



**Carolina Correia e Ferreira**

Licenciada em Ciências da Engenharia Biomédica

***Framework* para a aquisição de equipamentos médicos:  
o caso do Serviço de Radiologia do CHULC**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Biomédica

Orientadora: Doutora Maria Isabel Gomes, Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Coorientadora: Doutora Cristina Guerreiro, Administradora Hospitalar, Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

setembro. 2018



***Framework* para a aquisição de equipamentos médicos: o caso do Serviço de Radiologia do CHULC**

Copyright © Carolina Correia e Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*À minha mãe, aos meus avós, ao meu pai e ao Mel,*



# Agradecimentos

Os agradecimentos são inúmeros e certamente seria possível construir uma outra dissertação a enumerá-los. Ainda assim terei de destacar algumas pessoas pela sua particular intervenção no que toca ao desenvolvimento desta dissertação.

À Doutora Cristina Guerreiro, muito obrigada pelo desafio e por ter tido a maior disponibilidade em receber-me ao longo de toda esta etapa.

À Professora Maria Isabel Gomes, por ter sido a melhor orientadora que podia ter. Muito, muito obrigada pela paciência e apoio. Muito obrigada por ter aceitado embarcar neste desafio comigo. Muito obrigada por todos os momentos em que foi orientadora para lá daquilo que é a definição académica de orientadora.

À Carolina e à Mafalda, colegas orientandas, por todas as palavras amigas e por terem feito parte desta viagem.

À Professora Carla Quintão muito obrigada por tudo ao longo do meu percurso académico.

Ao Professor Fernando Santana, muito obrigada por todos os conselhos sábios e por garantir que dou sempre mais um passo em frente. Obrigada também aos Professores José Alferes, Graça Martinho e Jorge Lampreia. A minha aprendizagem com o V. Conselho Executivo é incalculável e por essa razão fazem também parte desta dissertação.

À Associação dos Estudantes da FCT/UNL e a todas as direções com quem pude trabalhar, principalmente a que tive oportunidade de liderar, obrigada pela experiência, pelo carinho. A todas as pessoas incríveis que conheci neste percurso associativo, cujas memórias não são senão felizes. E, claro, obrigada Sónia!

Ao Galego, ao Samuel e à Margarida, meus queridos amigos, obrigada por estarem sempre comigo, mesmo que alguns estejam a milhares de quilómetros de distância.

Ao Filipe, por tudo.

À Rosarinho, por ser companheira de tantas aventuras e gargalhadas há (quase) 21 anos.

Ao meu pai, por toda a consultoria prestada na conceção desta dissertação e por me ter posto o bichinho da engenharia biomédica na cabeça. Obrigada por toda a amizade.

Thank you Mel, for all the support and friendship throughout this whole degree (and my life!).

Aos meus avós, por todo o carinho e discursos motivacionais. Obrigada por serem um porto seguro e os maiores conselheiros.

À minha mãe, por ser a Mulher com M grande que um dia almejo ser. Obrigada por seres a melhor do mundo.

A todos e a todas que contribuíram para a conclusão desta etapa, muito obrigada!



# Resumo

---

Os hospitais portugueses sofrem, atualmente, pressões elevadas no sentido de fornecer à população cuidados de saúde de qualidade aliados a recursos cada vez mais limitados, quando considerada a crescente procura. Os equipamentos médicos de radiologia ou imagiologia são de máxima importância no diagnóstico e terapêutica de inúmeras patologias sendo, por isso, dos mais utilizados. No entanto, são também dos equipamentos cuja aquisição e manutenção constituem maior despesa para os hospitais ao longo do seu ciclo de vida. Assim, urge garantir que quando se adquire um equipamento deste tipo, ele é o mais adequado possível às necessidades dos pacientes e do Hospital como um todo.

No Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central (CHULC) não existe uma política de aquisição de equipamentos metódica, que tenha por base um conjunto de critérios predefinidos. A presente dissertação apresenta uma metodologia de apoio à decisão para a aquisição de equipamentos médicos que prioriza as melhores alternativas de entre um conjunto de alternativas predefinidas.

A metodologia proposta pretende incluir tanto pacientes como operadores dos equipamentos no processo de decisão, nomeadamente através da participação ativa na determinação dos critérios a considerar na priorização das alternativas, por meio da técnica da Casa da Qualidade (QFD). A ordenação das alternativas, em termos das suas vantagens, é efetuada recorrendo à integração de metodologias de apoio à decisão multicritério como Analytical Hierarchy Process, VIKOR e TOPSIS. Por último é feita uma análise custo-benefício considerando as alternativas afetas a cada tipo de equipamento.

**Palavras-chave:** apoio à decisão multicritério, aquisição de equipamentos, equipamentos médicos hospitalares, VIKOR, TOPSIS, AHP, QFD

---



# Abstract

---

Portuguese hospitals sustain high pressure towards providing quality healthcare to the population, withstanding more and more limited resources, when considering increasing demand. Radiology or imaging equipment are of high importance in the diagnosis and therapeutics of several diseases and conditions and, because of that, are amongst the most commonly used medical equipment. However, they also represent extremely high expenditure to the hospitals throughout their lifecycle. Hence, there is a need to guarantee that when this kind of equipment is considered for procurement, it represents thoroughly the needs of patients and hospitals as a whole.

At Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central (CHULC) there is no methodical policy for the procurement of medical equipment based on a number of pre-defined criteria. This dissertation presents a decision aiding methodology for the procurement of such equipment that aims to prioritise the best alternatives amongst a set of pre-defined alternatives. The proposed methodology strives for the inclusion of patients and technicians in the decision making process, specifically through their active participation in determining the criteria to be considered in the prioritisation of the alternatives, through the tool House of Quality (QFD). The sorting of alternatives, in relation to its advantages, is achieved through an integrated framework using Analytical Hierarchy Process with the VIKOR and TOPSIS methods. Lastly, a method for cost-benefit analysis is presented for alternatives considered for each type of medical imaging equipment.

