa parceiros com direções de trabalho e interesses diversos, compatibilizando laboratórios de investigação científica, institutos de transferência de tecnologia, grandes empresas e pequenas empresas. Por outro, os interesses diversos patentes na génese de cada parceiro foram um catalizador na busca de soluções práticas para os problemas existentes no terreno, ao mesmo tempo que se promoveu o progresso das técnicas de inspeção de infraestruturas para além do procedimentos tradicionais.

O conhecimento acumulado no seio de cada parceiro, bem como o interesse pelos conceitos abordados no projeto e os resultados obtidos, são garantia que serão procurados mecanismos para continuar o desenvolvimento deste tipo de ferramentas. Enquanto as empresas do consórcio que se assumem como clientes finais irão compreender a fundo as potencialidades e fragilidades deste tipo de ferramentas, as instituições que desenvolveram os protótipos e as técnicas poderão assumir, ou dar origem a empresas *spin-off* que assumam, um papel de liderança a nível internacional no desenvolvimento e comercialização destas técnicas e ferramentas.



## Capítulo 5

# Avaliação

No final deste projeto, tendo em conta as ferramentas robóticas avançadas para a inspeção de infraestruturas críticas desenvolvidas e demonstradas em diversos testes de campo, as técnicas e procedimentos avançadas de inspeção, os protótipos desenvolvidos, assim como o nível de publicações científicas conseguido, o consórcio só pode avaliar os resultados do projeto como excelentes.

Apesar da complexidade científica e tecnológica dos assuntos abordados, bem como alguns constrangimentos ao nível burocrático, foi possível cumprir os objetivos estabelecido na proposta inicial quase na totalidade. Em alguns casos foram substituídos objetivos inicialmente propostos por outros que se achou de maior relevância, como foi o caso da abordagem ao problema de mapeamento e localização simultâneos em detrimento do investimento em técnicas de controlo com múltiplos veículos coordenados, ou foram ajustadas as relevâncias de assuntos próximos, focando a atenção de uns para outros. Esta adaptação realista dos objetivos é entendida pelo consórcio como uma evidência da proatividade e da coordenação que existiram durante o projeto.



## Capítulo 6

# Execução Financeira

Considerando um indicador global da execução financeira, verificou-se que a taxa de execução financeira total se fixou nos 79% do valor inicialmente previsto. Esta elevada taxa de execução indica que o projeto foi conseguido quase na sua totalidade, tal como o demonstram os resultados obtidos e mencionados neste relatório. Um resumo da execução financeira é apresentado na Tabela 6.1, detalhando o investimento previsto, o investimento reportado e a taxa de execução de cada promotor do projeto.

Tal como já se mencionou anteriormente, a taxa de execução de 52% apresentada pela da HAGEN é justificada com a sobreposição das Tarefas E e G, tendo o consórcio optado por se focar mais na Tarefa E. No que diz respeito ao investimento reportado pelo IST, Brisa e ISQ, verifica-se que foi atingidas taxas de execução elevadas, respetivamente , de 99%, 95% e 84%, o que, tendo também em conta os resultados científicos e tecnológicos demonstrados, indica que a grande maioria dos objetivos da sua responsabilidade foram cumpridos. Relativamente à taxa de execução do LNEC, 63%, é também patente o elevado nível de empenhamento com que esta instituição esteve presente neste projeto, tendo sido decisiva para o apoio científico e técnico no acompanhamento das inspeções e no desenvolvimento das técnicas avançadas de inspeção. Por outro lado, na Tarefa F não houve disponibilidade para estender os ensaios a cenários de subestações e estruturas de produção de energia, o que iria aumentar o nível de execução de EDP Labelec, dada a densidade de equipamentos sob tensões elevadas e o grau de experimentalidade ainda envolvido na operação dos VANT. Esta realidade desaconselhou o trabalho em tais ambientes quando o nível de experiência, robustez e fiabilidade não é ainda o desejado.

