

INSTALAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE RAÇÃO USANDO O MÉTODO AHP

Installation of a raw factory using the AHP method

Filipe Montez Coelho Madeira

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal
filipe.madeira@esg.ipsantarem.pt

Henrique Manuel Rodrigues Madeira

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal
170151005@esg.ipsantarem.pt

Rute Isabel Aires Vieira

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal
170100342@esg.ipsantarem.pt

RESUMO

Este artigo visa apresentar um caso de estudo de um problema de decisão real, com o objetivo principal de auxiliar uma empresa de produção animal sobre a instalação uma nova fábrica de produção de rações.

Na avaliação das diversas alternativas, as organizações procuram critérios claros, objetivos e, se possível, representados matematicamente. No entanto, a tomada de decisão envolve um processo mental cognitivo resultante da seleção do curso de ação mais adequado, baseado em vários critérios tangíveis e intangíveis (Saaty, 2000), arbitrariamente escolhidos por quem toma a decisão. Para além dos diferentes critérios, temos ainda a participação de vários decisores com um objetivo comum, caracterizado pela escolha do melhor local que garanta o maior crescimento da empresa. Diversos métodos foram desenvolvidos para auxiliar a decisão neste cenário.

No caso descrito, foi usado um desses métodos – a saber, AHP (*Analytic Hierarchy Process*) -, para hierarquizar os locais possíveis de instalação da nova fábrica, de entre as seguintes localidades: Carregado, Benavente e Covilhã.

Em 1980, o professor L. Saaty da Universidade de Pittsburgh, criou o AHP, que permite o uso de critérios qualitativos e/ou quantitativos no processo de avaliação. Este método começa com a

construção de uma árvore de decisão onde ficam definidos critérios, subcritérios e as várias alternativas disponíveis para alcançar o objetivo previamente definido. Numa segunda etapa, os critérios são comparados entre os vários elementos do mesmo nível da hierarquia, usando a matriz criada pelo autor - Escala Fundamental de Saaty –, com valores de 1 a 9, consoante a sua relevância, sendo o 1 de igual importância e o 9 de importância absoluta. A terceira etapa do modelo consiste no cálculo da prioridade relativa de cada critério e na análise da consistência dos julgamentos dos decisores (ou seja, na coerência das suas respostas/ comparações). Como resultado da etapa final é obtida a matriz de prioridade composta para as diversas alternativas, que espelha uma hierarquização das mesmas, ao nível da decisão a considerar.

De acordo com Forman e Peniwati (1998), o comportamento do grupo de decisores é um fator que determinará a forma como as informações serão analisadas e agregadas. No caso do grupo que atua como uma unidade (quando indivíduos de um grupo desejam acima de tudo o bem da organização que representam, a despeito de suas próprias preferências, valores e objetivos, eles agem em sintonia e realizam os seus julgamentos de modo a que o grupo se comporte como um novo indivíduo) utiliza-se uma variante do AHP conhecida como Agregação Individual de Julgamentos (AIJ). Já para grupos que preferem manter a análise individual, existe a Agregação Individual de Prioridades (AIP). Em ambos os casos pode-se atribuir diferentes pesos aos decisores no processo ou então considerá-los num mesmo grau de importância para a decisão, sendo esta sempre tratada matematicamente.

Na aplicação do AHP ao caso em estudo, dois decisores consideraram 3 critérios subdivididos em vários subcritérios: implementação (subcritérios: distância aos fornecedores, custo de instalação e distância aos clientes atuais), mão de obra (subcritérios: disponibilidade e qualificação) e incentivos fiscais (subcritérios: segurança social e derrama). Em termos de decisão em grupo optou-se pelo consenso dos decisores, ou seja, usando a agregação individual de julgamentos (AIJ).

A aplicação deste método a este caso real permitiu criar um modelo de análise e de apoio à decisão, constituindo mais uma ferramenta num processo de decisão complexo.

Palavras-chave: AHP, fábrica de rações, multicritério, priorização de alternativas, problemas de decisão

ABSTRACT

This article aims to present a case study of a real decision problem, with the main objective of assisting an animal production company, on the installation of a new factory.