**Keywords:** multicriteria decision aid, procurement of equipment, medical equipment, VIKOR, TOPSIS, AHP, QFD

---



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. A RADIOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. OS EQUIPAMENTOS MÉDICOS DE RADIODIAGNÓSTICO</b> .....	<b>6</b>
2.2.1. A Radiografia .....	6
2.2.2. A Mamografia .....	7
2.2.3. A Fluoroscopia.....	7
2.2.4. A Angiografia .....	7
2.2.5. A Tomografia Computorizada.....	8
2.2.6. A Ressonância Magnética.....	8
2.2.7. Medicina Nuclear .....	8
2.2.8. A Ecografia .....	9
<b>2.3. A IMPORTÂNCIA DO PLANEAMENTO DA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS HOSPITALARES</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4. O QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Requisitos do Consumidor (Voz do Consumidor).....	13
2.4.2. Importância Atribuída pelos Consumidores.....	13
2.4.3. Voz dos Agentes de Decisão.....	14
2.4.3. Matriz de Relações .....	14
2.4.4. Quantificação dos Requisitos Técnicos.....	14
2.4.5. Matriz de Correlações.....	14
2.4.6. Benchmarking Competitivo.....	14
2.4.7 Utilização de QFD no setor da saúde.....	15
2.4.8. Utilização de QFD para a seleção de critérios .....	15
<b>2.5. MODELOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO (MADM)</b> .....	<b>16</b>
2.5.1. Modelos Parcialmente Compensatórios .....	19
2.5.1.1. A família ELECTRE .....	20
2.5.1.1. A família PROMETHEE .....	21
2.5.2. Modelos Compensatórios .....	22
2.5.2.1. AHP .....	22
2.5.2.2. TOPSIS .....	28
2.5.2.3. VIKOR .....	31
2.5.2.4. Comparação entre VIKOR e TOPSIS .....	34
2.5.3. Decisão multicritério em Grupo .....	35
<b>2.6. ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO</b> .....	<b>36</b>

2.7. O CENTRO HOSPITALAR UNIVERSITÁRIO DE LISBOA CENTRAL (CHULC).....	37
<b>3. METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTA.....</b>	<b>39</b>
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	39
3.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO .....	40
3.2.1. Determinação das Necessidades e Vontades dos Utilizadores .....	41
3.2.2. Determinação das Características Relevantes para o Agente de Decisão .....	41
3.2.3. Construção e Pontuação da Casa da Qualidade .....	43
3.2.4. Seleção dos Critérios.....	46
3.3. PONDERAÇÃO .....	47
3.4. AVALIAÇÃO .....	50
3.5. RECOMENDAÇÃO.....	51
3.6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	52
3.7. ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO.....	52
<b>4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA A UM CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>55</b>
4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS .....	66
4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO VIKOR .....	68
4.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	70
4.3.1. Método TOPSIS .....	71
Critério Avaliação Tecnológica.....	71
Critério Esperança Média de Vida .....	72
Critério Geração de Receita.....	72
Critério Grau de Utilização .....	73
Critério Criticidade.....	74
4.3.2. Método VIKOR.....	75
Critério Avaliação Tecnológica.....	75
Critério Esperança Média de Vida .....	76
Critério Geração de Receita.....	76
Critério Grau de Utilização .....	77
Critério Criticidade.....	78
4.4. ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO .....	80
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>A</b>
ANEXO 1.....	A
ANEXO 2.....	B
ANEXO 3.....	E
ANEXO 4.....	J
ANEXO 5.....	L
ANEXO 6.....	Q
ANEXO 7.....	U

# Lista de Figuras

FIGURA 1 - FASES DA GESTÃO DE TECNOLOGIA MÉDICA. FONTE: JAHNKE E DAVID, 2004 .....	10
FIGURA 2 - CASA DA QUALIDADE. ADAPTADO DE AKAO (1990) .....	13
FIGURA 3 - FASES DE UM PROCESSO DE DECISÃO. ADAPTADO DE PIRES ET AL. (2019) .....	18
FIGURA 4 - CATEGORIZAÇÃO DE ALGUNS MADM CONSIDERANDO A SUA NATUREZA COMPENSATÓRIA. ADAPTADO DE XU E YANG (2001) E EBRAHIMNEJAD ET AL. (2011).....	19
FIGURA 5 - ESTRUTURA GERAL DA METODOLOGIA AHP. FONTE: GAVADE (2014) .....	22
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DO MÉTODO AHP. FONTE: SCHMIDT (1995).....	23
FIGURA 7 - MATRIZ DE PRIORIDADES PARA O 3.º NÍVEL DA HIERARQUIA APRESENTADA NA FIGURA 5. ADAPTADO DE SAATY (2004).....	24
FIGURA 8 - ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY, UTILIZADA PARA A CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE PREFERÊNCIAS. FONTE: (SAATY, 2004).....	24
FIGURA 9 - ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA ALEATÓRIA PARA DIFERENTES TAMANHOS DE MATRIZ. FONTE: SAATY (1991).....	26
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA TOPSIS. ADAPTADO DE PRAKASH E SATYDEV (2014). .....	28
FIGURA 11 - MATRIZ DE DECISÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIO.....	29
FIGURA 12 - SOLUÇÃO IDEAL E SOLUÇÃO DE COMPROMISSO. FONTE: BASTOS (2016) .....	32
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA VIKOR. ADAPTADO DE OPRICOVIC E TZENG (2004)....	32
FIGURA 14 - ESQUELETO DA CASA DA QUALIDADE PROPOSTA .....	44
FIGURA 15 - HIERARQUIZAÇÃO DO PROBLEMA DE ATRIBUIÇÃO DE IMPORTÂNCIAS RELATIVAS .....	47
FIGURA 16 - ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY .....	49
FIGURA 17 - CASA DA QUALIDADE COMPLETA.....	57
FIGURA 18 - HIERARQUIZAÇÃO DOS ATORES E DOS CRITÉRIOS .....	58
FIGURA 19 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ORDENAÇÕES DE ALTERNATIVAS OBTIDAS PARA OS MÉTODOS VIKOR E TOPSIS .....	70
FIGURA 20 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA (TOPSIS).....	71
FIGURA 21 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO ESPERANÇA MÉDIA DE VIDA (TOPSIS). .....	72
FIGURA 22 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA (TOPSIS). .....	73
FIGURA 23 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO (TOPSIS). .....	74
FIGURA 24 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO CRITICIDADE (TOPSIS). .....	74
FIGURA 25 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA (VIKOR).....	75

