

**MESTRADO**  
**CONTABILIDADE, FISCALIDADE E FINANÇAS**  
**EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**TRABALHO DE PROJETO**

**DISPOSITIVO AÉREO DE COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS –  
PROPOSTA DE UM MODELO PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS**

**JOÃO CARLOS PEDROSA CARDOSO**

**OUTUBRO - 2017**

**MESTRADO EM**  
**CONTABILIDADE, FISCALIDADE E FINANÇAS**  
**EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**TRABALHO DE PROJETO**

**DISPOSITIVO AÉREO DE COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS –  
PROPOSTA DE UM MODELO PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS**

**JOÃO CARLOS PEDROSA CARDOSO**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSOR DOUTOR PEDRO LUÍS PEREIRA VERGA MATOS**

**PROFESSORA DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE MOURÃO**

**OUTUBRO - 2017**

## Resumo

O Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios tem sido desenvolvido e aprimorado nos últimos anos, devido à contínua ameaça dos incêndios à floresta portuguesa. Neste sistema, a vertente do combate a incêndios é a que mais alterações tem sofrido e onde mais se tem investido.

A Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) contrata meios aéreos (helicópteros e aviões) como parte integrante da sua estratégia de combate a incêndios. Em oposição a uma frota própria, a ANPC, tem recorrido, cada vez mais, a meios contratados. Apesar de ser verificada uma crescente dependência de meios contratados, não existem estudos que determinem qual o número ideal de meios a contratar ou a comprar.

O presente estudo utiliza a abordagem de construção de modelos de investigação operacional, disponível, por exemplo, em Hillier & Lieberman (2010), para desenvolver um modelo conceptual de decisão, de modo a auxiliar o processo de tomada de decisão, ou seja, a escolha entre o número e o tipo de meios, próprios ou a contratar. A otimização definida visa a ajuda na tomada de decisão apontando para aquela que permita minimizar os custos do dispositivo aéreo de combate a incêndios.

Com este trabalho procura-se contribuir para um melhor planeamento orçamental da ANPC e, conseqüentemente, para uma minimização de custos associados ao combate a incêndios florestais.

Palavras-Chave: Meios aéreos de combate a incêndios; Alocação de recursos; Modelo de otimização; Incêndios; Gestão de incêndios florestais; Programação linear inteira.

## Abstract

The National Forest Fire Protection System has been developed and improved in recent years, due to the continuous threat of fires to the Portuguese forest. In this system, the aspect of wildfire suppression is the one that has suffered the most changes and where more has been invested.

The *Autoridade Nacional de Proteção Civil* (ANPC) hire aerial forces services (helicopter and aircraft) as part of its wildfire suppression strategy. ANPC is increasingly relying on contract aerial fleet as opposed to own one. Despite this increasing reliance on contractors, there have been no studies to determine what the optimal mix should be.

This study uses the operational research modeling approach of Hillier & Lieberman (2010) to develop a conceptual decision model to assist the decision-making process and to choose between the number and type of means to own and to hire. The optimization defined aims at aiding decision-making towards the one that allows to minimize the costs of the aerial fire-fighting program.

The aim of this work is to contribute to a better budget planning of the ANPC and consequently to a cost reduction in forest firefighting.

Keywords: Aerial firefighting; Resource allocation; Optimization model; Wildfire; Wildfire management; Integer linear programming.

## Agradecimentos

É com grande orgulho e prazer que me encontro novamente nesta situação e escrevo este documento com grande satisfação e gratidão pelas oportunidades que me têm surgido no meu percurso académico.

Um obrigado aos meus orientador e coorientadora, pelo suporte, críticas, correções, sugestões e comentários, no fundo todo o apoio dado na documentação deste trabalho final de mestrado.

Um agradecimento especial à Professora CÂNDIDA MOURÃO, por todo o seu apoio, durante a minha breve passagem no ISEG, e ainda pela sua constante disponibilidade no acompanhamento permanente e cuidado de todas as fases deste trabalho, com excelente orientação e dedicação como docente.

Ao meu amigo PEDRO BORGES pela transmissão de conhecimentos e experiências. Pelo incondicional apoio e ajuda a superar as adversidades.

Um especial agradecimento, à minha PRIMA e pessoas importantes que me ajudaram nas revisões e correções, sem elas ficaria impossível poder alcançar este objetivo.

Sei que o orgulho que senti quando acabei esta tese, a minha família também o sentiu. Um apreço especial ao meu IRMÃO, aos meus PAIS e à minha MADRINHA, que me ajudaram a estar onde eu estou.

Àqueles amigos verdadeiros que estiveram comigo nos momentos de alegria e tristeza. Sempre me apoiaram nas minhas decisões e me moldaram, tornando-me quem hoje sou. Por isso digo: Obrigado por serem vocês.



Muito obrigado,

## Índice

Resumo .....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos .....	iii
Índice .....	iv
Índice de Tabelas .....	vi
Índice de Figuras .....	vii
Acrónimos .....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Contexto e Motivação.....	1
1.2. Objetivo .....	2
1.3. Âmbito .....	3
1.4. Problemática .....	3
1.5. Metodologia .....	6
1.6. Panorâmica.....	6
2. Revisão de Literatura.....	7
2.1. A Floresta Portuguesa .....	7
2.2. Incêndios Florestais .....	7
2.3. Reformas na Política de Defesa da Floresta Contra Incêndios .....	8
2.4. Combate a Incêndios Florestais .....	10

2.4.1.	Meios Aéreos no Combate a Incêndios Florestais .....	11
2.4.2.	Modelos de Otimização de Localização e Alocação .....	12
2.4.3.	Exemplos de Dispositivos de Meios Aéreos.....	13
2.5.	Dispositivo Aéreo da Autoridade Nacional de Proteção Civil .....	15
3.	Modelo para a Minimização de Custos do Dispositivo Aéreo de Combate a Incêndios .....	20
3.1.	Definição do Problema e Recolha de Dados .....	21
3.2.	Formulação do Modelo Matemático .....	21
3.3.	Desenvolvimento Computacional.....	25
3.4.	Teste do Modelo .....	26
3.4.1.	Dados .....	26
3.4.2.	Teste.....	27
3.5.	Resultados do Modelo .....	28
4.	Conclusão .....	30
	Referências Bibliográficas.....	33
	Anexo A - Metodologia.....	40
	Anexo B - Dados .....	41
	Anexo C - Modelo .....	46

## Índice de Tabelas

Tabela I – Tipos de meios aéreos, (ANPC, 2009).....	16
Tabela II – Resumo do valor dos contratos atuais (EMA, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d; ANPC, 2014a, 2015a, 2015b; FAP & ANPC, 2017).....	18
Tabela III – Valores utilizados para os parâmetros “s”, “j” e “Lj”.....	26
Tabela B.I – Uso dos solos em Portugal (ICNF, 2013).....	41
Tabela B.II – Número de incêndios e área ardida (EFFIS, 2016).....	42
Tabela B.III – Área ardida e valor florestal perdido com incêndios (ICNF, 2016).....	42
Tabela B.IV – Dispositivo aéreo, segundo a DON nº2, (ANPC, 2017).....	43
Tabela B.V – Resumo dos contratos em vigor (EMA, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d; ANPC, 2014a, 2015a, 2015b; FAP & ANPC, 2017).....	44
Tabela B.VI – Número de horas de voo e missões (FAP, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016; ANPC, 2012, 2013, 2014b, 2015c, 2016b).....	45
Tabela C.I – Fase inicial do desenvolvimento computacional.....	46
Tabela C.II – Valores de custos anuais, opção “ALUGUER”.....	47
Tabela C.III – Valores de custos anuais e investimento, opção de “Compra & FAP” ...	48
Tabela C.IV – Solução utilizando apenas a opção “ALUGUER”.....	49
Tabela C.V – Output fornecido pelo OpenSolver.....	50
Tabela C.VI – Solução do modelo.....	51



## Índice de Figuras

Figura A.1– Metodologia de investigação (Quivy & Campenhoudt, 2008) .....	40
Figura B.1 – <i>Corine Land Cover</i> , Portugal (European Environment Agency, 2012) ....	41
Figura C.1 – Ilustração do modelo no <i>OpenSolver</i> .....	49

## Acrónimos

ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
ARCO	Avião de Reconhecimento e Coordenação
ATI	Ataque Inicial
AVBL	Avião Bombardeiro Ligeiro
AVBM	Avião Bombardeiro Médio
AVBP	Avião Bombardeiro Pesado
CAL FIRE	<i>California Department of Forestry and Fire Protection</i>
DECIF	Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais
DON	Diretiva Operacional Nacional
DR	Diário da República
EFFIS	<i>European Forest Fires Information System</i>
EMA	Empresa de Meios Aéreos, S. A.
FAP	Força Aérea Portuguesa
HEAC	Helicóptero de Avaliação e Coordenação
HEBL	Helicóptero Bombardeiro Ligeiro
HEBM	Helicóptero Bombardeiro Médio
HEBP	Helicóptero Bombardeiro Pesado
HESA	Helicópteros de Socorro e Assistência
HV	Horas de Voo
ICNF	Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, I. P.
MAI	Ministério da Administração Interna
PLI	Programação Linear Inteira
PNDFCI	Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

## 1. Introdução

O presente capítulo tem como objetivo introduzir a temática central do trabalho final de mestrado, oferecendo um panorama global sobre o dispositivo aéreo de combate a incêndios florestais.

### *1.1. Contexto e Motivação*

A floresta é um património essencial ao desenvolvimento sustentável de um país e, no caso de Portugal, os contínuos incêndios florestais constituem uma séria ameaça à floresta portuguesa, comprometendo a sustentabilidade socioeconómica do país (Diário da República (DR), 2006a; Oliveira, 2010).

Após o flagelo dos incêndios florestais de 2003 e de 2005, a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) definiu, em 2005, uma nova estratégia de combate, que além da aquisição de meios permanentes, foi também incluído o aluguer de meios para a constituição de um dispositivo aéreo. A aquisição dos meios aéreos tinha como objetivo principal a disponibilidade permanente de um conjunto de meios para o combate aos incêndios florestais (DR, 2005).

Ricardo Dias, presidente da Everjets - Aviação Executiva, S.A, garante a existência de um esquema de consórcio, em forma de cartel, onde os preços podiam ser influenciados entre vinte a trinta por cento (Caneco & Monteiro, 2017). A mesma situação, já antes referenciada em 2016 pelo jornal “El mundo” como o “cartel do fogo”, baseava-se na combinação de preços para concorrer e influenciar o resultado dos procedimentos. Segundo a mesma fonte, o caso contava com uma rede de colaboradores em Espanha, França, Portugal e Itália para obter informação confidencial acerca dos concursos (Nieto, 2016).

Ao longo dos últimos anos, têm surgido diversas intervenções políticas demonstrando a necessidade da procura de uma solução sustentável para o dispositivo aéreo. Uma das intervenções apresentadas relaciona-se com a concentração de meios aéreos na Força Aérea Portuguesa (FAP) (Correia, 2016). No entanto, apesar da FAP poder ter competências para o combate a incêndios, esta poderá não ser a solução mais eficiente para o Estado. Contudo, ainda não foi encontrada uma solução adequada.

Com o passar dos anos, ainda sem consenso, os incêndios florestais continuam. Sendo necessário em 2017, recorrer mais uma vez ao Mecanismo de Proteção Civil da União Europeia, com pedidos de ajuda para meios aéreos de combate.

A ANPC e o governo identificaram vários problemas relacionados com o combate aos incêndios (DR, 2005, 2006b). Assim, o intuito deste trabalho é contribuir com uma solução mais eficiente para o Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais (DECIF), especificamente no caso do dispositivo aéreo de combate a incêndios.

## *1.2. Objetivo*

O presente estudo tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, capaz de auxiliar na forma de aquisição de meios aéreos de combate. Esta ferramenta visa aumentar a eficácia e eficiência, recorrendo à alocação sustentável de recursos dispendiosos, como os meios aéreos. A possibilidade de criação de uma ferramenta que preencha a lacuna, existente, de planeamento orçamental a longo prazo, tornará possível o controlo, manutenção e avaliação de custos do dispositivo aéreo. Torna-se assim óbvio que o presente trabalho se enquadra no mestrado de Contabilidade, Fiscalidade e Finanças Empresariais.

Propõe-se um modelo que procura a forma menos dispendiosa de garantir um dispositivo aéreo eficiente e eficaz. Identificando o custo de diversas formas de aquisição.

### *1.3. Âmbito*

Viegas et al. (2011) referem que para a resolução e mitigação dos incêndios florestais é necessária uma abordagem multidisciplinar devido à interdependência dos múltiplos fatores que afetam os incêndios. Por este motivo, qualquer alteração do tipo e da aplicação dos recursos, incluindo os meios aéreos, pode pôr em causa a estratégia adotada nos últimos anos pela ANPC. De salientar que a responsabilidade do combate a incêndios florestais é da ANPC e não de entidades públicas/privadas, Forças Armadas ou outros detentores dos meios utilizados no combate. Deste modo, cabe à ANPC a definição e gestão estratégica do dispositivo terrestre e aéreo, através da sua estrutura operacional.

Para o combate aos incêndios florestais é necessário um conjunto complexo e diversificado de recursos. Cada tipo de recursos difere nas suas características, especificação, objetivos, desempenho, modo de operação e custos. Relativamente aos meios aéreos, este projeto foca as missões de ataque inicial, ataque ampliado e vigilância armada, com ênfase nos custos de aquisição e operação de meios aéreos de combate a incêndios, mantendo-se as estratégias e metodologias atuais de combate.

### *1.4. Problemática*

O recurso a meios aéreos é um método que permite combater incêndios de maior intensidade, visto que não implica proximidade às chamas, tornando possível o combate em zonas de difícil acesso para meios terrestres. É ainda estrategicamente importante no combate a focos nascentes, assumindo um fator vital na tática adotada pela ANPC (Martell, 2007; Viegas et al., 2011). Tendo em conta a necessidade de atuação destes meios aéreos como resposta e auxílio ao combate terrestre, torna-se pertinente tentar identificar a solução mais rentável (Viegas et al., 2011; Restas, 2014).

Independentemente do tipo e quantidade de meios que venham a integrar o DECIF é imperioso definir *a priori* as várias opções de aquisição de meios para o dispositivo aéreo.