When evaluating the various alternatives, organizations seek clear, objective and, if possible, mathematically represented criteria. However, decision-making involves a cognitive mental process resulting from the selection of the most appropriate course of action, based on various tangible and intangible criteria (Saaty, 2000) arbitrarily chosen by decision makers. In addition to the various criteria, we also have the participation of several decision makers with the common objective of choosing of the best place to guarantee the highest growth of the company. Several methods have been developed to aid decision-making in this scenario.

In the described case, we used one of those methods, namely AHP (*Analytic Hierarchy Process*), to hierarchize the possible location for the installation of the new factory, being the alternatives the following: Carregado, Benavente and Covilhã.

In 1980, Professor L. Saaty of the University of Pittsburgh, created AHP, which allows using qualitative and/or quantitative criteria in the evaluation process. This method starts with the construction of a decision tree where the criteria, sub-criteria and the various alternatives are detailed. In a second step, those criteria are compared among the various elements at the same level of hierarchy, using a matrix created by the author - *Fundamental Ratio Scale in pair-wise comparison of Saaty* -, with values from 1 to 9, depending on their relevance, being 1 of equal importance and the 9 of absolute importance. The third step in the model is to calculate the relative priority of each criteria and to analyze the consistency of the judgments of the decision makers (i.e. the consistency of their responses/ comparisons). At final step, the composite priority matrix for the various alternatives is obtained, reflecting the alternatives hierarchy.

According to Forman and Peniwati (1998), the behavior of a decision makers' group is a factor that will determine how the information will be analyzed and aggregated. Should the group acts as a unit (when individuals in a group essentially desire the best for the organization they represent, regardless of their own preferences, values and goals, acting in tune and making their judgments so that the group behaves as a new individual), a variant of the AHP known as Individual Judgment Aggregation (IJA) is used. For groups that prefer to maintain individual analysis, there is Individual Priority Aggregation (IPA) alternative. In both cases it is possible to assign different weights to the decision makers in the process or to consider them with same degree of importance in terms of the decision. In both cases, the group decision is treated mathematically.

In the application of the AHP to our case, two decision makers considered 3 criteria subdivided into several sub-criteria: implementation (sub-criteria: suppliers, cost of installation and distance to current clients), labor (sub-criteria: availability and qualification) and incentives (sub-criteria: social security, and taxes). In this case study, decision-makers' consensus was chosen, using IJA.

The application of this method to this real case allowed us to create a model of analysis and support decision, contributing with another tool for this complex decision process.

Keywords: animal raw factory localization, AHP, decision problems, multicriteria, prioritization of alternatives

1 INTRODUÇÃO

Este artigo visa apresentar um caso de estudo de um problema de decisão com o objetivo principal de priorizar as 3 alternativas consideradas, nomeadamente as localidades do Carregado, Benavente e Covilhã, para a instalação uma nova fábrica de produção de rações.

No caso descrito, foi usado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), envolvendo dois decisores que consideraram 3 critérios subdivididos em vários subcritérios: implementação (subcritérios: distância aos fornecedores, custo de instalação e distância aos clientes atuais), mão de obra (subcritérios: disponibilidade e qualificação) e incentivos fiscais (subcritérios: segurança social e derrama). Em termos de decisão em grupo optou-se pelo consenso dos decisores, ou seja, usando a agregação individual de julgamentos (AIJ).

2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO AHP

A programação multicritério por meio do AHP é uma técnica estruturada para tomada de decisão em ambientes complexos em que diversas variáveis ou critérios são considerados para a priorização e seleção de alternativas ou projetos.

O AHP foi desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty e foi extensivamente estudado a partir dessa época. Atualmente é aplicado para a tomada de decisão em diversos cenários complexos, onde pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e onde percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussões de longo prazo.

A utilização do AHP inicia-se pela decomposição do problema numa hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente (Figura 1).