FIGURA 26 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO ESPERANÇA MÉDIA DE VIDA (VIKOR) .....	76
FIGURA 27 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA (VIKOR) .....	77
FIGURA 28 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO (VIKOR) .....	77
FIGURA 29 - ALTERAÇÕES NA ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO CRITICIDADE (VIKOR) .....	78
FIGURA 30 - COMPARAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ORDENAÇÃO PARA CADA UM DOS CRITÉRIOS, SEGUNDO AS ORDENAÇÕES TOPSIS, VIKOR E VIKOR COMPROMISSO .....	79
FIGURA 31 - ORGANOGRAMA DO CHULC (CHULC, 2018) .....	A
FIGURA 32 - INQUÉRITO REALIZADO PARA DETERMINAR A IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS REQUISITOS DOS UTILIZADORES .....	E
FIGURA 33 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA "PRESTAR UM SERVIÇO NECESSÁRIO" .....	F
FIGURA 34 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA "PRESTAR UM NOVO SERVIÇO - TECNOLOGIA RENOVADA" .....	F
FIGURA 35 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA "TRAZ MAIOR EFICIÊNCIA NO DIAGNÓSTICO (MAIS RÁPIDO, POR EXEMPLO)" .....	F
FIGURA 36 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA "MAIOR EFICÁCIA NO DIAGNÓSTICO (DIAGNÓSTICO CORRETO)" .....	G
FIGURA 37 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " PERMITE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ACADÊMICO" .....	G
FIGURA 38 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " GARANTE OS SERVIÇOS MÍNIMOS" .....	G
FIGURA 39 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " FACILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO" .....	H
FIGURA 40 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " MAIOR CUSTO-BENEFÍCIO" .....	H
FIGURA 41 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE INTERNAMENTO OU DE ESTADIA NO HOSPITAL" .....	H
FIGURA 42 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " NORMALIZA O TIPO DE EQUIPAMENTOS PRESENTE NO HOSPITAL" .....	I
FIGURA 43 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " GARANTE QUALIDADE" .....	I
FIGURA 44 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A ALÍNEA " DIMINUI AS FILAS DE ESPERA" .....	I
FIGURA 45 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA ENTE +1% E +9% (TOPSIS) .....	L
FIGURA 46 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA ENTE -19% E -10% (TOPSIS) .....	L
FIGURA 47 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO ESPERANÇA MÉDIA DE VIDA ENTRE -9% E 0% (TOPSIS) .....	M
FIGURA 48 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA ENTRE -9% E 0% (TOPSIS) ...	M
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA ENTRE 0% E 9% (TOPSIS).....	N
FIGURA 50 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO ENTRE -9% E 0% (TOPSIS).....	N
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO ENTRE 0% E 9% (TOPSIS) .....	O
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO CRITICIDADE ENTRE -29% E -20% (TOPSIS).....	O
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO CRITICIDADE ENTRE 0% E 10% (TOPSIS) .....	P
FIGURA 54 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA ENTRE -9% E 0% (VIKOR) Q	Q

FIGURA 55 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA ENTRE 40% E 49% (VIKOR) ..... Q

FIGURA 56 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO ESPERANÇA MÉDIA DE VIDA ENTRE 0% E 9% (VIKOR)R

FIGURA 57 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA ENTRE 0% E 9% (VIKOR).....R

FIGURA 58 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA ENTRE -29% E -20% (VIKOR) .S

FIGURA 59 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO ENTRE -9% E 0% (VIKOR) ..... S

FIGURA 60 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO ENTRE -40% E -49% (VIKOR)... T

FIGURA 61 - VARIAÇÃO DO PESO DO CRITÉRIO CRITICIDADE ENTRE -9% E -0% (VIKOR)..... T

# Lista de Tabelas

TABELA 1 - REQUISITOS DO AGENTE DE DECISÃO .....	42
TABELA 2 - ESCALA PARA AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA PARA O CONSUMIDOR .....	45
TABELA 3 - ESCALA DE COHEN .....	45
TABELA 4 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO PARA A ATRIBUIÇÃO DE PESOS RELATIVOS AOS ATORES, SEGUNDO O CRITÉRIO CJ .....	48
TABELA 5 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	49
TABELA 6 - MATRIZ DE DECISÃO DO ATOR K .....	50
TABELA 7 - "SUPER" MATRIZ DE DECISÃO .....	51
TABELA 8 - ALTERNATIVAS HIPOTÉTICAS PARA A ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO .....	53
TABELA 9 - PREÇOS RELATIVOS E ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE 3 EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA .....	53
TABELA 10 - ALTERNATIVAS CONSIDERADAS NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE APOIO À SUBSTITUIÇÃO .....	56
TABELA 11 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS ATORES PARA O CRITÉRIO AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA .....	59
TABELA 12 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS ATORES PARA O CRITÉRIO ESPERANÇA MÉDIA DE VIDA .....	59
TABELA 13 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS ATORES PARA O CRITÉRIO GERAÇÃO DE RECEITA .....	60
TABELA 14 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS ATORES PARA O CRITÉRIO GRAU DE UTILIZAÇÃO .....	60
TABELA 15 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS ATORES PARA O CRITÉRIO CRITICIDADE .....	61
TABELA 16 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO E PESOS DOS CRITÉRIOS .....	61
TABELA 17 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR RESPONSÁVEL DE SISTEMAS E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO .....	62
TABELA 18 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR RESPONSÁVEL DE GESTÃO DE INFRAESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS .....	63
TABELA 19 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR DIRETOR DE COMPRAS .....	63
TABELA 20 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR RESPONSÁVEL DE SERVIÇO .....	64
TABELA 21 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR ADMINISTRADOR HOSPITALAR .....	64
TABELA 22 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO ATOR ENGENHEIRO CLÍNICO .....	65
TABELA 23 – “SUPER” MATRIZ DE DECISÃO - MATRIZ DE DECISÃO AGREGADORA DAS MATRIZES DOS ATORES INDIVIDUAIS .....	65
TABELA 24 - MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA, MÉTODO TOPSIS .....	66
TABELA 25 - MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA E PONDERADA (MÉTODO TOPSIS) .....	67
TABELA 26 - ALTERNATIVA IDEAL (TOPSIS) .....	67
TABELA 27 - ALTERNATIVA ANTI IDEAL (TOPSIS) .....	67
TABELA 28 - DISTÂNCIAS RELATIVAS DE CADA ALTERNATIVA ÀS SOLUÇÕES IDEAL E ANTI IDEAL E MEDIDA DE PROXIMIDADE RELATIVA .....	68