As diferentes opções sugeridas descrevem-se em seguida:

- A) Aluguer: opção que inclui operação, manutenção e todos os recursos necessários para tal. Nesta opção considera-se um único contrato público, plurianual, com vários lotes para os diferentes tipos e quantidade de meios, e com o tempo de intervenção no DECIF;
- B) Compra: esta opção difere consoante a entidade que garante a operação e assegura a manutenção e demais recursos. Surgem três variações para a opção de compra:
1. Compra & FAP – dá-se a integração do novo património na estrutura operacional da FAP. Criação ou ampliação de uma unidade exclusivamente dedicada à operação. A existência de pessoal operador e de manutenção em regime de dedicação exclusiva garante a prontidão e operacionalidade que o sistema exige. Fica, assim, responsável pela operação, recursos e manutenção;
  2. Compra & ANPC – dá-se a integração do novo património no Ministério da Administração Interna (MAI), através da estrutura da ANPC. Uma estrutura, como a atual da Direção de Serviços de Meios Aéreos, com experiência acumulada através da gestão dos meios próprios até à data. Fica, assim, a ANPC responsável pela operação, manutenção e recursos, podendo adquirir ou contratar essas competências;
  3. Compra & Empresa Privada – nesta opção há uma empresa a quem se entrega o património do Estado, e, a troco monetário, a empresa realiza a operação e responsabiliza-se por garantir a prontidão, manutenção e recursos.

Note-se que a qualificação, formação e certificações de manutenção devem fazer parte do pacote de contrapartidas a ser negociado com os fornecedores dos meios.

Mesmo existindo diversos tipos e formas de aquisição que não foram referenciadas, de forma a restringir este número de opções, doravante, a “opção de aquisição” refere-se ao aluguer ou à compra em cada uma das três opções acima mencionadas.

A problemática incide na melhoria da eficiência dos meios aéreos que a ANPC tem à sua disposição no combate a incêndios florestais, com vista à redução dos custos associados às opções de aquisição. Assim, pretende-se garantir o dispositivo mínimo, requisitado pela ANPC, com o menor custo possível. Para tal, foi desenvolvido um modelo em programação linear inteira (PLI) que auxilia a tomada de decisão. Deverá assim, ser possível gerar soluções para cada um dos vários cenários, permitindo retirar ilações dos valores necessários para suportar e manter um dispositivo aéreo. Desta forma, torna-se possível uma tomada de decisão fundamentada. Por outro lado, a identificação da melhor opção financeira possível para o dispositivo aéreo que se pretende, pode também representar um auxílio para a gestão orçamental.

*Pergunta de Partida e Questões Derivadas:*

*A integração de um modelo de minimização de custos, aplicado aos meios aéreos de combate a incêndios, traduz-se em benefícios económicos do dispositivo aéreo de combate a incêndios?*

**Questão 1.** É possível a construção de um modelo, em programação linear inteira, representativo da realidade?

**Questão 2.** Existe alguma ferramenta *open-source* que permita a resolução do modelo?

**Questão 3.** A solução apresentada pelo modelo é solução ótima?

### *1.5. Metodologia*

A metodologia utilizada assenta em três fases: rutura, construção e verificação. Subdivide-se ainda por sete etapas (Figura A.1). Relativamente à primeira fase, rutura, consiste em romper com preconceitos e falsas evidências, marcando o primeiro ato do procedimento científico. Esta fase incorpora três etapas “pergunta de partida”, “exploração” e “problemática”. À rutura segue-se a construção de um sistema conceptual organizado, exprimindo a lógica e a idealização da realidade num modelo. Esta fase engloba as etapas “problemática” e “construção do modelo de análise”. A terceira e última fase do processo designa-se por verificação ou experimentação, onde é necessário realizar um teste aos factos, de forma a poder validar o modelo conceptual. Esta fase corresponde às etapas “observação”, “análise das informações” e “conclusões” (Quivy & Campenhoudt, 2008).

### *1.6. Panorâmica*

O projeto em estudo está organizado em quatro secções. Na primeira secção, introdução, é feita uma abordagem inicial ao tema, fundamentando o seu estudo. A revisão de literatura, segunda secção, descreve alguns dos conceitos gerais ligados à temática dos meios aéreos de combate a incêndios florestais. Na terceira secção é desenvolvido o modelo e apresentada uma proposta de solução, enquadrando o problema e a resposta às questões enunciadas. Por último, a conclusão, onde se refere as limitações e possíveis caminhos para investigações futuras.



## 2. Revisão de Literatura

Neste capítulo serão os conceitos considerados relevantes para o conhecimento cabal do domínio de estudo e, conseqüente, para o desenvolvimento de uma solução para o problema em questão.

### 2.1. *A Floresta Portuguesa*

Em 2005, o Instituto Superior de Agronomia, na sua proposta para o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), refere um valor estimado da floresta portuguesa, de 7.750 milhões de euros, contribuindo para gerar 3,2% do produto interno bruto e 11% das exportações (Instituto Superior de Agronomia, 2005).

O sexto Inventário Florestal Nacional, do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, I. P. (ICNF) (2013), refere que, no ano de 2010, Portugal tinha 3.154.800 hectares de floresta, aproximadamente 35%, e 2.853.229 hectares de matos e pastagens, cerca de 32% do território. Perfaz um total de seis mil milhões de hectares de espaços florestais<sup>1</sup>, equivalendo a dois terços da área do país (67% do território continental). Na Tabela B.I e Figura B.1 representa-se o uso do solo em Portugal.

### 2.2. *Incêndios Florestais*

Um incêndio é uma combustão sem controlo, que se denomina por incêndio florestal quando se desenrola em espaços florestais, (Castro et al., 2003; ANPC, 2009). Apesar de os incêndios serem uma parte integrante dos ecossistemas, são, simultaneamente, a sua principal causa de degradação (Nunes et al., 2013).

---

<sup>1</sup>Espaços florestais incluem terrenos ocupados com floresta, matos e pastagens ou outras formações vegetais espontâneas, segundo a última alteração, pelo Decreto-Lei n.º 83/2014, de 23 de maio, do Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho, no artigo 3º, alínea f).

Os incêndios florestais são a maior ameaça às florestas da bacia mediterrânica, destruindo mais floresta do que qualquer outra calamidade natural (Alexandrian et al., 1999). Os mesmos autores assumem que no Mediterrâneo a principal causa dos incêndios é de origem humana, contrariamente às outras regiões do mundo, em que a maioria é de origem natural. Provavelmente pela ausência de fenómenos climáticos extremos, as causas naturais variam apenas entre 1% a 5%.

Segundo o *European Forest Fires Information System*<sup>2</sup> (EFFIS) (2016), Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia são os países mais fustigados pelos incêndios florestais. O elevado número de incêndios com causas desconhecidas, é outra característica comum a estes países do sul da Europa, sendo essa percentagem média de 56% (Alexandrian et al., 1999). Desde 1980 a 2015, Portugal é o que apresenta maior número de ignições e a segunda maior área ardida, Tabela B.II. Mais de meio milhão de ignições, entre 1981 e 2010, devastaram uma área que se aproxima dos 3,3 milhões de hectares, que em termos relativos equivale a um terço do território continental português (Nunes et al., 2013).

Os incêndios florestais causam uma diminuição de produtos e serviços prestados pelos ecossistemas florestais, e somando as emissões de CO<sup>2</sup>, estimam-se perdas médias anuais na ordem dos 168 milhões de euros, como consta na Tabela B.III (ICNF, 2016).

### *2.3. Reformas na Política de Defesa da Floresta Contra Incêndios*

Devido à importância da política de defesa da floresta, esta deve ser inserida num contexto complexo e alargado de ambiente e ordenamento territorial, de desenvolvimento rural e de proteção civil (Viegas et al., 2011).

---

<sup>2</sup> O *Joint Research Centre*, da Comissão Europeia, criou em 1998 um grupo de investigação para o desenvolvimento e implementação de métodos para a avaliação do perigo de incêndio florestal e mapeamento das áreas ardidas, a nível europeu. Esta investigação levou ao desenvolvimento do EFFIS, em operação desde 2000.

O Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho (última atualização pelo Decreto-Lei n.º 83/2014 de 23 de maio) estabelece as medidas e ações estruturais e operacionais, de planeamento e de intervenção relativas à prevenção e proteção das florestas contra incêndios, a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Este sistema enquadra-se num modelo ativo e estruturado, que assenta em três pilares fundamentais e duas dimensões de defesa, de pessoas e bens e da floresta. O primeiro pilar é a prevenção estrutural, referente às vertentes de sensibilização, planeamento, organização do território florestal, silvicultura e infraestruturização, que é responsabilidade da Autoridade Florestal Nacional, através do ICNF; o segundo pilar relaciona-se com ações de vigilância, deteção e fiscalização, responsabilidade da Guarda Nacional Republicana; e por último, as ações de combate, rescaldo e vigilância pós-incêndio, coordenação da ANPC.

Com o intuito de criar condições para a redução progressiva dos incêndios florestais, foi aprovado o PNDFCI, com um período temporal de 2006 a 2018, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de maio. Enuncia a estratégia e determina os objetivos, as prioridades e as intervenções a desenvolver para atingir as metas definidas, e ainda, um conjunto articulado de ações com vista a fomentar a gestão ativa da floresta. Os grandes objetivos do PNDFCI são: a redução da área ardida, para valores equiparáveis à média dos países da bacia mediterrânica; a eliminação dos grandes incêndios; a redução do número de incêndios com área superior a um hectare e de reacendimentos.

O PNDFCI dá especial realce à eficácia do combate aéreo, defende que este deve ser sustentado na qualidade dos meios próprios e contratados, na formação de pilotos, na articulação e integração dos meios aéreos no dispositivo e na sua gestão, existindo ainda

a possibilidade da utilização destes meios fora do período crítico do risco de incêndio. Os meios aéreos são, assim, encarados como um auxílio dos meios terrestres no combate aos incêndios. Este plano enquadra-se numa ótica global onde se pretende adquirir aeronaves a título definitivo, onde o investimento inerente será contemplado anualmente no PIDDAC<sup>3</sup>. Durante o período de aquisição das aeronaves deve recorrer-se a contratos com operadores privados. O dispositivo aéreo deve ser constituído por helicópteros bombardeiros ligeiros e/ou médios e respetivas equipas/brigadas helitransportadas; helicópteros bombardeiros pesados; aviões bombardeiros ligeiros, médios e pesados; e ainda helicópteros bombardeiros da AFOCELCA<sup>4</sup>.

#### *2.4. Combate a Incêndios Florestais*

No combate a incêndios florestais é necessário realizar ações de combate o mais rapidamente possível, enquanto o incêndio ainda é de pequenas dimensões, com o objetivo da sua extinção no menor espaço de tempo possível (Martell, 2007). Estas primeiras ações para a supressão de um incêndio florestal, referem-se ao termo de ataque inicial (ATI).

Quince (2009) refere que uma diminuição do tempo de resposta está diretamente ligada a uma maior probabilidade de extinção de focos de incêndios nascentes. Sendo assim, o tempo de resposta é crucial para a supressão efetiva dos incêndios (Islam, 1998). Rahn (2010) acrescenta ainda que os primeiros dez a trinta minutos são os mais importantes do ATI, pois quanto mais morosa for a intervenção dos meios de ATI num incêndio, mais este irá crescer e ganhar dimensão (Islam et al., 2009). Contudo, Cumming (2005) refere

---

<sup>3</sup> Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da Administração Central (PIDDAC), que inclui programas e medidas orçamentais, articulados com as Grandes Opções do Plano e com o Quadro Comunitário de Apoio. Lei 91/2001, 20 de agosto.

<sup>4</sup>AFOCELCA, é um agrupamento complementar de empresas dos grupos *The Navigator Company* e ALTRI, tem por missão apoiar o combate aos incêndios florestais nas propriedades das empresas.

que não se consegue reduzir totalmente os incêndios com o ATI, existindo sempre uma pequena porção de grandes incêndios que é inevitável. O autor contrapõe, ainda, que o aumento da eficácia dos meios de ATI não se deve apenas ao aumento da quantidade e rapidez, mas à estratégia e gestão dos incêndios. O ATI é composto por uma quantidade fixa de meios e, à medida que a taxa de ocorrência aumenta, os tempos de resposta também aumentam, saturando os meios e não conseguindo dar resposta a todas as ignições, começando o sistema a falhar. É o denominado ponto de colapso (Pacheco et al., 2014).

#### *2.4.1. Meios Aéreos no Combate a Incêndios Florestais*

No ATI os meios aéreos libertam um agente supressor que retarda o crescimento do incêndio, dando aos meios terrestres mais tempo para a deslocação (Islam et al., 2009). McCarthy (2003) destaca a eficácia dos meios aéreos na supressão de incêndios, referindo que do esforço combinado entre os meios aéreos e terrestres, em média 64% da contribuição de extinção é da responsabilidade dos meios aéreos em ATI.

Plucinski et al. (2007) defendem a complementaridade da interação entre os meios terrestres e aéreos na supressão dos incêndios. Os mesmos autores apresentam três grandes vantagens dos meios aéreos relativamente aos meios terrestres: A) Rapidez – velocidades superiores aos meios terrestres, e voam diretamente para o destino; B) Acesso – acesso a áreas remotas e acidentadas, enquanto os meios terrestres têm acesso limitado, difícil, ou mesmo, impossível; C) Observação – visão de todo incêndio, observam acessos, ameaças e pontos quentes.

O sucesso do ATI com a utilização de meios aéreos está dependente das características dos meios, das descargas, das condições ambientais, da disponibilidade de meios terrestres, da intensidade e tamanho do incêndio, do tipo de combustível, da experiência

do piloto, do agente supressor (água, retardante ou espumífero), da organização operacional e das infraestruturas de apoio (Plucinski et al., 2007). Um ATI eficaz é possível com um número ideal de meios, terrestres e aéreos. Em termos de disponibilidade dos meios aéreos, este deverá ser maior quando o risco de incêndio for superior, e onde seja mais expectável ocorrerem incêndios florestais (Islam et al., 2009).

#### 2.4.2. *Modelos de Otimização de Localização e Alocação*

A utilização de meios aéreos no combate a incêndios requerendo elevados custos de operação, encoraja investigadores a procurar soluções que visam a redução desses custos, e procuram aumentos de eficiência e eficácia (Restas, 2014).

Referente aos recursos e equipamentos utilizados para o combate a incêndios, têm que ser tomadas decisões na vertente de implementação e de despacho (Snyder et al., 2012). A implementação envolve o trabalho estratégico a montante da ocorrência do incêndio, de modo a que haja uma distribuição territorial de recursos, minimizando o custo operacional, e, ao mesmo tempo, respondendo aos níveis de perigosidade de incêndio num período de tempo específico (Maclellan & Martell, 1996). O despacho refere-se à determinação do número e tipo de recursos a enviar para um determinado incêndio, tendo em conta a minimização dos custos de supressão e dos danos (Donovan & Rideout, 2003a).