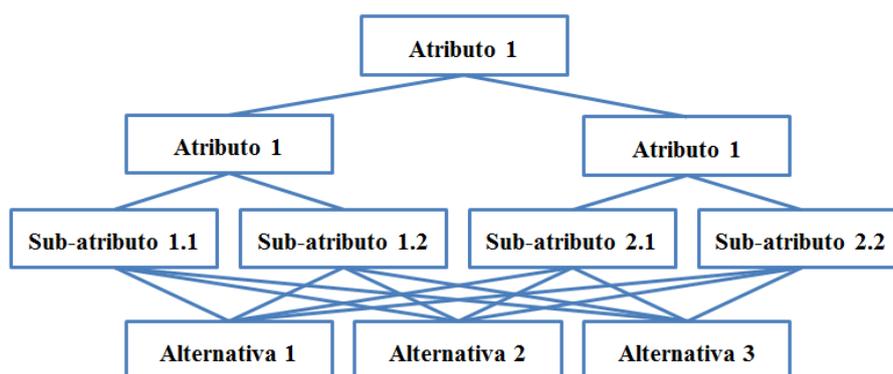


Figura 1 - Estrutura hierárquica. Fonte: adaptado de Saaty & Vargas (2001)

A partir do momento em que essa hierarquia lógica está construída, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por meio da comparação, duas a duas, dentro de cada um dos critérios. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente e é refletida em avaliações com valores numéricos que podem ser processados e comparados, em toda a extensão do problema (Saaty, 2008). Um peso numérico, uma cotação ou uma prioridade, é atribuída a cada elemento da hierarquia, permitindo que elementos diversos, e muitas vezes não mensuráveis, possam ser comparados uns com os outros de uma forma racional.

Segundo Vieira (2006) são as seguintes as principais vantagens deste método:

- Oferece uma interpretação e análise do problema com baixa complexidade. Ao apresentar um baixo nível de complexidade contribui para facilitar a interpretação do processo analítico pelas partes intervenientes;
- Usa procedimentos dedutivos rigorosos e sistemáticos como uma forma de reduzir a ambiguidade na análise de problemas;
- Permite analisar compromissos para resolver situações de conflito, alterando os parâmetros do modelo analítico. Ou seja, o processo de resolução de uma situação de conflito passa pela negociação com as partes interessadas do sistema com o objetivo de rever as prioridades ou julgamentos envolvidos;
- Promove a negociação e determinação de compromissos entre critérios;
- Permite estimar o nível de satisfação de cada alternativa e determinar a ordem de importância de cada assunto (ou critério), o que constitui o principal objetivo da aplicação do processo AHP;

- Disponibiliza meios para determinar a consistência lógica dos julgamentos efetuados que são posteriormente utilizados na determinação das prioridades;
- Permite determinar o resultado baseado na síntese dos diferentes julgamentos efetuados pelos diferentes intervenientes no sistema em análise.

3 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Este estudo foi aplicado junto de 2 decisores, tendo em conjunto estabelecido a seguinte hierarquia para a tomada de decisão.