TABELA 29 - ALTERNATIVA IDEAL (VIKOR).....	68
TABELA 30 - ALTERNATIVA ANTI IDEAL (VIKOR) .....	68
TABELA 31 - VALORES DE MÁXIMA UTILIDADE, MÍNIMO DESACORDO E PROXIMIDADE RELATIVA (S, R E Q) PARA CADA UMA DAS ALTERNATIVAS .....	69
TABELA 32 - ORDENAÇÃO COM SOLUÇÕES DE COMPROMISSO .....	70
TABELA 33 - ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DAS DIFERENTES ALTERNATIVAS .....	80
TABELA 34 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO, EXEMPLIFICATIVA, TOTALMENTE PREENCHIDA.....	B
TABELA 35 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DA TABELA 5, NORMALIZADA .....	C









# Introdução

A prática moderna de medicina tem vindo a ficar crescentemente dependente de tecnologia médica. Atualmente, é reconhecida a necessidade de utilizar este tipo de tecnologia, sob a forma de equipamentos médicos, na prestação de cuidados de saúde, de forma transversal às especialidades médicas, seja na prevenção, diagnóstico, tratamento ou reabilitação (David e Jahnke, 2004). A transversalidade da tecnologia médica é bem representada pelos equipamentos médicos presentes nos departamentos de Imagiologia das instituições de saúde. A imagem médica constitui uma ferramenta de apoio indispensável ao correto diagnóstico e terapêutica da maioria das patologias. No entanto, as tecnologias de imagem médica constituem a parcela mais dispendiosa do universo dos equipamentos médicos – que se estima ter mais de 10 000 tipos (European Society of Radiology, 2014; Organização Mundial de Saúde, 2018).

Os recursos limitados e a crescente despesa da saúde, fruto, entre outros fatores, da evolução demográfica, criam a necessidade de proceder à avaliação das tecnologias existentes, antes da aquisição de um equipamento. Esta avaliação deverá ter particular foco nos aspetos técnicos do equipamento, na sustentabilidade do investimento no mesmo e nos benefícios da aquisição, nomeadamente: a melhoria na qualidade do atendimento e na satisfação do paciente e na segurança e eficácia na execução do exame (Brach *et al.*, 2008). De modo a gerir de forma correta os seus recursos, identificar as suas prioridades e maximizar o seu retorno, as instituições de saúde precisam de criar e implementar metodologias que permitam a avaliação e gestão destas tecnologias.

A problemática da avaliação dos equipamentos médicos no sentido da sua aquisição torna-se mais premente no setor público, no qual os recursos são muitíssimo limitados e os processos de aquisição fortemente regulamentados (Pita Barros *et al.*, 2011). A Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS) define, nas suas referências para a contratualização com Instituições de Saúde, a necessidade de “desenvolver competências de gestão organizacional e de controlo de gestão, nomeadamente na área da gestão financeira (...) e equipamentos (...)”, e de determinar os planos de investimento tendo por base as necessidades em saúde da população, disponibilidade orçamental e eficiência e ainda de garantir a rentabilização dos equipamentos do Serviço Nacional de Saúde (SNS), de forma a limitar a subcontratação a entidades externas (convenções). Entre janeiro e março de 2018, o setor de convenionados executou

mais de 1,25 milhões de atos de meios complementares de diagnóstico e terapêutica (MCDT) da área de Radiologia, prescritos no Sistema Nacional de Saúde o que representa uma despesa de perto de 25 milhões de euros (SPMS, 2018). Este nível de despesa é insustentável para o SNS e torna-o incapaz de dar boa resposta às necessidades de Saúde dos utentes.

Tendo em conta o exposto, a presente dissertação procura, através do desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão para a aquisição de equipamentos médicos no Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central (CHULC), auxiliar na determinação de um plano de investimento. Um plano de investimento corretamente construído pode levar a um aumento da capacidade instalada nos hospitais, permitindo fazer face às necessidades dos mesmos e pode também levar a uma otimização dos recursos. Com o sistema de apoio à decisão proposto pretende-se que o processo de aquisição de equipamentos médicos, no CHULC, seja transparente, criterioso e fundamentado, garantindo a qualidade das decisões tomadas neste âmbito. Esta ferramenta pretende também ser uma alternativa a outras ferramentas de apoio a este tipo de decisão anteriormente desenvolvidas (Barrios, 2016; Saleh, 2014; Chatburn e Primiano, 2001).

No CHULC é feito, anualmente, um levantamento das necessidades do Centro Hospitalar. Os médicos dos diferentes serviços e especialidades dirigem os seus pedidos ao Conselho de Administração (CA) que toma a decisão quanto aos equipamentos que comprará no ano seguinte, ouvidas as individualidades que o CA considere pertinente. A especialidade de Imagem Médica, no CHULC, integra o Centro Tecnológico e Biomédico que, por sua vez, está sob a alçada do Conselho de Administração. O processo de decisão de aquisição de equipamentos existente atualmente, apesar da sua validade, não representa um processo criterioso e metodológico, estando sujeito a um nível significativo de ambiguidade.

Ao longo do desenvolvimento da presente dissertação considerou-se que existem três partes interessadas que deverão ver as suas necessidades e preferências igualmente satisfeitas: os utentes, os profissionais e a administração. Considera-se que a ferramenta proposta deverá enquadrar os aspetos de maior importância, para cada uma das partes interessadas, de forma a poder obter um conjunto de critérios que, quando otimizados, produzam um desfecho de interesse para todas as partes.

Pretende-se, com o presente trabalho, garantir que as necessidades e preferências de todas as partes interessadas (utentes, profissionais e conselho de administração) são satisfeitas e, por outro lado, permitir a desconstrução de uma decisão tão complexa num conjunto de etapas que se pretendem ser de mais simples análise e decisão, incorporando diferentes pontos de vista e incertezas e reduzir, tanto quanto possível, decisões meramente intuitivas.

## **1.1. Objetivos**

O principal objetivo da presente dissertação é a construção de um modelo multicritério que vise apoiar a decisão de compra de equipamentos médicos hospitalares na área do radiodiagnóstico. O trabalho decorre da necessidade de otimizar os recursos financeiros alocados à saúde e, mais especificamente, à área de radiodiagnóstico, permitindo aos utentes a utilização

efetiva do Sistema Nacional de Saúde, um direito que lhes é consagrado constitucionalmente. Os objetivos específicos da dissertação passam por:

- Definição da metodologia que permite a escolha de um conjunto de critérios a utilizar pelos agentes de decisão na seleção e avaliação de equipamentos orientados para as necessidades dos seus utilizadores, sejam eles pacientes ou profissionais.
- Definição do processo de decisão com base em modelos de apoio à decisão multicritério que permitam a ordenação e conseqüente seleção de equipamentos médicos pesados mais adequados às necessidades da área de radiodiagnóstico.
- Análise da sensibilidade do(s) modelo(s) proposto(s).