A comunidade científica tem desenvolvido, para este tipo de situações, modelos de otimização envolvendo problemas de localização e de alocação (Donovan & Rideout, 2003b; Snyder et al., 2012), no auxílio à vertente de implementação. Apenas em 2007, apareceu o primeiro trabalho de otimização englobando as duas vertentes, implementação e despacho (Haight & Fried, 2007).

Donovan (2006) desenvolveu um modelo de otimização para determinar a combinação ideal de equipas de bombeiros federais e contratados durante a fase de incêndios. No entanto, este modelo não tem em conta a localização das equipas. De facto, os modelos de otimização foram utilizados pela primeira vez no processo de adjudicação de contratos para aeronaves de combate a incêndio por Snyder et al. (2012).

Note-se ainda que, quando se pretende otimizar a utilização de meios aéreos, é necessário obter o custo desses mesmos meios. Existem várias opções para fazer este cálculo devido aos múltiplos fatores que o podem influenciar. Por um lado, há a considerar os custos fixos que contemplam os fatores de custo que não variam com a quantidade de meios a utilizar. Por outro, os custos variáveis, ou seja, custos dependentes da quantidade de meios a utilizar. Tanto os custos fixos como os variáveis podem englobar custos diretos (como custos de combustíveis e lubrificantes, materiais de consumo, manutenções e pessoal operacional) e custos indiretos (custos que não estão diretamente relacionados com a atividade aérea). Por outro lado, deve ainda, ter-se em conta o valor da depreciação de todo o ativo, que se distribui ao longo de um período ou por todo o ciclo de vida do meio aéreo.

#### *2.4.3. Exemplos de Dispositivos de Meios Aéreos*

##### **EUA / Califórnia**

O *United States Forest Service* usa meios aéreos para auxiliar o combate aos incêndios florestais, alguns dos quais propriedade sua, outros alugados e em períodos críticos, de elevado risco de incêndio, podendo ainda ativar militares. Os meios de propriedade federal, quando não estão a ser usados para o combate a incêndios, são empenhados em atividades de gestão de recursos naturais (U.S. Forest Service, 2017).

O *Aviation Program* da *California Department of Forestry and Fire Protection* (CAL FIRE) tem um orçamento anual de \$20 milhões, com 88% dos colaboradores contratados, e suportando 22 aviões bombardeiros médios, 12 helicópteros bombardeiros médios e 17 aviões de reconhecimento (CAL FIRE, 2017a, 2017b).

### **França**

Peuch (2005) refere que a maioria dos meios aéreos para combate a incêndios pertencem ao Estado, através da *Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises* do *Ministère de L'Intérieur*. Existe a possibilidade das autoridades locais, especialmente das do sul de França, poderem alugar meios de combate ligeiros. Em 2016, o dispositivo aéreo do Estado francês possuía 14 aviões bombardeiros pesados e nove médios, três aviões e oito helicópteros de reconhecimento. Os aviões bombardeiros estão posicionados, sobretudo, na zona mediterrânica, a zona mais vulnerável aos incêndios florestais (Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises, 2016).

### **Espanha**

A *Area de Defensa Contra Incendios Forestales*, do *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*, tem à sua disposição um dispositivo, entre meios próprios e contratados, de sessenta aeronaves, em média (Díaz-Hernández et al., 2007). O dispositivo cobre toda a superfície florestal espanhola, continente e ilhas. Estão definidas duas épocas de maior perigo de incêndio florestal, a campanha de inverno (fevereiro, março e abril) e a de verão (junho, julho, agosto, setembro e outubro) (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016). Os meios próprios do Estado espanhol estão a mando operativo da *Unidad Militar de Emergencias*<sup>5</sup>. Contém 17 *Canadair* que pertencem ao *Ejército del Aire*, seis helicópteros bombardeiros

---

<sup>5</sup>Uma força conjunta, com a missão de garantir a segurança e bem-estar dos cidadãos em situações de risco, catástrofes, calamidades e outras necessidades públicas. (*Orden DEF/1766/2007, de 13 de junio*)



médios e quatro helicópteros de coordenação que pertencem *Ejército de Tierra* (Unidad Militar de Emergencias, 2017). Como o dispositivo próprio não é suficiente para as reais necessidades, este tem que ser reforçado através da contratualização de outros meios aéreos (Díaz-Hernández et al., 2007).

### *2.5. Dispositivo Aéreo da Autoridade Nacional de Proteção Civil*

A Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto, segunda alteração à Lei n.º 27/2006, de 3 de julho que aprova a Lei de Bases da Proteção Civil diz que a proteção civil é a atividade desenvolvida pelo Estado, regiões autónomas e autarquias locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas com a finalidade de prevenir, atenuar, proteger e socorrer em situações de acidente grave ou catástrofe. ANPC é um serviço central, da administração direta do Estado, dotado de autonomia administrativa e financeira e património próprio, segundo o Decreto-Lei n.º 21/2016 de 24 de maio. Tem como missão planear, coordenar e executar toda a política de proteção civil.

A ANPC (2009) classifica os meios aéreos em função da missão que desempenham. Os helicópteros e os aviões bombardeiros, com missão de combate a incêndios florestais são divididos pela capacidade de transporte de água, sendo ainda definidos os tempos admissíveis de referência de descolagem, após o despacho, conforme Tabela I. Existem ainda Helicópteros de Avaliação e Coordenação (HEAC) para missões de reconhecimento, avaliação, comando, coordenação e controlo; Aviões de Reconhecimento e Coordenação (ARCO) para missões de reconhecimento, coordenação e guiamento; e Helicópteros de Socorro e Assistência (HESA) para missões de primeira intervenção em emergências, evacuação aero-médica, busca e salvamento em meio terrestre e aquático, apoio a operações terrestres e combate a incêndios florestais, bem como para o transporte especial de órgãos humanos e equipamentos de proteção civil.

Tabela I – Tipos de meios aéreos, (ANPC, 2009)

Tipo de Meio Aéreo		Capacidade (litros)	Tempo de descolagem (minutos)
Helicóptero bombardeiro	ligeiro (HEBL)	< 1.000	6
	médio (HEBM)	> 1.000 e < 2.500	10
	pesado (HEBP)	> 2.500	25
Avião bombardeiro	ligeiro (AVBL)	> 1.500 e < 3.000	12
	médio (AVBM)	> 3.000 e < 5.000	10
	pesado (AVBP)	> 5.000	30
Helicóptero de Avaliação e Coordenação (HEAC)		N/A	N/A
Avião de Reconhecimento e Coordenação (ARCO)		N/A	N/A
Helicóptero de Socorro e Assistência (HESA)		N/A	N/A

A Diretiva Operacional Nacional (DON) n.º 2, (ANPC, 2017), define que o ATI deve garantir uma intervenção organizada e integrada, sustentada por um despacho inicial até dois minutos depois de confirmada a localização do incêndio, de meios aéreos, se disponíveis, e em triangulação com os meios terrestres de combate a incêndios florestais. Define também que o ataque ampliado deve ter início sempre que atingidos os primeiros noventa minutos de intervenção, o incêndio não tenha sido dado ainda como dominado pelo comandante das operações de socorro. Pode ser antecipado, quando a previsão da evolução do incêndio, efetuada pelo comandante das operações, assim o determine.

Em janeiro de 2014, a ANPC assumiu a gestão dos meios aéreos que integravam o património da Empresa de Meios Aéreos, S.A. (EMA), devido à sua extinção. Consequentemente, os meios aéreos foram transferidos para o património a ANPC, através do Decreto-Lei n.º 8/2014 de 17 de janeiro. Neste momento, compete à ANPC a gestão do dispositivo aéreo de combate a incêndios, permanente e sazonal, para a prossecução das missões públicas atribuídas ao MAI. A ANPC tem agora, no seu ativo, seis helicópteros bombardeiros pesados (HEBP) (Kamov KA-32A11BC) e quatro helicópteros bombardeiros ligeiros (HEBL) (Ecureuil AS350 B3), e tem a obrigação da

gestão da operação, manutenção e contratação dos demais recursos técnicos e humanos a eles associados. Dos dez meios acima mencionados, apenas seis estão disponíveis, uma vez que os restantes quatro estão inoperacionais, dois acidentados com perda total e outros dois devido a falta de manutenção.

Segundo a DON n.º 2 (ANPC, 2017), o dispositivo aéreo, integrante do DECIF, é composto por 28 HEBL, oito helicópteros bombardeiros médios (HEBM), três HEBP, seis aviões bombardeiros médios (AVBM), dois aviões bombardeiros pesados (AVBP) e um HEAC. A matéria enunciada apresenta-se na Tabela B.IV. O dispositivo atinge o seu expoente máximo durante a fase Charlie (1 de julho a 30 de setembro), com possibilidade de recorrer a contratos excepcionais de reforço, por pequenos períodos, se existir necessidade operacional e níveis de risco de incêndio que assim justifique. Podem ainda ser realizados pedidos de ajuda internacional, através do Mecanismo de Proteção Civil da União Europeia.

Atualmente, dos 48 meios aéreos disponíveis para o DECIF, a grande maioria são alugados, sendo só uma pequena percentagem do Estado português, três HEBL, três HEBP e um HEAC (Alouette III, da FAP). Na Tabela B.V é possível verificar os valores e o resumo da informação mais pertinente sobre os contratos atuais, alguns já celebrados com a ANPC, outros anteriormente vinculados e celebrados com a EMA.

De acordo com os contratos em vigor, chega-se a um valor médio anual de 35.391.104,67€, com os 48 meios, conforme Tabela II. Em 2015, a despesa com o dispositivo aéreo foi de 37.940.928,00€ (ICNF, 2016), e para o ano de 2017, a despesa orçamentada, para o dispositivo aéreo de combate a incêndios florestais é de 42.659.314,00€, (ANPC, 2016a).

Tabela II – Resumo do valor dos contratos atuais (EMA, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d; ANPC, 2014a, 2015a, 2015b; FAP &amp; ANPC, 2017)

Tipo de Meios	Número de Meios	Valor dos Contratos	Custo Total por Ano	Custo por Meio por Ano
AVBM	6	18.654.875,00 €	4.394.958,33 €	756.864,58 €
AVBP	2	11.158.000,00 €	3.719.958,33 €	1.859.666,67 €
HEBL	28	56.159.000,00 €	11.231.800,00 €	700.892,00 €
HEBM	8	21.288.000,00 €	4.257.600,00 €	532.200,00 €
HEBP	3	46.077.120,00 €	11.519.280,00 €	3.839.760,00 €
HEAC	1	268.133,00 €	268.133,00 €	268.133,00 €
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>153.605.128,00 €</b>	<b>35.391.104,87 €</b>	

Como já foi exposto, os meios do dispositivo aéreo podem ser alugados ou próprios do estado. Um grupo de trabalho da Assembleia da República (2015) fez referência a esta problemática em que antigos comandantes da ANPC afirmam uma necessidade real, mais especificamente, a de Portugal dever ser dotado de meios aéreos próprios, independentemente da operação e manutenção ficarem a cargo de uma empresa privada, ou da FAP. Defendem ainda que é necessário garantir um património mínimo de AVBP, anfíbios<sup>6</sup>, de forma a garantir um dispositivo permanente, à semelhança de outros países.

Seguindo a lei da oferta e procura, se existirem no mercado HEBL para alugar com níveis de oferta elevados, a concorrência leva à imposição de preços baixos. Deste modo, o Estado não deveria investir em HEBL quando pode encontrar múltiplas soluções a preços inferiores. Por outro lado, nos casos em que a oferta é menor, os preços praticados são mais elevados. Sendo assim, é de ponderar o investimento neste tipo de meios. Consequentemente, para além dos fatores mencionados, existe ainda uma grande instabilidade verificada nos concursos, devido às recorrentes reclamações, anulações e novas aberturas de concursos (Assembleia da República, 2015).

<sup>6</sup> Meios que conseguem abastecer diretamente de superfícies aquáticas, não existindo a necessidade de infraestruturas específicas, para reabastecer os tanques de água.

Políticos, ex-comandantes da ANPC e *media* apontam recorrentemente a FAP como uma potencial solução. Esta é, atualmente, a entidade estatal com maior capacidade, *know-how* e rotina de trabalho com meios aéreos. As horas de voo (HV) representativas do combate a incêndios são aproximadamente 30% do total das HV da FAP, visível na Tabela B.VI. Considerando, a redução de HV da FAP na última década, se as HV do combate a incêndios forem adicionadas à estrutura da FAP, não se dará um aumento significativo na estrutura organizacional da mesma. Deste modo, a FAP terá capacidade para realizar mais missões, no âmbito do interesse nacional, com o respetivo aumento de dotação orçamental. Tendo em conta economias de escala, é possível reduzir o custo médio das HV, se estas horas forem consideradas juntamente numa única entidade, resultando na redução de custos administrativos, operacionais, manutenção e outros.

De acordo com a Lei de Bases da Proteção Civil, Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto, as Forças Armadas são agentes de proteção civil, bem como bombeiros, forças de segurança e outros, de acordo com as suas atribuições próprias. Uma das formas de colaboração das Forças Armadas é a participação em ações de prevenção, combate e vigilância em incêndios florestais. As forças e elementos militares são empregues sob a sua própria cadeia de comando, sem prejuízo da necessária articulação com os comandos operacionais da estrutura de proteção civil.

Existindo alguma entidade estatal para operar os meios aéreos do dispositivo, a FAP aparenta ser uma opção. Reforçando que independentemente da entidade que opere e assegure a manutenção das aeronaves, será sempre o MAI, através da ANPC, a entidade gestora, bem como a que define e atribui missões e supervisiona as operações.

### **3. Modelo para a Minimização de Custos do Dispositivo**

#### **Aéreo de Combate a Incêndios**

As secções anteriores permitiram contextualizar, motivar e apresentar o trabalho. Nesta secção desenvolve-se um modelo que pretende cumprir o objetivo proposto.

A investigação operacional pode ser encarada como uma técnica crucial no apoio à gestão, possibilitando um melhoramento contínuo nos processos estratégicos de planeamento e decisão, baseando-se em métodos matemáticos para a resolução de problemas. A modelação de um sistema complexo leva a um aprofundamento das questões relacionadas com esse sistema, permitindo, por exemplo, a identificação de processos internos, de parametrização de dados necessários, de forma a possibilitar a geração de soluções admissíveis (Hillier & Lieberman, 2010).

Segundo Hillier & Lieberman (2010), a resolução de problemas com o apoio da investigação operacional desenrola-se nos seis passos seguintes:

- A) Definição do problema e recolha de dados;
- B) Formulação do modelo matemático;
- C) Desenvolvimento computacional;
- D) Teste do modelo;
- E) Preparação para aplicar o modelo;
- F) Implementação.