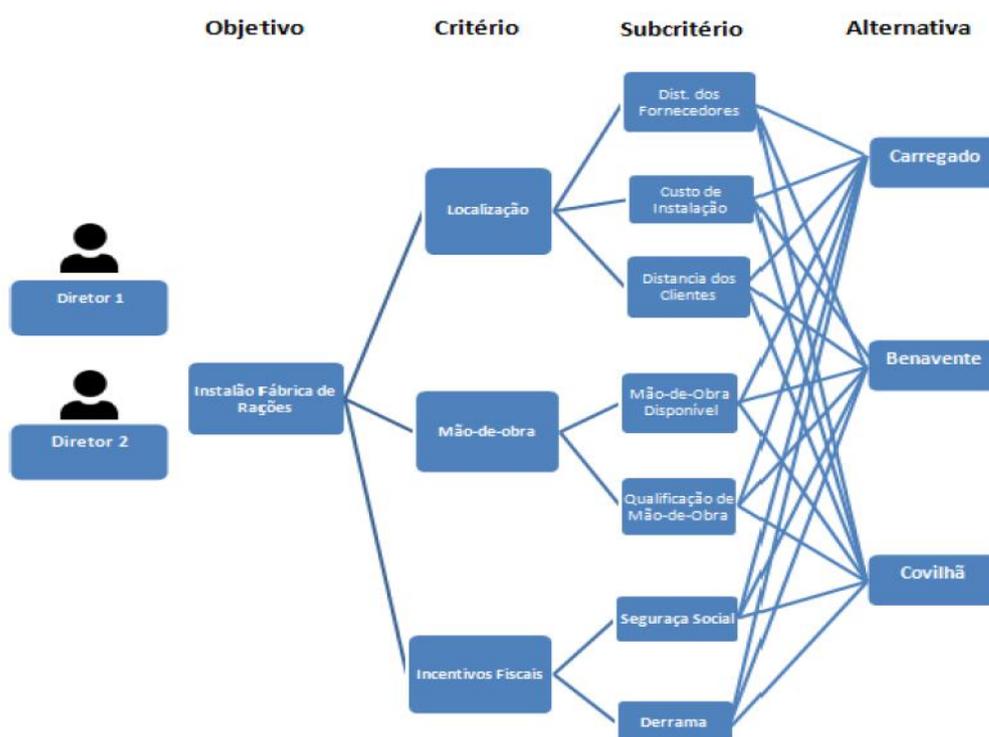


Figura 2 - Hierarquia da tomada de decisão

No critério de 1º nível a **Localização** dividiu-se nos seguintes subcritérios:

- Distância dos fornecedores: Fundamental para a tomada de decisão devido ao custo de transporte, pois para produzir rações são necessárias matérias-primas com destaque para o trigo, milho, soja e cevada. Necessitando de significativo espaço, são transportadas por camiões próprios. São 3 os seus principais fornecedores.
- Custo de Instalação: Neste subcritério considerou-se o preço por m² nas três localidades em análise.
- Distância aos clientes: Neste subcritério tal como acontece no subcritério distância aos fornecedores, também o custo do transporte é relevante e envolve essencialmente a rapidez de entrega das rações nas pecuárias dos principais clientes e do próprio grupo (investidor da fábrica).

Nos critérios de 1º nível ainda temos a **Mão-de-Obra** que se dividiu nos subcritérios de mão-de-obra disponível e qualificação da mão-de-obra:

- Mão-de-obra disponível: Neste subcritério é fundamental ter em consideração se existe mão-de-obra disponível para o bom funcionamento da nova fábrica, estimando-se que são necessários aproximadamente 100 funcionários.
- Qualificação da mão-de-obra: Neste subcritério é fulcral observar se a mão-de-obra existente é qualificada, uma vez que são necessários engenheiros, chefes de produção e administrativos.

Por fim o terceiro critério de 1º nível são os **Incentivos Fiscais** que se dividem em segurança social e derrama, nomeadamente nos encargos associados. Relevantes pela sua influência nos resultados líquidos do negócio, são muitas vezes negociáveis com os responsáveis dos municípios que pretendem cativar investimentos para as suas regiões.

4 RESULTADOS

A equipa que aplicou o método usou um programa de folha de cálculo para registar as diversas matrizes e efetuar os cálculos. Do resultado da comparação entre os critérios de 1º nível a ambos os decisores (diretores da empresa) verificou-se que o maior grau de importância recaiu para a localização para o 1º decisor e para a mão de obra para o 2º decisor.

Comparação Critérios 1º nível	Localização	Mão de Obra	Incentivos Fiscais	Matriz Normalizada			Peso Critério
Localização	1,00	3,00	6,00	0,67	0,71	0,50	0,63
Mão de Obra	1/3	1,00	5,00	0,22	0,24	0,42	0,29
Incentivos Fiscais	1/6	1/5	1,00	0,11	0,05	0,08	0,08

Tabela 3 – Matriz Comparação Critérios 1º nível (Decisor 1)

Comparação Critérios 1º nível	Localização	Mão de Obra	Incentivos Fiscais	Matriz Normalizada			Peso Critério
Localização	1,00	0,50	5,00	0,31	0,30	0,42	0,34
Mão de Obra	2	1,00	6,00	0,63	0,60	0,50	0,58
Incentivos Fiscais	1/5	1/6	1,00	0,06	0,10	0,08	0,08

Tabela 4 – Matriz Comparação Critérios 1º nível (Decisor 2)

De seguida, para cada critério de 1º nível cada decisor comparou os diversos subcritérios. O primeiro decisor atribuiu maior importância ao custo de instalação, à disponibilidade de mão de obra e aos custos com a segurança social, comparativamente com os outros subcritérios do mesmo critério.