Nota-se que os valores atribuídos à BRISA são ainda provisórios à data da entrega deste relatório. Este facto deve-se à alteração de titularidade da Concessão de Brisa Auto Estradas

<sup>1</sup>Números provisórios aquando da submissão.

Tabela 6.1: Investimento e taxa de execução por promotor.

Promotor	Investimento Previsto	Investimento Reportado	Taxa de Execução
HAGEN	172 709,31€	89 959,13€	52%
IST	546 902,57€	543 039,14€	99%
ISQ	317 807,67€	268 449,83€	84%
LABELEC	143 704,76€	45 400,26€	32%
BRISA	86 506,94€	73 274,35€ <sup>1</sup>	85% <sup>1</sup>
LNEC	92 867,06€	58 075,10€	63%
Total	1 360 498,31€	1 078 197,81€	79%

para Brisa Concessão Rodoviária, cuja formalização de alteração do promotor junto da AdI está em curso. Assim, não foi possível ainda colocar na plataforma as despesas elegíveis a partir de 31/12/2009, notando que a permanência da Brisa no Consórcio não foi alterada em relação ao previsto, tendo sido cumprido o objectivo inicial e dedicadas ao projecto as horas previstas.



# Publicações do Projecto

- [1] D. Antunes, C. Silvestre, and R. Cunha. On the design of multi-rate tracking controllers: Application to rotorcraft guidance and control. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 20(16):1879 – 1902, 2010.
- [2] P. Batista, C. Silvestre, and P. Oliveira. Sensor-based complementary globally asymptotically stable filters for attitude estimation. In *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pages 7563 –7568, dec. 2009.
- [3] P. Batista, C. Silvestre, and P. Oliveira. On the observability of linear motion quantities in navigation systems. *Systems & Control Letters*, 60(2):101 – 110, 2011.
- [4] P. Batista, C. Silvestre, P. Oliveira, and B. Cardeira. Accelerometer calibration and dynamic bias and gravity estimation: Analysis, design, and experimental evaluation. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, PP(99):1 –10, 2010.
- [5] P. Batista, C. Silvestre, P. Oliveira, and B. Cardeira. Accelerometer Calibration and Dynamic Bias and Gravity Estimation: Analysis, Design, and Experimental Evaluation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 19(5):1128 – 1137, 2011.
- [6] S. Brás, R. Cunha, J. F. Vasconcelos, C. Silvestre, and P. Oliveira. Nonlinear attitude estimation using active vision and inertial measurements. In *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pages 6496 –6501, dec. 2009.
- [7] S. Brás, C. Silvestre, and P. Oliveira. Global Attitude and Gyro Bias Estimation Based on Set-Valued Observers. *Systems and Control Letters*, 2013. In press.
- [8] S. Brás, J. F. Vasconcelos, C. Silvestre, and P. Oliveira. Pose observers for unmanned air vehicles. In *Proceedings of the 2009 European Control Conference*, 2009.
- [9] D. Cabecinhas, R. Cunha, and C. Silvestre. Rotorcraft path following control for extended flight envelope coverage. In *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pages 3460 –3465, dec. 2009.
- [10] D. Cabecinhas, R. Naldi, L. Marconi, C. Silvestre, and R. Cunha. Robust take-off and landing for a quadrotor vehicle. In *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 1630 –1635, may 2010.
- [11] D. Cabecinhas, R. Naldi, L. Marconi, C. Silvestre, and R. Cunha. Robust take-off for a quadrotor vehicle. *IEEE Transactions on Robotics*, 28(3):734–742, 2012.