Os últimos dois passos (E e F) não são realizados neste trabalho devido a constrangimentos e restrições relacionadas com o objetivo do projeto, com a limitação do tempo de desenvolvimento e com a necessidade de integração dos decisores (governo), pois é essencial a sua participação na aplicação do modelo e implementação do estudo.

### *3.1. Definição do Problema e Recolha de Dados*

Para a definição e formulação do problema é necessário considerar inúmeros fatores inerentes ao tema que permitam facilitar a compreensão e consequente análise de resultados. Relativamente à obtenção de dados é necessário recolher informação com o objetivo de introduzir dados concretos no modelo (Hillier & Lieberman, 2010).

A ANPC define uma estratégia onde é levantada a necessidade de um determinado conjunto de meios aéreos para o combate aos incêndios, ficando a decisão da forma de aquisição no governo. Este modelo de otimização irá, assim, servir a vertente da implementação, não tendo em conta a localização dos meios, mas apenas a alocação do número e tipo de meios, com as várias opções de aquisição, de forma a minimizar o custo da capacidade de resposta do dispositivo a longo prazo.

### *3.2. Formulação do Modelo Matemático*

Os modelos matemáticos são vulgarmente utilizados para a representação de sistemas reais. Assim, é definido um sistema de (in)equações e de expressões matemáticas que descrevem, tão quanto seja possível, o problema real (Hillier & Lieberman, 2010).

A Programação Linear Inteira (PLI) é constantemente utilizada para a modelação matemática de problemas, com recurso a funções lineares, quer na descrição do objetivo como nas restrições. A alocação de recursos escassos a atividades representa um dos tipos de problemas mais comuns que a PLI pode ajudar a resolver (Hillier & Lieberman, 2010). O problema em estudo, como se verá, pode ser resolvido pelo modelo matemático que aqui se apresenta. Neste pretende-se minimizar, mantendo a estratégia atual da ANPC, o custo de aquisição do dispositivo aéreo de combate a incêndios.

Considere-se, então, a seguinte notação para o problema. As constantes incluídas quer nas restrições quer na função objetivo são os dados do modelo. Os tipos de meios aéreos

“j” são as variadas tipologias de classificação definidas pela ANPC no seu manual de operações aéreas (2009). A quantidade de meios “j” necessários para completar o dispositivo aéreo é representada por “ $L_j$ ”. Este valor também é definido pela ANPC, na DON nº2 (2017) e varia consoante a estratégia (e.g. longo prazo) de combate utilizada.

A opção de aquisição de meios para disponibilizar à ANPC, na utilização do dispositivo aéreo de combate a incêndios, é representada por “s”. Com a existência de várias opções de aquisição, já referidas no ponto 1.4, este parâmetro deve ser definido pelo próprio utilizador do modelo, i.e., o agente decisor. Os custos anuais de operação diferem com o tipo de meio e de opção de aquisição, representando-se por “ $CA_{js}^k$ ”. Este custo é a soma de três componentes: A) o custo fixo anual de operar “k” meios de tipo “j” adquiridos pela opção “s”, identificado por “ $CF_{js}^k$ ”; B) o custo variável anual de operar “k” meios de tipo “j” adquiridos pela opção “s”, identificado por “ $CV_{js}^k$ ”; e C) o valor da depreciação de ativos com “k” meios de tipo “j” adquiridos pela opção “s”, “ $D_{js}^k$ ”. Note-se que  $CA_{js}^k = CF_{js}^k + CV_{js}^k + D_{js}^k$ . As entidades responsáveis têm liberdade para determinar os fatores incorporantes em cada uma das componentes referidas.

Há ainda que considerar um investimento inicial “ $I_{js}^k$ ” associado a “k” meios de tipo “j” adquiridos pela opção “s”, que incorpora a compra de ativos, despesas de aquisição, entre outras. Para cada tipo e número de meios, deverá ser fornecido um valor de “ $I_{js}^k$ ” e um de “ $CA_{js}^k$ ”. Estes valores (orçamentados) devem ser o mais próximo possível da realidade, e fornecidos pela entidade responsável da respetiva opção de aquisição.

A atualização dos valores deve ser apenas para os parâmetros “ $CA_{js}^k$ ”, visto que o investimento, “ $I_{js}^k$ ”, se realiza no ano zero. A atualização de uma renda perpétua é calculada através do valor de “ $CA_{js}^k$ ”, a dividir pelo parâmetro financeiro “r”.



Definem-se os parâmetros do modelo:

$j$  – Tipo de meio  $(j = 1, \dots, J)$

$J$  – Número de tipos de meios

$L_j$  – Número total de meios do tipo  $j$   $(j = 1, \dots, J)$

$K$  – Número máximo de meios de cada tipo  $j$  que é possível utilizar  $(K > L_j, \forall j)$

$s$  – Opção de aquisição  $(s = 1, \dots, S)$

$S$  – Número de opções de aquisição

$CF_{js}^k$  – Custo fixo de operação anual, se utilizados “ $k$ ” meios do tipo “ $j$ ” da opção “ $s$ ”

$CV_{js}^k$  – Custo variável de operação anual, se utilizados “ $k$ ” meios do tipo “ $j$ ” da opção “ $s$ ”

$D_{js}^k$  – Depreciação dos ativos, se utilizados “ $k$ ” meios do tipo “ $j$ ” da opção “ $s$ ”

$CA_{js}^k$  – Custo anual de “ $k$ ” meios do tipo “ $j$ ”, da opção “ $s$ ”

$I_{js}^k$  – Custo do investimento inicial, com “ $k$ ” meios, do tipo “ $j$ ”, da opção “ $s$ ”

$r$  – Taxa de atualização  $(r \in [0,1])$

As decisões quantificadas, ou seja, os valores determinados pela resolução do problema, são representadas pelas variáveis de decisão:

$x_s^j$  – Número de meios do tipo “ $j$ ”, através da opção “ $s$ ”  $(j = 1, \dots, J); (s = 1, \dots, S)$

$$z_{js}^k = \begin{cases} 1 & \text{se } x_s^j = k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (k = 0, \dots, K)$$

Pretende-se, com a resolução do modelo, identificar o valor para as variáveis de decisão “ $x_s^j$ ”. Determina-se assim o número de meios de cada tipo “ $j$ ”, a integrar o dispositivo, através da opção de aquisição “ $s$ ”.

As variáveis binárias “ $z_{js}^k$ ” foram definidas para a contabilização correta dos custos através de uma função linear. De facto, o custo total de adquirir, pela opção “ $s$ ”, “ $k$ ” meios de tipo “ $j$ ” é dado por  $I_{js}^k + \frac{CA_{js}^k}{r} = I_{js}^k + \frac{CF_{js}^k + CV_{js}^k + D_{js}^k}{r}$ . Assim,

$$\text{se } x_s^j = k \Rightarrow z_{js}^k = 1 \quad j = 1, \dots, J; s = 1, \dots, S; k = 0, 1, \dots, K$$

e o custo é corretamente representado por  $\left(I_{js}^k + \frac{CA_{js}^k}{r}\right) \times z_{js}^k$ . Note-se que há que impor que, para cada tipo de meio e opção, apenas um  $z_{js}^k$  possa ser igual a um.

O modelo de PLI é:

$$\text{Min } f(\text{VAL}) = \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J \sum_{k=0}^{L_j} \left( \left( I_{js}^k + \frac{CA_{js}^k}{r} \right) \times z_{js}^k \right) \quad (1)$$

$$s. a.: \begin{cases} \sum_{s=1}^S x_s^j \geq L_j; & j = 1, \dots, J & (2) \\ x_s^j = \sum_{k=0}^K k z_{js}^k; & j = 1, \dots, J; s = 1, \dots, S & (3) \\ \sum_{k=0}^K z_{js}^k = 1; & j = 1, \dots, J; s = 1, \dots, S & (4) \\ z_{js}^k \in \{0, 1\}; & j = 1, \dots, J; s = 1, \dots, S; k = 0, 1, \dots, K & (5) \\ x_s^j \in \mathbb{N}_0; & j = 1, \dots, J; s = 1, \dots, S & (6) \end{cases}$$

A função objetivo (1) representa a medida de desempenho, neste caso, o valor atualizado (renda perpétua) da soma dos investimentos iniciais e dos custos anuais, incluindo o valor da depreciação dos meios de todos os tipos e opções de aquisição. Pretende-se minimizar este valor.

As restrições (2) exigem um número mínimo para cada tipo “ $j$ ”, através das diversas opções “ $s$ ”. Este valor mínimo, “ $L_j$ ”, é, definido pela ANPC, de forma a cumprir a missão.

As restrições (3) e (4) relacionam as variáveis que representam o número de meios, “ $x_s^j$ ”, com as variáveis binárias, de forma a conseguir representar a função objetivo por uma função linear, contabilizando o custo correspondente.

As restrições (5) e (6) definem o domínio das variáveis.

Recorrendo ao modelo matemático descrito podem determinar-se os valores das variáveis de decisão de forma a minimizar a função objetivo, sujeita às restrições especificadas. Com a construção deste modelo obtém-se a resposta à questão 1, em que o modelo em PLI representa uma idealização do problema deste trabalho.

### 3.3. *Desenvolvimento Computacional*

A fase seguinte à formulação matemática é o desenvolvimento de um procedimento (recorrendo ao computador) para gerar soluções. A resolução de modelos matemáticos pode ser complicada e morosa, sendo assim necessário recorrer a ferramentas computacionais (Hillier & Lieberman, 2010). A procura da solução ótima, é possível através da aplicação de algoritmos simples, usando um *software* disponível no mercado (*open-source*), *Microsoft Excel 2016* e o *Visual Basic for Applications* com o suplemento *OpenSolver 2.8.6*. (Mason, 2017).

A infraestrutura computacional utilizada foi criada especificamente para resolver problemas de PLI, escrita em linguagem *C++*, resultante de um projeto liderado pelo investigador John Forrest (2005). Conforme Tabela C.I, foi possível iniciar o desenvolvimento do modelo no *Microsoft Excel 2016*. Esta informação permite responder à questão 2, mostrando a existência de uma *open-source* capaz de resolver o modelo.

### 3.4. Teste do Modelo

Na primeira versão do programa em computador, no caso *Microsoft Excel 2016* e suplemento *OpenSolver 2.8.6.*, surgiram inevitavelmente muitos *bugs*. A sua correção levou ao desenvolvimento do modelo atual.

#### 3.4.1. Dados

Os dados foram recolhidos da DON nº2 (ANPC, 2017) e do manual de operação de meios aéreos (ANPC, 2009), onde estão descritas as necessidades da ANPC. As opções de aquisição utilizadas foram cinco: 1) Aluguer; 2) Compra & FAP; 3) Compra & ANPC; 4); Compra & Entidade Privada; e 5) “outras”. Os dados recolhidos, incluindo os tipos de meios “ $j$ ” e os números respetivos de “ $L_j$ ”, são visíveis na Tabela III. De salientar que os parâmetros “ $I_{js}^k$ ” e “ $CA_{js}^k$ ” considerados, na Tabela C.II e Tabela C.III, não são reais. Os valores reais que tornariam a solução do modelo mais válida terão de ser orçamentados pelas respetivas organizações. Tal também é válido para os valores que compõem estes parâmetros, como custos fixos, variáveis e depreciações. O parâmetro financeiro, “ $r$ ”, que é utilizado é 4,22%. Valor obtido através da média mensal dos últimos cinco anos da taxa de rendibilidade de longo prazo, obrigações do tesouro a dez anos (Banco de Portugal, 2017).

Tabela III – Valores utilizados para os parâmetros “ $s$ ”, “ $j$ ” e “ $L_j$ ”

$s$		$j$		$L_j$
1	Aluguer	1	HEBL	25
2	Compra & FAP	2	HEBM	8
3	Compra & ANPC	3	HEBP	6
4	Compra & Entidade Privada	4	AVBL	0
5	Outra	5	AVBM	6
		6	AVBP	2
		7	HEAC	1
		8	ARCO	0

### 3.4.2. Teste

“O processo de testes e aperfeiçoamento para aumentar a validade é comumente referido como validação de modelo” (Hillier & Lieberman, 2010).

O modelo foi construído num ficheiro *Excel*, limitado aos parâmetros definidos na Tabela III. Salienta-se que estes valores são facilmente alterados, pela adaptação do próprio ficheiro, visto não se ter encontrado um limite físico de variáveis e dimensões.

Transpondo o modelo matemático para o *OpenSolver 2.8.6.*, obtém-se o modelo computacional representado na Figura C.1. O tempo de obtenção de uma solução ótima (com 0% tolerância) foi de 0,13 segundos, para a instância considerada que envolve 2.040 variáveis. Verifica-se assim que, para instâncias destas dimensões, se torna possível a obtenção de solução ótima, em pouco tempo computacional.

Inicialmente foi simulada a existência de uma única opção de aquisição, num primeiro cenário, utilizando os dados dos contratos atuais para obter os valores de “ $CA_{js}^k$ ”, respetivos à opção ( $s = 1$ ), conforme Tabela I, e obteve-se a solução de valor 838.651.769,35€ (ver Tabela C.IV). Este valor coincide com o valor de atualização de uma renda perpétua de 35.391.104,67€ a uma taxa de 4,22%.

O modelo desenhado permite gerar soluções admissíveis. A solução ótima obtida pelo modelo apresenta-se na Tabela C.V. Note-se que a solução gerada pode ser considerada tão mais representativa da melhor solução a implementar na prática quanto mais fiáveis forem os parâmetros, nomeadamente os valores de “ $I_{js}^k$ ”, “ $CA_{js}^k$ ” e “ $r$ ”. Estes testes prévios indicam que o modelo pode ser utilizado de forma confiável para os parâmetros considerados, tornando-se assim, um modelo válido em termos conceptuais. No entanto, para a validação efetiva do modelo, aplicável ao problema em estudo, seria necessário recorrer aos decisores e adaptar o modelo às medidas e aos parâmetros à escala real.

### 3.5. Resultados do Modelo

A resolução do modelo escrito em PLI permite a identificação de uma solução ótima. Esta foi gerada com base em parâmetros que se espera poderem representar a realidade, não estando disponíveis os parâmetros reais. Reconhecendo que as soluções encontradas são para a instância usada, uma idealização e não uma representação exata da realidade, não pode existir a garantia utópica de que a solução obtida se comprovará a melhor solução para implementar na prática (Hillier & Lieberman, 2010).

Com base no modelo desenvolvido para os parâmetros considerados foi possível chegar a uma solução ótima, que é apresentada na Tabela C.VI. Não foi necessário recorrer a procedimentos heurísticos para obtenção de soluções sub-ótimas.