## **1.2. Organização da Dissertação**

A dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo 1, a presente introdução, é feita uma breve contextualização do problema, apresentando os principais objetivos e a estruturação do trabalho. No capítulo 2 é avaliada a necessidade do desenvolvimento de metodologias de apoio à decisão no que toca à aquisição de equipamentos médicos e, tendo por base a literatura disponível, descreve-se os i) equipamentos de imagiologia utilizados, ii) as técnicas de apoio à decisão mais adequadas ao estudo que se pretende fazer e ainda iii) o Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central. No capítulo 3, é proposta a metodologia de apoio à decisão a implementar. No capítulo 4 esta metodologia é aplicada a um caso de estudo equivalente à realidade do CHULC, sendo feita uma análise dos resultados obtidos. No capítulo 5 tecem-se as considerações finais e apresenta-se um conjunto de propostas para desenvolvimento futuro.



# 2

## Revisão Bibliográfica

### 2.1. A Radiologia

A radiologia é a especialidade médica que se refere à imagem com a emissão de raios-X. Hoje em dia, o termo radiologia já se expandiu para lá dos raios-X, sendo agora comumente conhecido como imagiologia médica. De acordo com a European Society of Radiology, a imagiologia tornou-se o coração da medicina, apresentando inúmeros benefícios, como um rápido diagnóstico e tratamentos não-invasivos que em muito aumentam a qualidade de vida do paciente (Behfard *et al.*,2015).

O primeiro grande avanço na tecnologia médica deu-se em 1895 com a descoberta dos raios-X, seguindo-se vários outros marcos como a utilização do eletrocardiograma em 1903 e o eletroencefalograma em 1924. Após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 60 e 70 houve uma verdadeira revolução tecnológica nesta área com a criação de próteses, válvulas cardíacas, os primeiros aparelhos de monitorização clínica e ainda a invenção de equipamentos como os ecógrafos (ultrassonógrafos), tomografia computadorizada (TC) e a imagem por ressonância magnética (IRM) (Kramme e Kramme, 2011). Mais recentemente a tomografia computadorizada de emissão de fóton único (SPECT), a tomografia de emissão de positrões (PET) e modalidades cruzadas como a PET/CT foram introduzidas. Estas tecnologias permitem reconstruir fatias do corpo humano e criar imagens 3D.

A tecnologia radiológica, ou de imagem, revolucionou a prática de medicina, permitindo detetar, excluir ou dimensionar patologias, mesmo em estádios pré-sintomáticos. Os exames de imagiologia médica têm melhorado a vida e saúde dos pacientes, providenciando um serviço de saúde seguro e pouco invasivo.

Em Portugal, no que diz respeito ao Sistema Nacional de Saúde, os equipamentos de radiodiagnóstico são, na sua grande maioria, considerados cuidados hospitalares. Assim, os utentes que utilizam os serviços da radiologia provêm de todas as tipologias de unidades constituintes da rede de cuidados de saúde pública, desde centros de saúde aos grandes centros hospitalares. As alterações demográficas sentidas desde o século XX, com uma percentagem

cada vez maior de pacientes na terceira idade com uma multiplicidade de patologias, algumas crónicas, tornam necessária uma investigação patológica profunda, muitas vezes com recurso à especialidade de radiologia, exclusiva dos Hospitais. A utilização da especialidade de imagem médica pode evitar o encaminhamento injustificado para cuidados secundários, ou resultar num encaminhamento apropriado para médicos especialistas. A necessidade de investigação aprofundada das patologias associadas ao paciente, mas também a crescente pressão para a eficiente gestão de todos os recursos associados ao SNS, resultam num esforço acrescido dos Hospitais no que diz respeito à utilização do serviço de radiologia e de equipamentos de imagem médica, o que, por sua vez, leva a uma crescente necessidade de uma eficaz gestão dos equipamentos médicos.

## **2.2. Os Equipamentos Médicos de Radiodiagnóstico**

No presente subcapítulo são descritas de uma forma genérica e resumida as modalidades de imagem médica utilizadas nos dias de hoje, de acordo com a World Health Organization (2018a). Pretende-se, desta forma, enquadrar aqueles que serão os objetos sujeitos à metodologia de apoio à decisão.

### **2.2.1. A Radiografia**

De acordo com a World Health Organization (2018b), a radiografia consiste na utilização de raios-X por forma a observar as estruturas internas de um paciente. Esta técnica de diagnóstico utiliza radiação eletromagnética de altas energias (raios-X) que consegue penetrar o corpo humano e é atenuada de forma diferente, dependendo dos tecidos que a absorvem. A radiação, depois de atenuada é capturada por um detetor, posicionado atrás do corpo em observação. As massas ósseas absorvem (atenuam) mais a radiação quando comparado com os tecidos moles, produzindo uma imagem contrastada, representativa das estruturas em observação (Ostensen, 2005). Os tecidos moles são, na sua generalidade, compostos pelo mesmo tipo de átomos, independentemente da sua função (órgãos, vasos sanguíneos ou músculos), sendo muito difícil distingui-los sem recorrer a procedimentos mais invasivos como a injeção de produtos de contraste. Assim, a modalidade de radiografia convencional é tradicionalmente utilizada para estudos esqueléticos, nomeadamente no que toca a patologias ósseas, mas também para o estudo de patologias pulmonares ou obstruções abdominais (Organização Mundial de Saúde, 2018b).

Esta modalidade tem como principal vantagem o facto de ser não invasiva, não dolorosa e rápida, desde que não sejam utilizados agentes de contraste. É também uma das modalidades de imagiologia menos dispendiosas. No entanto, a utilização de radiação eletromagnética ionizante, pode trazer consequências nefastas para os pacientes e técnicos operacionais (Kasban, 2015). A radiografia convencional tem, como referido anteriormente, um elevado interesse no despiste da existência de múltiplas patologias, no entanto, não permite obter informação específica sobre cada uma dessas patologias (Ostensen, 2005).

### 2.2.2. A Mamografia

A mamografia constitui uma modalidade de imagem médica que utiliza raios-X de baixas energias para a visualização do tecido mamário. Em termos físicos é muito semelhante à radiografia convencional (variando principalmente na energia dos raios-X), com a maior diferença a incidir na especificidade do equipamento para a mama (Duarte, 2012). O equipamento inclui, para além do gerador de raios-X e do detetor, uma placa móvel que comprime e posiciona a mama durante a observação (World Health Organization, 2011).