- [12] D. Cabecinhas, C. Silvestre, and R. Cunha. Vision-based quadrotor stabilization using a pan and tilt camera. In *Decision and Control (CDC), 2010 49th IEEE Conference on*, pages 1644–1649, dec. 2010.
- [13] P. Casau, D. Cabecinhas, and C. Silvestre. Hybrid control strategy for the autonomous transition flight of a fixed-wing aircraft. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 2013.
- [14] R. Cunha, D. Cabecinhas, and C. Silvestre. Nonlinear trajectory tracking control of a quadrotor vehicle. In *Proceedings of the 2009 European Control Conference*, 2009.
- [15] R. Cunha, C. Silvestre, and J. Hespanha. Output-feedback control for stabilization on  $SE(3)$ . *Systems & Control Letters*, 57(12):1013–1022, 2008.
- [16] R. Cunha, C. Silvestre, J. Hespanha, and A. P. Aguiar. Vision-based control for rigid body stabilization. *Automatica*, 47(5):1020–1027, 2011.
- [17] B. J. Guerreiro, P. Batista, C. Silvestre, and P. Oliveira. Sensor-based Simultaneous Localization and Mapping – Part I: GAS Robocentric Filter. In *American Control Conference (ACC), 2012*, pages 6352–6357, June 2012.
- [18] B. J. Guerreiro, P. Batista, C. Silvestre, and P. Oliveira. Sensor-based Simultaneous Localization and Mapping – Part II: Online Inertial Map and Trajectory Estimation. In *American Control Conference (ACC), 2012*, pages 6334–6339, June 2012.
- [19] B. J. Guerreiro, P. Batista, C. Silvestre, and P. Oliveira. Globally Asymptotically Stable Sensor-based SLAM with Online Inertial Map and Trajectory Estimation. *IEEE Transactions on Robotics*, 29(6), 2013. In press.
- [20] B. J. Guerreiro, C. Silvestre, and R. Cunha. Terrain Avoidance Nonlinear Model Predictive Control for Autonomous Rotorcraft. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 69(1):69–85, 2012.
- [21] B. J. Guerreiro, C. Silvestre, R. Cunha, C. Cao, and N. Hovakimyan. L1 adaptive control for autonomous rotorcraft. In *American Control Conference, 2009. ACC '09.*, pages 3250–3255, june 2009.
- [22] B. J. Guerreiro, C. Silvestre, and P. Oliveira. Automatic LADAR calibration methods using geometric optimization. In *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 969–974, May 2011.
- [23] Pedro Santos. Sensor Based Control of a Quadrotor. Master’s thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, October 2011.
- [24] P. Serra, F. Le Bras, T. Hamel, C. Silvestre, and R. Cunha. Nonlinear IBVS Controller for the Flare Maneuver of Fixed-wing Aircraft using Optical Flow. In *Decision and Control (CDC), 2010 49th IEEE Conference on*, pages 1656–1661, 2010.
- [25] Pedro Serra, Rita Cunha, Carlos Silvestre, and Tarek Hamel. Visual Servo Aircraft Control for Tracking Parallel Curves. In *Decision and Control (CDC), 2012 IEEE 51st Annual Conference on*, pages 1148–1153, 2012.
- [26] André Silva. Vision-based Pose Computation from Landmarks: an application to Quadrotors. Master’s thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, October 2011.

- [27] J. F. Vasconcelos, R. Cunha, C. Silvestre, and P. Oliveira. Stability of a nonlinear attitude observer on  $SO(3)$  with nonideal angular velocity measurements. In *Proceedings of the 2009 European Control Conference*, 2009.
- [28] J. F. Vasconcelos, R. Cunha, C. Silvestre, and P. Oliveira. A nonlinear position and attitude observer on  $SE(3)$  using landmark measurements. *Systems & Control Letters*, 59(3-4):155 – 166, 2010.
- [29] J. F. Vasconcelos, G. Elkaim, C. Silvestre, P. Oliveira, and B. Carneira. Geometric approach to strapdown magnetometer calibration in sensor frame. *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, 47(2):1293 –1306, april 2011.
- [30] J. F. Vasconcelos, A. Rantzer, C. Silvestre, and P. Oliveira. Combination of lyapunov functions and density functions for stability of rotational motion. In *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pages 5941 –5946, dec. 2009.
- [31] J. F. Vasconcelos, C. Silvestre, P. Oliveira, and B. Guerreiro. Embedded uav model and laser aiding techniques for inertial navigation systems. *Control Engineering Practice*, 18(3):262 – 278, 2010.