A solução gerada propõe:

- A) O aluguer ( $s = 1$ ) de 28 HEBL, oito HEBM, dois AVBP, um HEAC, sem investimento inicial e um custo anual de 27.870.042,33€.
- B) A Compra & FAP ( $s = 2$ ) de três HEBP e de seis AVBM, com um valor de investimento total de 19.767.751,80€ e um custo anual de 6.010.168,68€.
- C) As restantes opções de aquisição ( $s = 3$ ;  $s = 4$ ;  $s = 5$ ) não são utilizadas.
- D) Um investimento total de 19.767.751,80€ e um custo anual de 33.880.211,01€.

Em suma, o dispositivo aéreo de combate a incêndios apresenta um total de 48 meios, indo ao encontro das necessidades da ANPC, contabilização apresentada na Tabela C.V. Relativamente à questão 3, é possível dizer que a solução ótima encontrada é representativa dos dados e parâmetros utilizados, e assim a solução final apenas é ótima para o teste realizado. Na realidade, com os dados e parâmetros reais, é provável que a solução ótima seja diferente.

A utilização do modelo permite ainda outro tipo de considerações:

- A) Indica a liquidez necessária para realizar o investimento no ano zero. Os investimentos em anos subsequentes estão refletidos nos custos anuais com o valor das depreciações.
- B) Verificar se os valores de mercado estão a ser justos ou inflacionados, ajudando a perceber se determinados tipos de meios ficam tendencialmente mais dispendiosos, com uma determinada opção de aquisição. Torna-se assim possível procurar outras soluções ou retirar ilações dos motivos que originam tais factos (por exemplo, valores tendenciosos, ou pouca eficiência na sua gestão).
- C) Verificar se os gastos ao longo dos anos estão a ser de acordo com o previsto e orçamentado. Proporciona assim um controlo superior ao que hoje existe, sendo uma forma de controlo de gestão.

Existem em geral muitos fatores imponderáveis e incertezas associadas aos problemas práticos. Porém, um modelo bem formulado e testado, permite gerar soluções que tendem a poder ser consideradas uma boa aproximação para o caso real (Hillier & Lieberman, 2010).

## 4. Conclusão

Portugal, por não dispor de quantidade suficiente de meios aéreos de combate a incêndios próprios e permanentes, tem recorrido, sistematicamente, ao seu aluguer, de forma a constituir o respetivo dispositivo de combate (Tribunal de Contas, 2007). Com o intuito de criar condições para a uma possível justificação da opção de aquisição a tomar, foi criado um modelo para minimização de custos do dispositivo aéreo de combate a incêndios. Este modelo conceptual mostra que é possível através da PLI, chegar a um resultado ótimo. Assim, futuramente, poderá ser usado um modelo semelhante, aplicado à escala real ao problema em estudo, conseguindo justificar a opção de compra ou contratualização de meios aéreos de combate, contrariamente ao sistema atual.

Com este trabalho, pretendeu fazer-se uma alocação da quantidade e dos tipos de meios, com as opções de aquisição. É importante referir que esta tarefa é apenas uma pequena parte do que é necessário para toda a implementação do dispositivo.

Relativamente à estrutura do trabalho, esta seguiu a metodologia de Quivy & Campenhoudt (2008) tendo sido inicialmente estabelecido o problema e definido o objetivo do trabalho. De seguida, elaborou-se uma revisão de literatura, de forma obter toda a informação pertinente sobre o tema para futura aplicação na construção do modelo matemático. Com base na abordagem de construção de modelos em investigação operacional de Hillier & Lieberman (2010), procedeu-se à criação do modelo para minimização de custos. Recorreu-se a um *software* disponível no mercado, *Microsoft Excel 2016* e o *Visual Basic for Applications* com o suplemento *OpenSolver 2.8.6.*, para permitir a validação deste modelo em termos conceptuais. Surge assim, uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, de fácil acesso e manuseamento, sendo apenas necessário realizar um levantamento dos dados reais para obtenção da solução ótima.



Conclui-se, desta forma, que foram atingidos com sucesso os objetivos propostos na fase inicial deste projeto. Com a construção deste modelo foi perceptível, em termos conceptuais, que da sua implementação possam advir benefícios económicos para o Estado português. A procura de soluções eficientes permite, por um lado, a existência de poupança, ou investimentos na área, e um maior controlo de gastos, por outro, a existência de uma justificação das decisões tomadas. Sempre com o intuito de ter um sistema de proteção civil mais resiliente e com maiores capacidades de proteção da nação.

Simon (2004), em 1956, combinou as palavras inglesas *satisfactory*, que quer dizer satisfação, e *optimizing*, que quer dizer otimização, criando a palavra “*satisficing*” que define como *good-enough*, e que se traduz como o suficientemente bom. Descreve assim a tendência de os decisores procurarem uma solução que seja suficientemente boa para o problema prático em questão. A distinção entre otimização e “*satisficing*” reflete a diferença entre a teoria e a realidade.

“Otimizar é a ciência do ideal, *satisficing* é a arte fazer o possível” (Eilon, 1972).

### *Limitações e Oportunidades para Investigação Futura*

No futuro existe a necessidade de realizar uma análise mais pormenorizada sobre as recomendações que surgem após as conclusões, em consequência de limitações encontradas e de algumas ideias que foram surgindo durante a realização do trabalho.

Este estudo foi apenas realizado numa ótica de minimização de custos, na vertente de implementação e alocação de recursos, deixando de fora as vertentes de otimização de localização e de despacho.

Devido a vários aspetos e subtilidades de um programa operacional complexo, bem como à dificuldade em coletar dados confiáveis, torna-se inevitável que a primeira versão do modelo possa não ser totalmente replicável ao caso real. Desta forma, antes de usar o

modelo, este deve ser amplamente testado para identificar e corrigir o maior número possível de incongruências. Após os aperfeiçoamentos possíveis e necessários, obtém-se um modelo apto à geração de resultados válidos. Saliente-se que podem, em adaptações deste tipo, permanecer imperfeições no modelo, que poderá ser continuamente melhorado com a implementação de testes práticos.

Com a falta de parâmetros e dados efetivos, a solução final não descreve a situação real para o dispositivo aéreo de combate a incêndios portugueses. Este facto deve-se principalmente à não realização dos dois últimos passos apresentados em Hillier & Lieberman (2010). Será então necessário criar um grupo de trabalho (multidisciplinar e interministerial) que deverá acompanhar todo o processo de preparação para aplicação do modelo e respetiva implementação. Este deverá realizar estudos que visem a obtenção dos valores para as variadas opções, de forma a obter soluções ótimas e de concretização plausível. Este grupo deve ainda dar continuidade, acompanhar e participar no processo organizativo, na aquisição e instalação dos meios aéreos, e assegurar uma ligação com as entidades intervenientes (gestora, operadora, manutenção).

Para um estudo mais completo também se devia abordar a possibilidade de partilha de missões e funções dos meios aéreos nas áreas de defesa nacional e de proteção civil.

Como uma variação a este modelo, é possível acrescentar novas restrições por forma a impor que um determinado número de meios deva obrigatoriamente pertencer ao estado, garantindo um determinado nível de proficiência ao longo de todo o ano. Se resolvido, o novo modelo irá gerar a solução menos dispendiosa, garantindo que o Estado fica com os meios definidos durante todo o ano.

## Referências Bibliográficas

- Alexandrian, D., Esnault, F. & Calabri, G. (1999). Forest fires in the Mediterranean area. *Unasylva* 50 (197), 35–41.
- ANPC (2009). *Manual Operacional, Emprego dos meios Aéreos em Operações de Protecção Civil*, 1ª Ed. Lisboa: ANPC. Disponível em: [https://www.bombeiros.pt/Manual\\_Op\\_Meios\\_Aereos.pdf](https://www.bombeiros.pt/Manual_Op_Meios_Aereos.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2012). *Relatório de Atividades 2011*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_2011.pdf](http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio_de_Atividades_2011.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2013). *Relatório de Atividades 2012*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_2012.pdf](http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio_de_Atividades_2012.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2014a). *Concurso Público Internacional N.º 02\ANPC\2014. Contrato Aquisição dos Serviços de Operação, de Gestão da Continuidade da Aeronavegabilidade e de Manutenção dos Meios Aéreos Pesados Próprios para Missões do Ministério da Administração Interna*. Disponível em: <http://www.base.gov.pt/base2/rest/documentos/92929> [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2014b). *Relatório de Atividades 2013*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_2013.pdf](http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio_de_Atividades_2013.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2015a). *Contrato N.º 60\2015. Aquisição de Serviço de Locação de Duas Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Médios) para missões da ANPC*. Disponível em: <http://www.base.gov.pt/base2/rest/documentos/111629> [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2015b). *Contrato N.º 61\2015. Aquisição de Serviço de Locação de Duas Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Pesados) para missões da ANPC*. Disponível em: <http://www.base.gov.pt/base2/rest/documentos/113061> [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2015c). *Relatório de Atividades 2014*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_2014.pdf](http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/PublishingImages/Paginas/default/Relatorio_de_Atividades_2014.pdf) [Acesso em 2017/10/11].

- ANPC (2016a). *Plano de Atividades 2017*. Disponível em: <http://www.prociv.pt/bk/Documents/Plano%20de%20Atividades%20ANPC%202017.pdf> [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2016b). *Relatório de Atividades 2015*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/Documents/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_2015.pdf](http://www.prociv.pt/bk/PROTECAOCIVIL/INSTRGESCONTR/PLANOSRELATORIOS/Documents/Relatorio_de_Atividades_2015.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- ANPC (2017). *Diretiva Operacional Nacional nº 2 – DECIF, Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais 2017*. Disponível em: [http://www.prociv.pt/pt-pt/PROTECAOCIVIL/LEGISLACAONORMATIVOS/OUTROSNORMATIVOSDIRETIVAS/Documents/DON\\_2\\_DECIF\\_2017.pdf](http://www.prociv.pt/pt-pt/PROTECAOCIVIL/LEGISLACAONORMATIVOS/OUTROSNORMATIVOSDIRETIVAS/Documents/DON_2_DECIF_2017.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Assembleia da República (2015). *Análise da problemática dos incêndios florestais – Relatório do Grupo de Trabalho – Volume I*. Disponível em: [https://www.parlamento.pt/ArquivoDocumentacao/Documents/Fogos\\_Vol\\_1\\_net.pdf](https://www.parlamento.pt/ArquivoDocumentacao/Documents/Fogos_Vol_1_net.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Banco de Portugal (2017). *Boletim Estatístico 9 - 2017*. Disponível em: <https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/beset17.pdf> [Acesso em 2017/10/11].
- CAL FIRE (2017a). *Cal Fire Air Program*. Disponível em: [http://calfire.ca.gov/fire\\_protection/fire\\_protection\\_air\\_program](http://calfire.ca.gov/fire_protection/fire_protection_air_program) [Acesso em 2017/10/11].
- CAL FIRE (2017b). *Aviation Program Overview (February 2017)*. Disponível em: [http://calfire.ca.gov/communications/downloads/fact\\_sheets/aviationOverview.pdf](http://calfire.ca.gov/communications/downloads/fact_sheets/aviationOverview.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Caneco, S. & Monteiro, L. (2017). Entrevista a Ricardo Dias, Presidente da EVERJETS. *Visão*, 1270, 47–51. Disponível em: <http://visao.sapo.pt/revistas/2017-07-05-Edicao-1270> [Acesso em 2017/09/02].
- Castro, C., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L. & Correia, S. (2003). *Combate a incêndios florestais, vol. XIII*, 2ª Ed. Sintra: Gráfica Europam.
- Correia, P. (2016). Governo recua e tira Força Aérea do combate a incêndios. *Diário de Notícias*. Disponível em: <http://www.dn.pt/portugal/interior/governo-recua-e-tira-forca-aerea-do-combate-a-incendios-5219302.html> [Acesso em 2017/10/02].
- Cumming, S. (2005). Effective fire suppression in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 35 (4), 772–786.

- Díaz-Hernández, S., Pascual, I. P. & Martínez, J. I. V. (2007). *Presente y futuro de los medios aéreos de cobertura nacional en la extinción de incendios forestales en España. Protocolos de actuación*. Disponível em: [http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/SESIONES\\_TEMATICAS/ST7/Diaz\\_Pascual\\_SPAIN\\_DGB.pdf](http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/SESIONES_TEMATICAS/ST7/Diaz_Pascual_SPAIN_DGB.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (2016). *Portéger la Forêt Contre les Incendies - Dispositif de Lutte 2016*. Disponível em: [https://www.interieur.gouv.fr/fr/content/download/96015/750622/file/DP\\_FF\\_2016.pdf](https://www.interieur.gouv.fr/fr/content/download/96015/750622/file/DP_FF_2016.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Donovan, G. H. & Rideout, D. B. (2003a). A reformulation of the Cost Plus Net Value Change (C+NVC) model of wildfire economics. *Forest Science* 49 (2), 318–323.
- Donovan, G. H. & Rideout, D. B. (2003b). An integer programming model to optimize resource allocation for wildfire containment. *Forest Science* 49 (2), 331–335.
- Donovan, G. H. (2006). Determining the optimal mix of federal and contract fire crews: A case study from the Pacific Northwest. *Ecological Modelling* 194 (4), 372–378.
- DR (2005). Resolução do Conselho de Ministros n.º 182/2005. *Diário da República – I Série-B, n.º 224, 22 de novembro de 2005*, 6600–6601. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/481904> [Acesso em 2017/10/11].
- DR (2006a). Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho. *Diário da República – I Série-A, n.º 123, 28 de junho de 2006*, 4586–4599. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/358491> [Acesso em 2017/10/11].
- DR (2006b). Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006. *Diário da República – I Série-B, n.º 102, 26 de maio de 2006*, 3511–3559. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/286680> [Acesso em 2017/10/11].
- DR (2014). Decreto-Lei n.º 8/2014, de 17 de janeiro. *Diário da República, 1.ª série, n.º 12, 17 de janeiro de 2014*, 389–391. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/571021> [Acesso em 2017/10/11].
- DR (2015). Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto. *Diário da República, 1.ª série, n.º 149, 3 de agosto de 2015*, 5311–5326. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/69927759> [Acesso em 2017/10/11].
- DR (2016). Decreto-Lei n.º 21/2016, de 24 de maio. *Diário da República, 1.ª série, n.º 100, 24 de maio de 2016*, 1658. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/74526740> [Acesso em 2017/10/11].
- Eilon, S. (1972). Goals and Constraints in Decision-Making. *Operational Research Quarterly (1970-1977)* 23 (1), 3–15.