Comparação Critério Localização	Dist. Fornecedores	Custo Instalação	Dist. Clientes	Matriz Normalizada			Peso Critério
Dist. Fornecedores	1,00	1/3	3	0,23	0,21	0,38	0,27
Custo Instalação	3	1,00	4	0,69	0,63	0,50	0,61
Dist. Clientes	1/3	1/4	1,00	0,08	0,16	0,13	0,12

Tabela 5 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Localização (Decisor 1)

Comparação Critério Mão de Obra	Disponibilidade	Qualificação	Matriz Normalizada		Peso Critério
Disponibilidade	1,00	2	0,67	0,67	0,67
Qualificação	1/2	1,00	0,33	0,33	0,33

Tabela 6 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Mão de Obra (Decisor 1)

Comparação Critério Incentivos Fiscais	Derrama	Segurança Social	Matriz Normalizada		Peso Critério
Derrama	1,00	1/6	0,14	0,14	0,14
Segurança Social	6	1,00	0,86	0,86	0,86

Tabela 7 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Incentivos Fiscais (Decisor 1)

O segundo decisor atribuiu maior importância à distância aos fornecedores, à disponibilidade de mão-de-obra e por fim, em concordância com o primeiro diretor, atribui igualmente maior relevância ao critério da segurança social.

Comparação Critério Localização	Dist. Fornecedores	Custo Instalação	Dist. Clientes	Matriz Normalizada			Peso Critério
Dist. Fornecedores	1,00	5	2	0,59	0,63	0,57	0,59
Custo Instalação	1/5	1,00	0,5	0,12	0,13	0,14	0,13
Dist. Clientes	0,5	2	1,00	0,29	0,25	0,29	0,28

Tabela 8 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Localização (Decisor 2)

Comparação Critério Mão de Obra	Disponibilidade	Qualificação	Matriz Normalizada		Peso Critério
Disponibilidade	1,00	3	0,75	0,75	0,75
Qualificação	1/3	1,00	0,25	0,25	0,25

Tabela 9 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Mão de Obra (Decisor 2)

Comparação Critério Incentivos Fiscais	Derrama	Segurança Social	Matriz Normalizada		Peso Critério
Derrama	1,00	1/7	0,13	0,13	0,13
Segurança Social	7	1,00	0,88	0,88	0,87

Tabela 10 – Matriz Comparação Critérios 2º nível, do critério Incentivos Fiscais (Decisor 2)

Nos casos de decisão em grupo, quando os decisores desejam acima de tudo o bem da organização que representam, a despeito de suas próprias preferências, valores e objetivos, eles agem em sintonia e realizam os seus julgamentos de modo a que o grupo se comporte como um novo indivíduo, deve utilizar-se uma variante do AHP conhecida como Agregação Individual de Julgamentos (AIJ). Da aplicação desta agregação resultou a seguinte matriz com o peso dos subcritérios:

Critérios	1º nível	2º nível	Peso Critério
-----------	----------	----------	---------------

Localização	0,49		
Distância Fornecedores		0,46	0,23
Custo Instalação		0,33	0,16
Distância Clientes		0,21	0,10
Mão de Obra	0,43		
Disponibilidade		0,71	0,30
Qualificação		0,29	0,13
Incentivos Fiscais	0,08		
Derrama		0,13	0,01
Segurança Social		0,87	0,07

Tabela 11 – Matriz de Pesos dos Subcritérios após Agregação

Em seguida, os sete subcritérios foram “julgados” face a cada alternativa, ou seja, face a cada localização para a instalação da fábrica. A matriz dos julgamentos usou a mesma metodologia aplicada nas matrizes anteriores e os resultados em termos de prioridade relativa foram os apresentados nas seguintes tabelas. Ambos os decisores trabalharam conjuntamente nesta avaliação tendo resultado uma única matriz:

Alternativas	Distância Fornecedores	Custo Instalação	Distância Clientes	Disponibilidade. Mão de Obra	Qualificação Mão de Obra	Derrama	Seg. Social
Benavente	0,30	0,16	0,35	0,56	0,24	0,18	0,18
Carregado	0,63	0,22	0,58	0,12	0,62	0,08	0,08
Covilhã	0,07	0,62	0,07	0,32	0,14	0,74	0,74

Tabela 12 – Matriz de Vetores de Prioridade Relativa para os Critérios 2º nível face a cada Alternativa

O cálculo final resultou da soma da multiplicação dos pesos dos subcritérios pelos vetores de prioridade relativas destes mesmos subcritérios face a cada alternativa:

Alternativas	Cálculo Final
Benavente	0,34
Carregado	0,36
Covilhã	0,30

Tabela 13 – Matriz com o resultado do Cálculo Final

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O resultado obtido através da aplicação do método AHP, determinou como primeira opção de localização o Carregado (36%), embora com pouca diferença de valor final face às restantes localidades (34% e 30%, respetivamente).

Embora não tendo sido apresentados neste artigo os cálculos e resultados sobre a consistência dos julgamentos obtidos através do AHP nas comparações efetuadas, é de referir que quer o índice de Consistência (CI), como o rácio RC (Razão de Consistência) foram calculados tendo-se obtido

valores dentro do limite desejado (abaixo de 10%) para este último rácio, em todas as matrizes de julgamento. Consideram-se assim, consistentes os julgamentos e válidos os resultados.

Todos os critérios foram alvo de julgamento, mas alguns deles como as distâncias a fornecedores e a clientes e o custo por m² poderiam ter igualmente sido analisados de forma objetiva e quantitativa. Também o facto de a fase de agregação dos julgamentos ter apenas sido realizada ao nível dos pesos dos subcritérios, uma vez que o julgamento envolvendo as alternativas ocorreu com ambos os decisores a responderem em conjunto, poderá ser considerado uma limitação e ao mesmo tempo uma variante da aplicação do método.

Outras limitações deste estudo resultam de não ter havido uma análise prévia por parte dos autores sobre os métodos alternativos, bem como da adequabilidade da aplicação do AHP a este tipo de casos em concreto.

6 CONCLUSÃO

A aplicação dos métodos multicritério beneficiam a tomada de decisão e os decisores envolvidos com a operacionalização de princípios, conceitos e técnicas de diversas áreas do conhecimento em contexto prático.

Neste estudo, foi demonstrada a utilidade da aplicação do método AHP ao caso, tendo dois decisores considerado 3 critérios subdivididos em vários subcritérios: implementação (subcritérios: distância aos fornecedores, custo de instalação e distância aos clientes atuais), mão de obra (subcritérios: disponibilidade e qualificação) e incentivos fiscais (subcritérios: segurança social e derrama). Para a decisão em grupo optou-se pelo consenso dos decisores, ou seja, usando a agregação individual de julgamentos (AIJ).

Por fim, é de assinalar que a aplicação do método AHP permitiu criar um modelo de análise e de reflexão, constituindo-se como mais uma ferramenta de suporte para este complexo processo de decisão, sobre qual a localidade onde instalar uma nova fábrica de ração animal.

7 REFERÊNCIAS

- Forman, E., Peniwati, K. (1998). *Aggregating individual judgements and priorities with the Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operational Research, Vol. 108, pp. 165-169.
- Saaty, T.L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh, PA. USA.
- Saaty, T.L.. (2008). *Relative measurement and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are central in Mathematics for the measurement of intangible factors. The analytic hierarchy/ network process*. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas. Físicas Y Matemáticas (RACSAM). 102. 183-191.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2001). *Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>
- Vieira, F. (2006). *Um modelo multicritério para gerir conflitos na composição de aspetos*. M.Sc., Universidade Nova de Lisboa.