Este tipo de equipamento é hoje indispensável nos departamentos de radiologia sendo utilizado, essencialmente, para o diagnóstico de cancro mamário e avaliação de massas palpáveis e outras lesões mamárias. Esta modalidade mantém, à semelhança da radiologia convencional, o risco de exposição a radiação ionizante. (World Health Organization, 2011).

### 2.2.3. A Fluoroscopia

Esta técnica de radiodiagnóstico utiliza raios-X à semelhança da radiologia convencional, mas permite a visualização em tempo real das estruturas anatómicas. Durante este tipo de exame, os feixes de raios-X são emitidos de forma contínua e capturados num detetor, produzindo imagens dinâmicas (World Health Organization, 2018c). Esta modalidade constitui uma maior sensibilidade do que o equipamento de radiologia convencional, sendo os princípios físicos idênticos, e permite, entre outros, a avaliação e estudos do trato gastrointestinal, do sistema reprodutor feminino e do sistema urinário (World Health Organization, 2000). Apesar de ser relativamente barato, quando comparado com técnicas mais sofisticadas como a tomografia computadorizada ou a ressonância magnética, este é um procedimento muito invasivo, uma vez que obriga à utilização de agentes de contraste que são fortemente contraindicados para um conjunto de patologias (World Health Organization, 2011) (World Health Organization, 2018c). Outra desvantagem deste método é, naturalmente, a utilização de radiação ionizante, com a agravante de que a dose a que o paciente é exposto nesta modalidade é francamente superior àquela a que é exposto na radiologia convencional (World Health Organization, 2018c).

### 2.2.4. A Angiografia

A angiografia é uma modalidade de imagiologia médica utilizada para a visualização dos vasos sanguíneos, nomeadamente, artérias, veias e ainda câmaras cardíacas. Esta técnica de imagem, à semelhança das anteriores, utiliza raios-X, pelo que a exposição de pacientes a este tipo de radiação ionizante é uma das suas maiores desvantagens (World Health Organization, 2018d). Esta modalidade exige também a administração de um agente de contraste que, à semelhança da fluoroscopia, pode ser seriamente contraindicado para pacientes com um conjunto de patologias (World Health Organization, 2018d). Esta técnica é utilizada para o diagnóstico, entre outros, de doenças vasculares obstrutivas, aneurismas, malformações vasculares ou avaliação da vascularidade de tumores malignos. Uma vez que este é um processo muito invasivo, que envolve inserção de cateteres no paciente, tem sido, progressivamente, substituído pelas modalidades de Tomografia Computorizada e Ressonância Magnética (Zadeh, 2016).

### 2.2.5. A Tomografia Computorizada

A tomografia computadorizada (TC) é uma modalidade de imagiologia que, à semelhança das modalidades anteriores, utiliza raios-X para produzir imagens. O tubo de raios-X produz um feixe de radiação ionizante que atravessa o paciente e é depois detetado e reconstruído para criar uma imagem a 2 ou 3 dimensões (World Health Organization, 2018e). Esta técnica é muito utilizada para diagnóstico de traumas e patologias, monitorização da terapêutica oncológica e avaliação de várias estruturas anatómicas (Kasban, 2015). A TC é não invasiva, indolor e oferece uma boa resolução espacial. Uma das suas maiores vantagens é permitir observar o sistema vascular sem a necessidade de inserção de cateteres (Kasban, 2015). A utilização de radiação ionizante mantém-se como a maior desvantagem deste método (World Health Organization, 2018e).

### 2.2.6. A Ressonância Magnética

O equipamento que produz imagens por ressonância magnética é, essencialmente, constituído por um íman, um emissor e um recetor rádio (Ostensen, 2005). Esta modalidade de imagiologia médica utiliza campos magnéticos e pulsos de radiofrequência para produzir imagens dos diferentes tecidos (Kasban, 2015). Inicialmente, a imagem por ressonância magnética era considerada como um complemento às outras modalidades de imagiologia, no diagnóstico de determinadas patologias. Hoje em dia, é utilizada como técnica predileta graças à sua superioridade em vários domínios, como a elevada resolução espacial e a utilização de radiação não ionizante (Kasban, 2015) (Ostensen, 2005). A ressonância magnética é multiplanar, o que permite obter imagens de vários ângulos diferentes, sem que seja necessário mudar a posição do paciente. A sua capacidade de providenciar informação a 3 dimensões e em tempo real, com elevado contraste, é uma das características mais diferenciadoras das restantes modalidades (World Health Organization, 2018f). A sua maior desvantagem constitui o elevado número de recursos, financeiros e humanos, necessários para a sua aquisição e funcionamento ao longo do ciclo de vida (Ostensen, 2005). Outra desvantagem deste equipamento é a incapacidade de observar indivíduos com implantes metálicos, como *pacemakers*, uma vez que o risco de ferimentos graves ou morte é elevado (World Health Organization, 2018f).

### 2.2.7. Medicina Nuclear

A medicina nuclear é uma modalidade de imagem médica que utiliza pequenas quantidades de material radioativo para produzir imagens das estruturas internas do corpo humano (Kasban, 2015). Enquanto a radiografia convencional deteta a quantidade de radiação que atravessa o corpo, a medicina nuclear deteta a quantidade de radiação produzida pelos radioisótopos administrados ao paciente (Ostensen, 2005). Os radioisótopos utilizados são diferentes mediante o tipo de estruturas que se pretende analisar. A medicina nuclear inclui 3 diferentes técnicas: a cintigrafia, o SPECT (*Single Positron Emission Computed Tomography*) e o PET (*Positron Emission Tomography*). Esta modalidade é muito utilizada para a avaliação da atividade metabólica de patologias, sendo por isso muito utilizada para diagnósticos oncológicos, de ar-

trites ou de doenças neurológicas. (Kasban, 2015) (World Health Organization, 2018g) (Ostensen, 2005). De uma forma geral, esta técnica providencia informação funcional muito específica e permite uma visualização global do sistema biológico de interesse. No entanto, utiliza radiação ionizante e é um equipamento muito dispendioso, principalmente quando equacionado o custo de manter um ciclotrão, o equipamento que produz os radioisótopos. A resolução espacial destas técnicas é muito inferior à de modalidades como a Tomografia Computorizada e a Ressonância Magnética (Kasban, 2015).