- EMA (2012a). *Lote 2 do Concurso Público N.º 04\EMA\2012. Contrato de Aquisição dos Serviços de Manutenção e Operação de 3 Aeronaves Ligeiras Próprias*. Disponibilizado por: ANPC.
- EMA (2012b). *Lote 3 do Concurso Público N.º 04\EMA\2012. Contrato de Locação de Vinte e Cinco Aeronaves Complementares (Helicópteros Ligeiros A) e de Prestação dos correspondentes Serviços de Manutenção e de Operação*. Disponibilizado por: ANPC.
- EMA (2012c). *Lote 4 do Concurso Público N.º 04\EMA\2012. Contrato de Locação de Oito Aeronaves Complementares (Helicópteros Médios) e de Prestação dos correspondentes Serviços de Manutenção e de Operação*. Disponibilizado por: ANPC.
- EMA (2012d). *Lote 5 do Concurso Público N.º 04\EMA\2012. Contrato de Locação de Quatro Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Médios) e de Prestação dos correspondentes Serviços de Manutenção e de Operação*. Disponibilizado por: ANPC.
- European Environment Agency (2012). *Corine Land Cover types - 2012*. Disponível em: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012> [Acesso em 2017/10/11].
- European Forest Fire Information System (2016). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2015*. Editado por San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Boccacci, F., Di Leo, M., Pérez, J. L. & Schulte, E. Disponível em: [http://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms\\_page\\_media/40/Forest\\_fires\\_in\\_Europe\\_Middle\\_east\\_and\\_North\\_Africa\\_2015\\_final\\_pdf\\_JkX4Y13.pdf](http://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/40/Forest_fires_in_Europe_Middle_east_and_North_Africa_2015_final_pdf_JkX4Y13.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- FAP & ANPC (2017). *Acordo Técnico entre a ANPC e a FAP. Sistema de Armas AL-III para Coordenação de Meios Aéreos no Âmbito do DECIF 2017*. Disponibilizado por: ANPC.
- FAP (2010). *Anuário Estatístico da FAP - 2009*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2011). *Anuário Estatístico da FAP - 2010*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2012). *Anuário Estatístico da FAP - 2011*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2013). *Anuário Estatístico da FAP - 2012*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2014). *Anuário Estatístico da FAP - 2013*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2015). *Anuário Estatístico da FAP - 2014*. Disponível em: Intranet FAP.
- FAP (2016). *Anuário Estatístico da FAP - 2015*. Disponível em: Intranet FAP.
- Forrest, J. & Lougee-Heimer, R. (2005). *CBC User Guide*. Disponível em: <https://www.coin-or.org/Cbc/cbcuserguide.html> [Acesso em 2017/10/11].
- Haight, R. G. & Fried, J. S. (2007). Deploying wildland fire suppression resources with a scenario-based standard response model. *Infor* 45 (I), 31–39.

- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2010). Overview of the Operations Research Modeling Approach. In: Hillier, F. S. & Lieberman, G. J., (Eds.) *Introduction to Operations Research*, 7ª Ed. New York: McGraw-Hill, pp. 7–23.
- ICNF (2013). *6º Inventário Florestal Nacional – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010*. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/ifn6-res-prelimv1-1> [Acesso em 2017/10/11].
- ICNF (2016). *Relatório Anual de Áreas Ardidadas e Incêndios Florestais em Portugal Continental - 2015*. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dpci/Resource/doc/rel/2015/ICNF-Relatorio-Anual-Inc-2015-v2017mar23.pdf> [Acesso em 2017/10/11].
- Instituto Superior de Agronomia (2005). *Proposta técnica para o plano nacional de defesa da floresta contra incêndios – relatório final*. Disponível em: [http://www.isa.utl.pt/pndfci/Proposta\\_Tecnica\\_PNDFCI.pdf](http://www.isa.utl.pt/pndfci/Proposta_Tecnica_PNDFCI.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Islam, K. M. S. (1998). *Spatial Dynamic Queueing Models for the Daily Deployment of Airtankers for Forest Fire Control*. University of Toronto.
- Islam, K. M. S., Martell, D. L. & Posner, M. J. (2009). A Time-Dependent Spatial Queueing Model for the Daily Deployment of Airtankers for Forest Fire Control. *Infor* 47 (4), 319–333.
- MacLellan, J. I. & Martell, D. L. (1996). Basing airtankers for forest fire control in Ontario. *Operations Research* 44 (5), 677–686.
- Martell, D. L. (2007). FOREST FIRE MANAGEMENT - Current practices and new challenges for operational researchers. In: Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T. & Epstein, R., (Eds.) *Handbook of Operations Research in Natural Resources*, New York: Springer, pp. 489–509.
- Mason, A. (2017). *OpenSolver*. Disponível em: <https://opensolver.org/> [Acesso em 2017/10/11].
- McCarthy, G. (2003). Effectiveness of aircraft operations by the Department of Natural Resources and Environment and The Country Fire Authority 1997-98. *Fire Management Research Report* N.º 2.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2007). *ORDEN DEF/1766/2007, de 13 de junio - el encuadramiento, organización y funcionamiento de la Unidad Militar de Emergencias*. Boletín Oficial del Estado n.º 145, 26438–26442. Disponível em: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/06/18/pdfs/A26438-26442.pdf> [Acesso em 2017/10/11].

- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2016). *Los incendios forestales en España.*, *INCENDIOS FORESTALES 01/01/2016 - 31/12/2016 AVANCE INFORMATIVO*. Disponível em: [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/iiff\\_2016\\_def\\_tcm7-454599.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/iiff_2016_def_tcm7-454599.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Nieto, J. (2016). El ‘cártel del fuego’ usó espías para amañar concursos en Europa. *El mundo*. Disponível em: <http://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/2016/08/28/57c1bedf46163f57548b45bc.html> [Acesso em 2017/10/11].
- Nunes, A., Lourenço, L., Bento-Gonçalves, A. & Vieira, A. (2013). Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis. *Cadernos de Geografia* 32, 133–143.
- Oliveira, N. G. (2010). Quanto vale a floresta portuguesa?. *Parques e Vida Selvagem* 33, 4-6. Disponível em: [http://www.parquebiologico.pt/userdata/revistas/33\\_PVS\\_Verao-2010.pdf](http://www.parquebiologico.pt/userdata/revistas/33_PVS_Verao-2010.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Pacheco, A. P., Claro, J. & Oliveira, T. (2014). Simulation analysis of the impact of ignitions, rekindles, and false alarms on forest fire suppression. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 45–55.
- PEUCH, C. E. (2005). Firefighting Safety in France. Eighth International Wildland Fire Safety Summit. Disponível em: [http://www.iawfonline.org/summit/2005%20Presentations/2005\\_pdf/Peuch.pdf](http://www.iawfonline.org/summit/2005%20Presentations/2005_pdf/Peuch.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- Plucinski, M., Gould, J., McCarthy, G. & Hollis, J. (2007). The Effectiveness and Efficiency of Aerial Firefighting in Australia Part 1. *Bushfire Cooperative Research Center Technical Report N.ºA0701*.
- Quince, A. F. (2009). *Performance measures for forest fire management organizations: Evaluating and enhancing initial attack operations in the province of Alberta’s Boreal Natural Region*. University of Toronto.
- Quivy, R. & Campenhoudt, L. (2008). *Manual de Investigação em Ciências Sociais*, 12ª Ed. Lisboa: Gradiva.
- Rahn, M. (2010). Initial Attack Effectiveness: Wildfire Staffing Study - Final Report. *Wildfire Research Report N.º 2*.
- Restas, A. (2014). Common analysis of the costs and effectiveness of extinguishing materials and aerial firefighting. In Viegas, D. X., (Eds.) *Advances in forest fire research*, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 1799–1813.
- Simon, H. A. (2004). *Models of a man: Essays in memory of Herbert A. Simon*. Editado por Augier, M. & March, J. G.. Massachusetts: MIT Press.



- Snyder, S. A., Stockmann, K. D. & Morris, G. E. (2012). An optimization modeling approach to awarding large fire support wildfire helicopter contracts from the US Forest Service. *Forest Science* 58 (2), 130–138.
- Tribunal de Contas (2007). *Relatório N.º 49/07 - 2.ª S PROC.º N.º 51/06 - AUDIT: Contratação de Meios Aéreos para o Combate a Incêndios Florestais*. Disponível em: [http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel\\_auditoria/2007/audit-dgtc-rel049-2007-2s.pdf](http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel_auditoria/2007/audit-dgtc-rel049-2007-2s.pdf) [Acesso em 2017/10/11].
- U. S. Forest Service (2017) *Planes*. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/managing-land/fire/planes> [Acesso em 2017/10/11].
- Unidad Militar de Emergencias (2017). *Aeronaves da Unidad Militar de Emergencias*. Disponível em: [http://www.ume.mde.es/LA\\_UME\\_POR\\_DENTRO/medios/aereos/index.html](http://www.ume.mde.es/LA_UME_POR_DENTRO/medios/aereos/index.html) [Acesso em 2017/10/11].
- Viegas, D. X., Rossa, C. & Ribeiro, L. M. (2011). *Incêndios Florestais*, Lisboa: Verlag Dashöfe.

## Anexo A - Metodologia

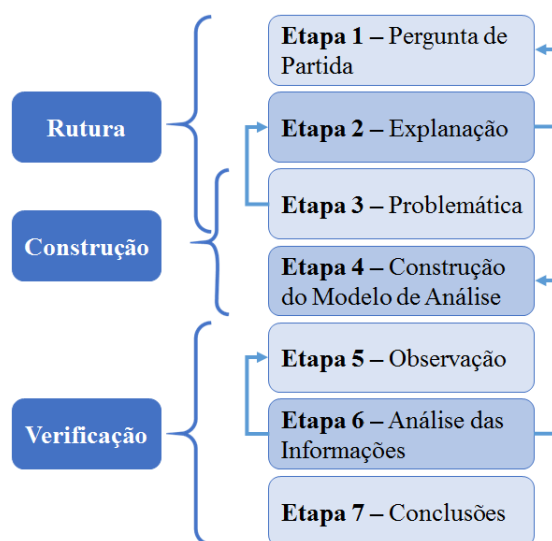


Figura A.1– Metodologia de investigação (Quivy & Campenhoudt, 2008)

Etapa 1 – Formulação de uma pergunta unívoca, tão concisa quanto possível, tornando-se o fio condutor do trabalho, referida no ponto 1.4 Problemática.

Etapa 2 – Estudo do tema, através das operações de leitura e métodos de exploração complementares que permitam o desenvolvimento de uma problemática de investigação, documentada na secção 2 Revisão de Literatura.

Etapa 3 – Abordagem adotada para formular uma pergunta de partida. Consiste na formulação dos principais pontos de referência teóricos da investigação, inserida no ponto 1.4 Problemática.

Etapa 4 – Recorrendo aos dados observados, de forma a ser desenvolvido um sistema conceptual coerente e o desenvolvimento de hipóteses, que apresentam possíveis respostas, visível na secção 3 Modelo para a Minimização de Custos do Dispositivo Aéreo de Combate a Incêndios. Ainda é utilizada a visão geral da abordagem de modelagem de investigação operacional de Hillier & Lieberman (2010), como complemento.

Etapa 5 – Confrontação dos dados observáveis com os factos, testando o modelo de análise construído na etapa anterior, no ponto 3.4 Teste do Modelo.

Etapa 6 – Realiza-se a análise dos factos e dados recolhidos, permitindo responder às questões formuladas, visível no ponto 3.5 Resultados do Modelo.

Etapa 7 – Uma retrospectiva, mencionando inovações ao conhecimento, referindo algumas considerações e limitações de ordem prática, na secção 4 Conclusão.

## Anexo B - Dados

Tabela B.I – Uso dos solos em Portugal (ICNF, 2013)

Usos do Solo	2010	
	Hectares	Percentagem
Floresta	3.154.800	35.41%
Agricultura	2.114.278	23.73%
Matos e Pastagens	2.853.229	32.03%
Águas Interiores	182.568	2.05%
Urbano	425.526	4.78%
Improdutivos	178.492	2.00%
<b>Total (Portugal Continental)</b>	<b>8.908.893</b>	<b>100.00%</b>



Figura B.1 – *Corine Land Cover*, Portugal (European Environment Agency, 2012)

Tabela B.II – Número de incêndios e área ardida (EFFIS, 2016)

Nº de Incêndios	Portugal	Espanha	França	Itália	Grécia <sup>7</sup>	Total
2015	15.851	11.928	4.440	5.442	510	38.171
	42%	31%	12%	14%	1%	100%
Média (2000-2009)	24.949	18.369	4.418	7.259	1.695	56.690
Média (2010-2015)	18.439	12.994	3.587	5.492	1.025	41.536
Total (1980-2015)	656.437	538.318	170.177	332.929	53.206	1.751.067
Área Ardida (ha)	Portugal	Espanha	França	Itália	Grécia	Total
2015	64.443	103.200	11.160	41.511	7.096	227.410
	28%	45%	5%	18%	3%	100%
Média (2000-2009)	150.101	127.229	22.362	83.878	49.238	432.809
Média (2010-2015)	92.377	98.660	8.947	59.345	29.609	288.937
Total (1980-2015)	3.812.148	5.925.323	896.216	3.852.072	1.635.277	16.121.036

Tabela B.III – Área ardida e valor florestal perdido com incêndios (ICNF, 2016)

Ano	Hectares	Perdas de valor
2005	339.089	756.746.827,03 €
2006	76.058	132.001.898,42 €
2007	32.595	37.109.004,36 €
2008	17.564	22.371.685,45 €
2009	87.420	86.259.213,83 €
2010	133.090	183.911.947,14 €
2011	73.829	80.557.921,01 €
2012	110.232	196.227.660,43 €
2013	152.756	208.337.839,76 €
2014	19.929	27.503.168,95 €
2015	64.443	119.406.200,00 €
2016 <sup>8</sup>	160.490	N/D
2017 <sup>9</sup>	215.988	N/D
Média	114.114	168.221.215,13 €

<sup>7</sup> Grécia com dados incompletos desde 2009<sup>8</sup> Valores de 1 de janeiro de 2016 a 15 de outubro de 2016<sup>9</sup> Valores de 1 de janeiro de 2017 a 30 de setembro de 2017

Tabela B.IV<sup>10</sup> – Dispositivo aéreo, segundo a DON nº2, (ANPC, 2017)

Fase/Meios	Alfa (01 janeiro a 14 maio)	Bravo (15 maio a 30 junho)	Charlie (1 julho a 30 setembro)	Delta (1 a 31 outubro)	Echo (1 novembro a 31 dezembro)
HEBL	0	3 a partir de 15 MAI	28	3 até 15 OUT	0
		3 a partir de 01 JUN			
		7 a partir de 15 JUN			
HEBM	0	8 a partir de 15 JUN	8	8 até 15 OUT	0
HEBP	HESA	3	3	3 até 15 OUT	HESA
AVBL	0	0	0	0	0
AVBM	0	2 a partir de 01 JUN	6	4 até 05 OUT	0
		4 a partir de 20 JUN		2 até 31 OUT	
AVBP	0	2 a partir de 15 JUN	2	2 até 15 OUT	0
HEAC	0	0	1 (FAP)	0	0

<sup>10</sup> Este dispositivo corresponde ao atual, não querendo dizer que seja o ideal, é referência como objetivo.

Tabela B.V – Resumo dos contratos em vigor (EMA, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d; ANPC, 2014a, 2015a, 2015b; FAP &amp; ANPC, 2017)

	Referência	Quantidade	Tipo	Entidade Adjudicatária	Valor	Duração	Horas
Meios Próprios	Contrato Aquisição dos Serviços de Operação, de Gestão da Continuidade da Aeronavegabilidade e de Manutenção dos Meios Aéreos Pesados Próprios para Missões do MAI (Concurso Público Internacional N.º 02\ANPC\2014)	3	HEBP	EVERJETS - Aviação Executiva, S.A.	46,077,120.00€	4 anos	8640
	Contrato de Aquisição dos Serviços de Manutenção e Operação de 3 Aeronaves Ligeiras Próprias (Lote 2 do Concurso Público N.º 04/EMA/2012)	3	HEBL	HELIPORTUGAL - INAER - HELIBRAVO - HTA em consórcio	16,236,000.00€	5 anos	7500
	ACORDO ENTRE A ANPC E FAP	1	HEAC	FAP	268,133.00€	1 anos	300
Meios Alugados	Aquisição de Serviço de Locação de Duas Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Pesados) para missões da ANPC (Contrato N.º 61\2015)	2	AVBP	INAER PT – INAER ES em consórcio	11,158,000.00€	3 anos	900
	Aquisição de Serviço de Locação de Duas Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Médios) para missões da ANPC (Contrato N.º 60\2015)	2	AVBM	AGRO-MONTIAR, Sociedade de Serviços Aéreos para Agricultura e Fogos Unipessoal, LDA	4,979,875.00€	3 anos	1350
	Contrato de Locação de Quatro Aeronaves Complementares (Aviões Anfíbios Médios) e de Prestação dos respetivos Serviços de Manutenção e de Operação (Lote 5 do Concurso Público N.º 04/EMA/2012)	4	AVBM	Aviación Agrícola de Levante, S.A.	13,675,000.00€	5 anos	3000
	Contrato de Locação de Oito Aeronaves Complementares (Helicópteros Médios) e de Prestação dos respetivos Serviços de Manutenção e de Operação (Lote 4 do Concurso Público N.º 04/EMA/2012)	8	HEBM	HELIPORTUGAL - INAER - HELIBRAVO - HTA em consórcio	21,288,000.00€	5 anos	6000
	Contrato de Locação de Vinte e Cinco Aeronaves Complementares (Helicópteros Ligeiros A) e de Prestação dos respetivos Serviços de Manutenção e de Operação (Lote 3 do Concurso Público N.º 04/EMA/2012)	25	HEBL	EVERJETS - Aviação Executiva, S.A.	39,923,000.00€	5 anos	14255

Tabela B.VI – Número de horas de voo e missões (FAP, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014,  
2015, 2016; ANPC, 2012, 2013, 2014b, 2015c, 2016b)

Ano	ANPC			FAP	% total
	Nº Meios	Nº Missões	HV	HV	
2009	56	9.624	6.974,00	22.258,58	31,33%
2010	56	10.778	7.983,00	23.553,17	33,89%
2011	42	6.500	5.165,00	19.494,08	26,50%
2012	44	4.812	4.438,00	15.140,42	29,31%
2013	47	6.887	7.112,00	16.456,00	43,22%
2014	49	2.552	1.921,00	17.748,58	10,82%
2015	49	5.456	5.233,00	18.189,00	28,77%
					<b>29,12%</b>

### Anexo C - Modelo

Tabela C.I – Fase inicial do desenvolvimento computacional

k	s=1 j=1			s=2 j=1			s=1 j=2			s=2 j=2		
	I_COMP	C_COMP	z	I_ALU	C_ALU	z	I_COMP	C_COMP	z	I_ALU	C_ALU	z
1	1,000.00 €	100.00 €	0	10.00 €	1,000.00 €	0	1,000.00 €	100.00 €	0	10.00 €	1,000.00 €	0
2	2,000.00 €	200.00 €	0	20.00 €	2,000.00 €	0	2,000.00 €	200.00 €	0	20.00 €	2,000.00 €	0
3	3,000.00 €	300.00 €	0	30.00 €	3,000.00 €	1	3,000.00 €	300.00 €	0	30.00 €	3,000.00 €	1
4	4,000.00 €	400.00 €	0	40.00 €	7,000.00 €	0	4,000.00 €	400.00 €	0	40.00 €	7,000.00 €	0
5	5,000.00 €	500.00 €	0	50.00 €	8,000.00 €	0	5,000.00 €	500.00 €	0	50.00 €	8,000.00 €	0
6	6,000.00 €	600.00 €	0	60.00 €	9,000.00 €	0	6,000.00 €	600.00 €	0	60.00 €	9,000.00 €	0
7	7,000.00 €	700.00 €	0	70.00 €	11,200.00 €	0	7,000.00 €	700.00 €	1	70.00 €	11,200.00 €	0
8	8,000.00 €	800.00 €	0	80.00 €	12,800.00 €	0	8,000.00 €	800.00 €	0	80.00 €	12,800.00 €	0
9	9,000.00 €	900.00 €	0	90.00 €	14,400.00 €	0	9,000.00 €	900.00 €	0	90.00 €	14,400.00 €	0
10	10,000.00 €	1,000.00 €	0	100.00 €	16,000.00 €	0	10,000.00 €	1,000.00 €	0	100.00 €	16,000.00 €	0
11	11,000.00 €	1,100.00 €	0	110.00 €	17,600.00 €	0	11,000.00 €	1,100.00 €	0	110.00 €	17,600.00 €	0
12	12,000.00 €	1,200.00 €	0	120.00 €	19,200.00 €	0	12,000.00 €	1,200.00 €	0	120.00 €	19,200.00 €	0
13	13,000.00 €	1,300.00 €	0	130.00 €	20,800.00 €	0	13,000.00 €	1,300.00 €	0	130.00 €	20,800.00 €	0
14	14,000.00 €	1,400.00 €	0	140.00 €	22,400.00 €	0	14,000.00 €	1,400.00 €	0	140.00 €	22,400.00 €	0
15	15,000.00 €	1,500.00 €	0	150.00 €	24,000.00 €	0	15,000.00 €	1,500.00 €	0	150.00 €	24,000.00 €	0
16	16,000.00 €	1,600.00 €	0	160.00 €	25,600.00 €	0	16,000.00 €	1,600.00 €	0	160.00 €	25,600.00 €	0
17	17,000.00 €	1,700.00 €	0	170.00 €	27,200.00 €	0	17,000.00 €	1,700.00 €	0	170.00 €	27,200.00 €	0
18	18,000.00 €	1,800.00 €	0	180.00 €	28,800.00 €	0	18,000.00 €	1,800.00 €	0	180.00 €	28,800.00 €	0
19	19,000.00 €	1,900.00 €	0	190.00 €	30,400.00 €	0	19,000.00 €	1,900.00 €	0	190.00 €	30,400.00 €	0
20	20,000.00 €	2,000.00 €	0	200.00 €	32,000.00 €	0	20,000.00 €	2,000.00 €	0	200.00 €	32,000.00 €	0
21	21,000.00 €	2,100.00 €	0	210.00 €	33,600.00 €	0	21,000.00 €	2,100.00 €	0	210.00 €	33,600.00 €	0
22	22,000.00 €	2,200.00 €	1	220.00 €	35,200.00 €	0	22,000.00 €	2,200.00 €	0	220.00 €	35,200.00 €	0
23	23,000.00 €	2,300.00 €	0	230.00 €	36,800.00 €	0	23,000.00 €	2,300.00 €	0	230.00 €	36,800.00 €	0
24	24,000.00 €	2,400.00 €	0	240.00 €	38,400.00 €	0	24,000.00 €	2,400.00 €	0	240.00 €	38,400.00 €	0
25	25,000.00 €	2,500.00 €	0	250.00 €	40,000.00 €	0	25,000.00 €	2,500.00 €	0	250.00 €	40,000.00 €	0
26	26,000.00 €	2,600.00 €	0	260.00 €	41,600.00 €	0	26,000.00 €	2,600.00 €	0	260.00 €	41,600.00 €	0
27	27,000.00 €	2,700.00 €	0	270.00 €	43,200.00 €	0	27,000.00 €	2,700.00 €	0	270.00 €	43,200.00 €	0
28	28,000.00 €	2,800.00 €	0	280.00 €	44,800.00 €	0	28,000.00 €	2,800.00 €	0	280.00 €	44,800.00 €	0
29	29,000.00 €	2,900.00 €	0	290.00 €	46,400.00 €	0	29,000.00 €	2,900.00 €	0	290.00 €	46,400.00 €	0
30	30,000.00 €	3,000.00 €	0	300.00 €	48,000.00 €	0	30,000.00 €	3,000.00 €	0	300.00 €	48,000.00 €	0
31	31,000.00 €	3,100.00 €	0	310.00 €	49,600.00 €	0	31,000.00 €	3,100.00 €	0	310.00 €	49,600.00 €	0
32	32,000.00 €	3,200.00 €	0	320.00 €	51,200.00 €	0	32,000.00 €	3,200.00 €	0	320.00 €	51,200.00 €	0
33	33,000.00 €	3,300.00 €	0	330.00 €	52,800.00 €	0	33,000.00 €	3,300.00 €	0	330.00 €	52,800.00 €	0
34	34,000.00 €	3,400.00 €	0	340.00 €	54,400.00 €	0	34,000.00 €	3,400.00 €	0	340.00 €	54,400.00 €	0
35	35,000.00 €	3,500.00 €	0	350.00 €	56,000.00 €	0	35,000.00 €	3,500.00 €	0	350.00 €	56,000.00 €	0
36	36,000.00 €	3,600.00 €	0	360.00 €	57,600.00 €	0	36,000.00 €	3,600.00 €	0	360.00 €	57,600.00 €	0
37	37,000.00 €	3,700.00 €	0	370.00 €	59,200.00 €	0	37,000.00 €	3,700.00 €	0	370.00 €	59,200.00 €	0
38	38,000.00 €	3,800.00 €	0	380.00 €	60,800.00 €	0	38,000.00 €	3,800.00 €	0	380.00 €	60,800.00 €	0
39	39,000.00 €	3,900.00 €	0	390.00 €	62,400.00 €	0	39,000.00 €	3,900.00 €	0	390.00 €	62,400.00 €	0
40	40,000.00 €	4,000.00 €	0	400.00 €	63,000.00 €	0	40,000.00 €	4,000.00 €	0	400.00 €	63,000.00 €	0
	Sum Zkjs		1	Sum Zkjs		1	Sum Zkjs		1	Sum Zkjs		1
	Xjs		22	Xjs		3	Xjs		7	Xjs		3
				J=1	J=2							
				Lj=	25	10						
				Sum Xjs	25	10						
				Sum I	22,030.00 €	7,030.00 €	Min	27,230.00 €	10,730.00 €			
				Sum C	5,200.00 €	3,700.00 €						
							Min (r)	37,960.00 €				



Tabela C.II<sup>11</sup> – Valores de custos anuais, opção “ALUGUER”