### 2.2.8. A Ecografia

A ecografia utiliza ondas de som de altas frequências para produzir imagens de estruturas anatómicas (World Health Organization, 2018h). O equipamento de ecografia é composto por monitor, teclado, processador, armazenamento e sonda ou transdutor. As ondas de som de altas frequências são emitidas pela sonda e penetram no corpo, onde são parcial ou totalmente refletidas nas estruturas anatómicas, sendo depois recebidas pela sonda e transmitidas para a reconstrução da imagem (World Health Organization, 2018h) (Ostensen, 2005). Ao contrário da radiografia convencional, a ecografia distingue bem os diferentes tipos de tecidos moles e, por essa razão, é maioritariamente utilizada para observações abdominais, pélvicas, obstétricas, cardíacas e de outras estruturas pequenas como a tiroide ou a mama (World Health Organization, 2018h). A ecografia é uma modalidade não invasiva e indolor, que não utiliza radiação ionizante. A imagem é de alta resolução e fornece informação em tempo real. A utilização do efeito de Doppler neste tipo de técnica de imagiologia permite obter informação detalhada do fluxo sanguíneo. No entanto, as imagens produzidas por esta técnica são totalmente dependentes da proficiência do técnico operacional (ou médico) que as captura (Organização Mundial de Saúde, 2018h) (Kasban, 2015). Este equipamento é o menos dispendioso de todos os analisados neste subcapítulo.

## 2.3. A importância do planeamento da aquisição de equipamentos médicos hospitalares

Ao longo do último século, os sistemas de saúde têm aumentado a sua dependência em relação à tecnologia médica, na qual se inserem os equipamentos médicos hospitalares. Presentemente, considera-se que a disponibilização de equipamentos médicos relevantes e adequados à prática de medicina contribui largamente para a qualidade do serviço prestado, para o aumento do acesso aos cuidados e ainda para o controlo de custos (David e Jahnke, 2005). Por outro lado, a crise económica da última década obrigou a uma redução de custos muito significativa, bem como a uma reestruturação dos serviços. Ou seja, houve uma necessidade de otimização de recursos. No que toca aos equipamentos médicos esta otimização implica não só uma gestão eficiente do inventário, mas também um planeamento minucioso dos investimentos em novos equipamentos, quer com o propósito de substituição, quer com o propósito de inovação (Terio, 2010). Deve também ser considerado que as alterações demográficas observadas nos países ocidentais têm posto novas pressões sobre o setor da saúde: a sociedade

espera mais qualidade e mais participação nas decisões sobre o mesmo (David e Jahnke, 2005).

A boa performance de um equipamento médico é afetada por grandes incertezas, tais como o nível de formação dos técnicos que o operam ou as condições de manutenção do mesmo. Também estes fatores reforçam a necessidade de desenvolver um sistema que monitorize o benefício real, para os doentes, da utilização de um determinado equipamento.

Portugal é um dos poucos países da União Europeia que não utiliza processos sistemáticos de avaliação de tecnologias, aplicados à escolha de dispositivos médicos (Infarmed, 2014). O Infarmed (2014) reconhece a importância deste processo de avaliação, pois considera que a avaliação de tecnologias em saúde maximiza os ganhos em saúde e a qualidade de vida dos cidadãos, contribui para a sustentabilidade do Serviço Nacional de Saúde, garante a utilização eficiente dos recursos públicos neste setor, monitoriza a utilização e efetividade de tecnologias, reduz desperdícios e ineficiências e ainda promove o acesso equitativo aos equipamentos.

Tendo em conta o exposto acima, é possível reconhecer que o setor da saúde está em transição perante três grandes forças: a tecnologia, as expectativas sociais e os custos, cujo impacto e importância variam ao longo do tempo. Existe assim uma elevada pressão sobre as instituições de saúde para identificar os seus objetivos, selecionar e definir prioridades e alocar, criteriosamente, os recursos muito limitados que permitam atingir esses mesmos objetivos (David e Jahnke, 2005). Neste quadro, as decisões sobre a gestão de tecnologia médica precisam de ser compreensíveis e advir de uma reflexão cuidada que avalie a pertinência de dada tecnologia para as necessidades clínicas do quadro populacional que a instituição serve (Figueiredo, 2009).

David e Jahnke (2004) descrevem um modelo de gestão de tecnologia médica aplicado no Hospital Pediátrico do Texas (EUA), cujas fases podem ser observadas na figura 1:

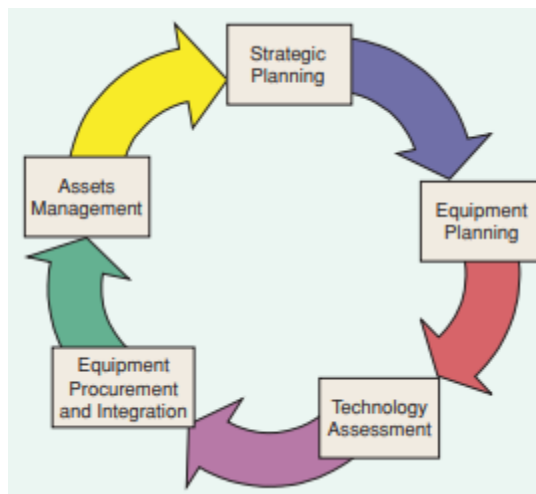


Figura 1 - Fases da gestão de tecnologia médica. Fonte: Jahnke e David, 2004

De acordo com os mesmos autores, o modelo de gestão de tecnologia médica deverá, entre outros, ser capaz de ser um guia estratégico para a alocação de recursos limitados, identificar as oportunidades tecnológicas no setor, otimizar prioridades, aumentar o acesso aos cuidados, reduzir despesas de operação e de exposição ao risco.

Um processo de aquisição de equipamentos bem planeado é, assim, uma parte essencial do sistema de gestão da instituição de saúde (Terio, 2010). No entanto, este processo necessita da experiência e envolvimento de profissionais que assegurem a especificação dos critérios de avaliação, gestão e seleção dos equipamentos, de acordo com as necessidades dos utilizadores, sejam eles pacientes ou profissionais (Figueiredo, 2009). Um conhecimento das tecnologias existentes bem como das necessidades clínicas é crucial para que a metodologia proposta, depois de concebida, seja eficazmente implementada (David e Jahnke, 2005). Entre os profissionais destacados para este processo, inclui-se, naturalmente, o engenheiro clínico, pela sua formação e capacidade de desenvolvimento de ferramentas promotoras dos cuidados de saúde, mas também os responsáveis das instituições, diretores de serviço, técnicos, médicos, pelos seus conhecimentos da estratégia e necessidades da instituição de saúde (Figueiredo, 2009).