k	S= 1													
	ALUGUER													
	HEBL J=1		HEBM J=2		HEBP J=3		AVBM J=5		AVBP J=6		HEAC J=7			
	I	CA	I	CA	I	CA	I	CA	I	CA	I	CA		
0	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €		
1	- €	700,892.00 €	- €	532,200.00 €	- €	3,839,760.00 €	- €	756,864.58 €	- €	1,859,666.67 €	- €	268,133.00 €		
2	- €	1,401,784.00 €	- €	1,064,400.00 €	- €	7,679,520.00 €	- €	1,513,729.17 €	- €	3,719,333.33 €	- €	536,266.00 €		
3	- €	2,102,676.00 €	- €	1,596,600.00 €	- €	11,519,280.00 €	- €	2,270,593.75 €	- €	5,579,000.00 €	- €	804,399.00 €		
4	- €	2,803,568.00 €	- €	2,128,800.00 €	- €	15,359,040.00 €	- €	3,027,458.33 €	- €	7,438,666.67 €	- €	1,072,532.00 €		
5	- €	3,504,460.00 €	- €	2,661,000.00 €	- €	19,198,800.00 €	- €	3,784,322.92 €	- €	9,298,333.33 €	- €	1,340,665.00 €		
6	- €	4,205,352.00 €	- €	3,193,200.00 €	- €	23,038,560.00 €	- €	4,541,187.50 €	- €	11,158,000.00 €	- €	1,608,798.00 €		
7	- €	4,906,244.00 €	- €	3,725,400.00 €	- €	26,878,320.00 €	- €	5,298,052.08 €	- €	13,017,666.67 €	- €	1,876,931.00 €		
8	- €	5,607,136.00 €	- €	4,257,600.00 €	- €	30,718,080.00 €	- €	6,054,916.67 €	- €	14,877,333.33 €	- €	2,145,064.00 €		
9	- €	6,308,028.00 €	- €	4,789,800.00 €	- €	34,557,840.00 €	- €	6,811,781.25 €	- €	16,737,000.00 €	- €	2,413,197.00 €		
10	- €	7,008,920.00 €	- €	5,322,000.00 €	- €	38,397,600.00 €	- €	7,568,645.83 €	- €	18,596,666.67 €	- €	2,681,330.00 €		
11	- €	7,709,812.00 €	- €	5,854,200.00 €	- €	42,237,360.00 €	- €	8,325,510.42 €	- €	20,456,333.33 €	- €	2,949,463.00 €		
12	- €	8,410,704.00 €	- €	6,386,400.00 €	- €	46,077,120.00 €	- €	9,082,375.00 €	- €	22,316,000.00 €	- €	3,217,596.00 €		
13	- €	9,111,596.00 €	- €	6,918,600.00 €	- €	49,916,880.00 €	- €	9,839,239.58 €	- €	24,175,666.67 €	- €	3,485,729.00 €		
14	- €	9,812,488.00 €	- €	7,450,800.00 €	- €	53,756,640.00 €	- €	10,596,104.17 €	- €	26,035,333.33 €	- €	3,753,862.00 €		
15	- €	10,513,380.00 €	- €	7,983,000.00 €	- €	57,596,400.00 €	- €	11,352,968.75 €	- €	27,895,000.00 €	- €	4,021,995.00 €		
16	- €	11,214,272.00 €	- €	8,515,200.00 €	- €	61,436,160.00 €	- €	12,109,833.33 €	- €	29,754,666.67 €	- €	4,290,128.00 €		
17	- €	11,915,164.00 €	- €	9,047,400.00 €	- €	65,275,920.00 €	- €	12,866,697.92 €	- €	31,614,333.33 €	- €	4,558,261.00 €		
18	- €	12,616,056.00 €	- €	9,579,600.00 €	- €	69,115,680.00 €	- €	13,623,562.50 €	- €	33,474,000.00 €	- €	4,826,394.00 €		
19	- €	13,316,948.00 €	- €	10,111,800.00 €	- €	72,955,440.00 €	- €	14,380,427.08 €	- €	35,333,666.67 €	- €	5,094,527.00 €		
20	- €	14,017,840.00 €	- €	10,644,000.00 €	- €	76,795,200.00 €	- €	15,137,291.67 €	- €	37,193,333.33 €	- €	5,362,660.00 €		
21	- €	14,718,732.00 €	- €	11,176,200.00 €	- €	80,634,960.00 €	- €	15,894,156.25 €	- €	39,053,000.00 €	- €	5,630,793.00 €		
22	- €	15,419,624.00 €	- €	11,708,400.00 €	- €	84,474,720.00 €	- €	16,651,020.83 €	- €	40,912,666.67 €	- €	5,898,926.00 €		
23	- €	16,120,516.00 €	- €	12,240,600.00 €	- €	88,314,480.00 €	- €	17,407,885.42 €	- €	42,772,333.33 €	- €	6,167,059.00 €		
24	- €	16,821,408.00 €	- €	12,772,800.00 €	- €	92,154,240.00 €	- €	18,164,750.00 €	- €	44,632,000.00 €	- €	6,435,192.00 €		
25	- €	17,522,300.00 €	- €	13,305,000.00 €	- €	95,994,000.00 €	- €	18,921,614.58 €	- €	46,491,666.67 €	- €	6,703,325.00 €		
26	- €	18,223,192.00 €	- €	13,837,200.00 €	- €	99,833,760.00 €	- €	19,678,479.17 €	- €	48,351,333.33 €	- €	6,971,458.00 €		
27	- €	18,924,084.00 €	- €	14,369,400.00 €	- €	103,673,520.00 €	- €	20,435,343.75 €	- €	50,211,000.00 €	- €	7,239,591.00 €		
28	- €	19,624,976.00 €	- €	14,901,600.00 €	- €	107,513,280.00 €	- €	21,192,208.33 €	- €	52,070,666.67 €	- €	7,507,724.00 €		
29	- €	20,325,868.00 €	- €	15,433,800.00 €	- €	111,353,040.00 €	- €	21,949,072.92 €	- €	53,930,333.33 €	- €	7,775,857.00 €		
30	- €	21,026,760.00 €	- €	15,966,000.00 €	- €	115,192,800.00 €	- €	22,705,937.50 €	- €	55,790,000.00 €	- €	8,043,990.00 €		
31	- €	21,727,652.00 €	- €	16,498,200.00 €	- €	119,032,560.00 €	- €	23,462,802.08 €	- €	57,649,666.67 €	- €	8,312,123.00 €		
32	- €	22,428,544.00 €	- €	17,030,400.00 €	- €	122,872,320.00 €	- €	24,219,666.67 €	- €	59,509,333.33 €	- €	8,580,256.00 €		
33	- €	23,129,436.00 €	- €	17,562,600.00 €	- €	126,712,080.00 €	- €	24,976,531.25 €	- €	61,369,000.00 €	- €	8,848,389.00 €		
34	- €	23,830,328.00 €	- €	18,094,800.00 €	- €	130,551,840.00 €	- €	25,733,395.83 €	- €	63,228,666.67 €	- €	9,116,522.00 €		
35	- €	24,531,220.00 €	- €	18,627,000.00 €	- €	134,391,600.00 €	- €	26,490,260.42 €	- €	65,088,333.33 €	- €	9,384,655.00 €		
36	- €	25,232,112.00 €	- €	19,159,200.00 €	- €	138,231,360.00 €	- €	27,247,125.00 €	- €	66,948,000.00 €	- €	9,652,788.00 €		
37	- €	25,933,004.00 €	- €	19,691,400.00 €	- €	142,071,120.00 €	- €	28,003,989.58 €	- €	68,807,666.67 €	- €	9,920,921.00 €		
38	- €	26,633,896.00 €	- €	20,223,600.00 €	- €	145,910,880.00 €	- €	28,760,854.17 €	- €	70,667,333.33 €	- €	10,189,054.00 €		
39	- €	27,334,788.00 €	- €	20,755,800.00 €	- €	149,750,640.00 €	- €	29,517,718.75 €	- €	72,527,000.00 €	- €	10,457,187.00 €		
40	- €	28,035,680.00 €	- €	21,288,000.00 €	- €	153,590,400.00 €	- €	30,274,583.33 €	- €	74,386,666.67 €	- €	10,725,320.00 €		
41	- €	28,736,572.00 €	- €	21,820,200.00 €	- €	157,430,160.00 €	- €	31,031,447.92 €	- €	76,246,333.33 €	- €	10,993,453.00 €		
42	- €	29,437,464.00 €	- €	22,352,400.00 €	- €	161,269,920.00 €	- €	31,788,312.50 €	- €	78,106,000.00 €	- €	11,261,586.00 €		
43	- €	30,138,356.00 €	- €	22,884,600.00 €	- €	165,109,680.00 €	- €	32,545,177.08 €	- €	79,965,666.67 €	- €	11,529,719.00 €		
44	- €	30,839,248.00 €	- €	23,416,800.00 €	- €	168,949,440.00 €	- €	33,302,041.67 €	- €	81,825,333.33 €	- €	11,797,852.00 €		
45	- €	31,540,140.00 €	- €	23,949,000.00 €	- €	172,789,200.00 €	- €	34,058,906.25 €	- €	83,685,000.00 €	- €	12,065,985.00 €		
46	- €	32,241,032.00 €	- €	24,481,200.00 €	- €	176,628,960.00 €	- €	34,815,770.83 €	- €	85,544,666.67 €	- €	12,334,118.00 €		
47	- €	32,941,924.00 €	- €	25,013,400.00 €	- €	180,468,720.00 €	- €	35,572,635.42 €	- €	87,404,333.33 €	- €	12,602,251.00 €		
48	- €	33,642,816.00 €	- €	25,545,600.00 €	- €	184,308,480.00 €	- €	36,329,500.00 €	- €	89,264,000.00 €	- €	12,870,384.00 €		
49	- €	34,343,708.00 €	- €	26,077,800.00 €	- €	188,148,240.00 €	- €	37,086,364.58 €	- €	91,123,666.67 €	- €	13,138,517.00 €		
50	- €	35,044,600.00 €	- €	26,610,000.00 €	- €	191,988,000.00 €	- €	37,843,229.17 €	- €	92,983,333.33 €	- €	13,406,650.00 €		

<sup>11</sup> Valores referentes aos tipos de meios  $j$ , assumem um valor substancialmente elevado se  $L_j = 0$ , evitando assim a sua escolha.



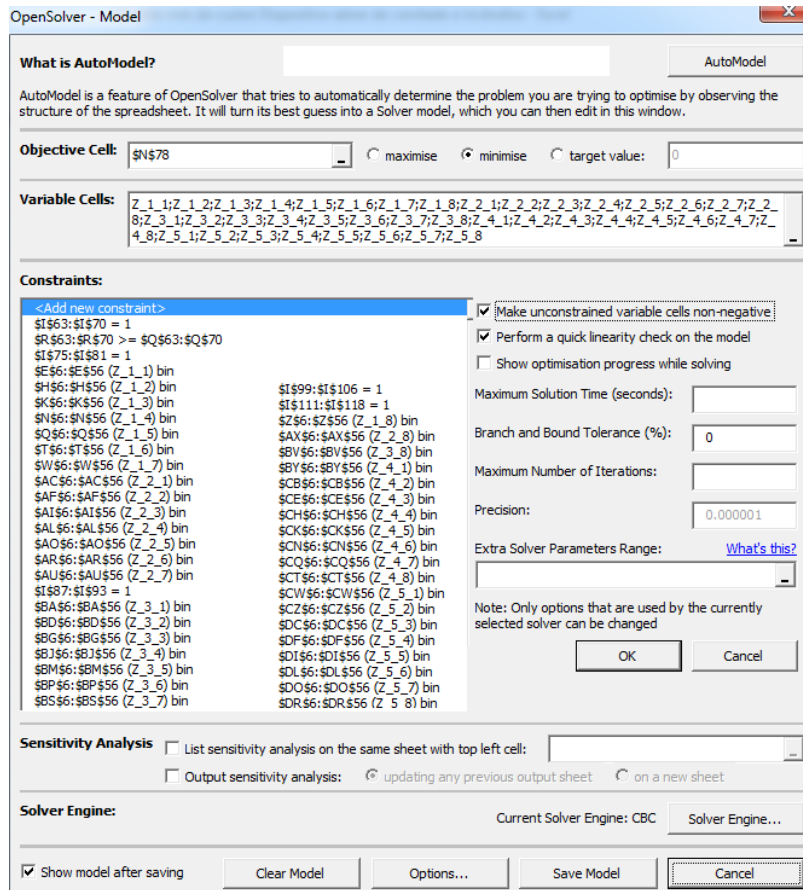


Figura C.1 – Ilustração do modelo no *OpenSolver*

Tabela C.IV – Solução utilizando apenas a opção “ALUGUER”

	Lj=	Sum Xjs	Sum "I"	Sum "CA"
HEBL	28	28	- €	11,231,800.00 €
HEBM	8	8	- €	4,257,600.00 €
HEBP	3	3	- €	11,519,280.00 €
AVBL	0	0	- €	- €
AVBM	6	6	- €	4,394,958.33 €
AVBP	2	2	- €	3,719,333.33 €
HEAC	1	1	- €	268,133.00 €
ARCO	0	0	- €	- €
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>48</b>		
			<b>InvestimentoTotal</b>	<b>Custo Anual Total</b>
			- €	<b>35,391,104.67 €</b>

Minimizar: **838,651,769.35 €**

Tabela C.V – Output fornecido pelo *OpenSolver*

			ΣI	ΣCA	ΣZ	X
S1	J= 1	HEBL	- €	19,624,976.00 €	1	28
	J= 2	HEBM	- €	4,257,600.00 €	1	8
	J= 3	HEBP	- €	- €	1	0
	J= 4	AVBL	- €	- €	1	0
	J= 5	AVBM	- €	- €	1	0
	J= 6	AVBP	- €	3,719,333.33 €	1	2
	J= 7	HEAC	- €	268,133.00 €	1	1
	J= 8	ARCO	- €	- €	1	0
	ΣJ		- €	27,870,042.33 €	1	39

			ΣI	ΣCA	ΣZ	X
S2	J= 1	HEBL	- €	- €	1	0
	J= 2	HEBM	- €	- €	1	0
	J= 3	HEBP	16,767,055.20 €	5,178,396.64 €	1	3
	J= 4	AVBL	- €	- €	1	0
	J= 5	AVBM	3,000,696.60 €	831,772.04 €	1	6
	J= 6	AVBP	- €	- €	1	0
	J= 7	HEAC	- €	- €	1	0
	J= 8	ARCO	- €	- €	0	0
	ΣJ		19,767,751.80 €	6,010,168.68 €	1	9

			ΣI	ΣCA	ΣZ	X
S3	J= 1	HEBL	- €	- €	1	0
	J= 2	HEBM	- €	- €	1	0
	J= 3	HEBP	- €	- €	1	0
	J= 4	AVBL	- €	- €	1	0
	J= 5	AVBM	- €	- €	1	0
	J= 6	AVBP	- €	- €	1	0
	J= 7	HEAC	- €	- €	1	0
	J= 8	ARCO	- €	- €	0	0
	ΣJ		- €	- €	1	0

			ΣI	ΣCA	ΣZ	X
S4	J= 1	HEBL	- €	- €	1	0
	J= 2	HEBM	- €	- €	1	0
	J= 3	HEBP	- €	- €	1	0
	J= 4	AVBL	- €	- €	1	0
	J= 5	AVBM	- €	- €	1	0
	J= 6	AVBP	- €	- €	1	0
	J= 7	HEAC	- €	- €	1	0
	J= 8	ARCO	- €	- €	1	0
	ΣJ		- €	- €	1	0

			ΣI	ΣCA	ΣZ	X
S5	J= 1	HEBL	- €	- €	1	0
	J= 2	HEBM	- €	- €	1	0
	J= 3	HEBP	- €	- €	1	0
	J= 4	AVBL	- €	- €	1	0
	J= 5	AVBM	- €	- €	1	0
	J= 6	AVBP	- €	- €	1	0
	J= 7	HEAC	- €	- €	1	0
	J= 8	ARCO	- €	- €	1	0
	ΣJ		- €	- €	1	0

	Lj=	Sum Xjs
HEBL	28	28
HEBM	8	8
HEBP	3	3
AVBL	0	0
AVBM	6	6
AVBP	2	2
HEAC	1	1
ARCO	0	0
Total	48	48

	Sum "I"	Sum "CA"
	- €	19,624,976.00 €
	- €	4,257,600.00 €
	16,767,055.20 €	5,178,396.64 €
	- €	- €
	3,000,696.60 €	831,772.04 €
	- €	3,719,333.33 €
	- €	268,133.00 €
	- €	- €
Investimento Total	19,767,751.80 €	33,880,211.01 €
Custo Anual Total		

Minimizar:  
822,616,354.01 €

Tabela C.VI – Solução do modelo

	ALUGUER	COMPRA & FAP	COMPRA & ANPC	COMPRA & Empresa Privada	Outro	Don N.º2	
HEBL	28	0	0	0	0	28	
HEBM	8	0	0	0	0	8	
HEBP	0	3	0	0	0	3	
AVBL	0	0	0	0	0	0	
AVBM	0	6	0	0	0	6	
AVBP	2	0	0	0	0	2	
HEAC	1	0	0	0	0	1	
ARCO	0	0	0	0	0	0	
Custo Anual ALUGUER		27,870,042.33 €	Custo Anual Total		Custo 1º Ano		53,647,962.81 €
Custo Anual FAP		6,010,168.68 €			33,880,211.01 €		Custo Ano "t+1"
Investimento Aluguer		- €	InvestimentoTotal		Taxa "r"		4.22%
Investimento FAP		19,767,751.80 €			19,767,751.80 €		Valor do Dispositivo Aéreo de Combate a Incêndios Florestais