Tradicionalmente, a decisão de compra de uma nova tecnologia baseia-se inteiramente na vontade de um ou vários médicos, sendo o impacto financeiro um fator secundário (Obrensky *et al*, 2012). No entanto, o processo de aquisição, quando realizado sem uma avaliação apropriada de requisitos e sem a cooperação de todos os agentes envolvidos, desde os utilizadores aos estrategas, passando pelos financeiros, pode resultar em compras que se afastam largamente das necessidades dos hospitais (Kumru e Kumru, 2013).

Torna-se clara a necessidade de desenvolver um conjunto de ferramentas que permitam um processo de aquisição metódico, transparente e concordante com as necessidades e estratégias das instituições. A literatura é vasta no que toca à produção de uma lista priorizada de equipamentos médicos, sendo as metodologias diversas (Chatburn e Primiano, 2001; Cho e Kim, 2003; Sloane *et al*, 2003; Taghipour, 2010; Hamdi *et al*, 2012; Saleh, 2014; Jamshidi *et al*, 2015; Saleh, 2015). No entanto, a maioria é aplicada a estratégias de manutenção de equipamentos, tendo sido identificados um conjunto muito limitado de utilizações no sentido da aquisição de equipamentos. Na pesquisa feita para o presente trabalho, foi possível encontrar três trabalhos que procuram selecionar um equipamento médico no sentido da sua aquisição. Estes trabalhos são descritos nos próximos parágrafos.

Chatburn e Primiano (2001) utilizam uma metodologia multi-atributo para avaliar o processo de aquisição de ventiladores e, embora admita contributos de diferentes pessoas, precisa de um agente facilitador para cada iteração da metodologia e atribui importâncias a cada um dos critérios por consenso do grupo ao invés de os determinar de forma a refletir as preferências de cada um dos decisores.

Saleh (2014) utiliza uma metodologia integrada QFD-*Fuzzy Logic* para definir uma lista priorizada de equipamentos médicos de entre um conjunto de alternativas pré-selecionadas. Alguns dos obstáculos deste método são a dificuldade de computação do método, nomeadamente, a construção das regras *fuzzy*, bem como a incapacidade de atribuir diferentes importâncias a cada um dos critérios utilizados na avaliação; isto é, o método assume, invariavelmente, que todos os critérios têm a mesma importância para a decisão final. Também esta ferramenta não admite a integração de um conjunto de opiniões diferentes, características da tomada de decisão em grupo.

Barrios (2016) desenvolveu uma ferramenta de apoio à decisão multicritério, com recurso a um método integrado AHP-TOPSIS, no sentido de selecionar um equipamento de tomografia

computorizada. O elevado número de critérios (17) constitui um problema desta metodologia, uma vez que torna o método moroso e pode levar a maiores incertezas na definição da importância relativa dos diferentes critérios. Refira-se ainda, o trabalho deste autor não integra uma decisão em grupo, muito comum no contexto da saúde.

À exceção de Saleh (2014, 2015), nenhuma das metodologias encontradas e referidas anteriormente incorpora as necessidades e vontades dos utilizadores dos equipamentos no processo. Ou seja, à exceção de um autor – Saleh - em todos os modelos representados na literatura analisada são considerados apenas um ou dois agentes, regra geral o engenheiro clínico e/ou o administrador hospitalar.

O trabalho da presente dissertação pretende assim desenvolver uma ferramenta que permita ordenar um conjunto de potenciais equipamentos para aquisição e que seja prática para a instituição de saúde, permita a decisão em grupo e defina um conjunto de critérios suficientemente genéricos para a consideração de vários tipos de equipamentos diferentes ao mesmo tempo, ao invés de considerar apenas um tipo de equipamento. Adicionalmente, o trabalho da presente dissertação pretende envolver os pacientes e profissionais, os verdadeiros utilizadores do equipamento, no processo de decisão.

Na pesquisa bibliográfica efetuada, o *Quality Function Deployment* (QFD) foi identificada como uma potencial ferramenta facilitadora da integração das vontades e necessidades dos pacientes e profissionais no processo de decisão. Esta ferramenta ambiciosa, na sua versão primordial, melhorar as características de um produto ou serviço considerando os requisitos dos clientes. Ao longo dos anos, o QFD tem sofrido um conjunto de extensões e modificações de forma a ser adaptada a diversas questões em diferentes setores. Embora existam algumas aplicações na área da saúde, apenas foi possível identificar duas utilizações desta ferramenta em processos de aquisição de equipamentos médicos (Saleh, 2014 e 2015). No presente trabalho, pretende-se explorar o QFD tendo em vista integrar as vontades e necessidades dos utilizadores diretos dos equipamentos médicos no novo modelo de aquisição de equipamentos.

## **2.4. O Quality Function Deployment**

O desdobramento da função qualidade (QFD) foi criado, na década de 60, por Yoji Akao. De acordo com Akao (2004, citado em Moghimi *et al.*, 2017) o QFD “é um método para desenvolver um projeto direcionado para a satisfação do consumidor, traduzindo as necessidades dos consumidores em objetivos de projeto e em garantias de qualidade, enquanto o produto está na sua fase de conceção”. Um dos grandes desafios no processo de desenvolvimento de um serviço ou produto é o de incorporar o cliente/utilizador, tendo o QFD surgido como uma técnica que se foca largamente em dar uma boa resposta a este desafio (Griffin, 1992). Os requisitos do utilizador ou do cliente podem ser identificados através da “Voz do Consumidor”. Estes requisitos são, normalmente, muito vagos e precisam de ser traduzidos em requisitos técnicos que possam ser implementados no serviço e/ou produto (Reilly, 1999). Moisiadis (2002) releva ainda a importância da priorização destes requisitos antes de iniciar o processo de desenvolvimento do produto ou serviço.

Assim, globalmente, o QFD permite a identificação e priorização de requisitos de qualidade e tecnológicos que asseguram a satisfação do consumidor. Esta é considerada a principal mais valia desta metodologia por Akao e Mazur (2003).

A ferramenta mais utilizada no QFD é a “Casa da Qualidade”, a principal matriz do QFD, composta por 7 matrizes individuais. Na figura 2 é possível observar a estrutura geral da Casa da Qualidade, bem como as diferentes secções que a compõem:

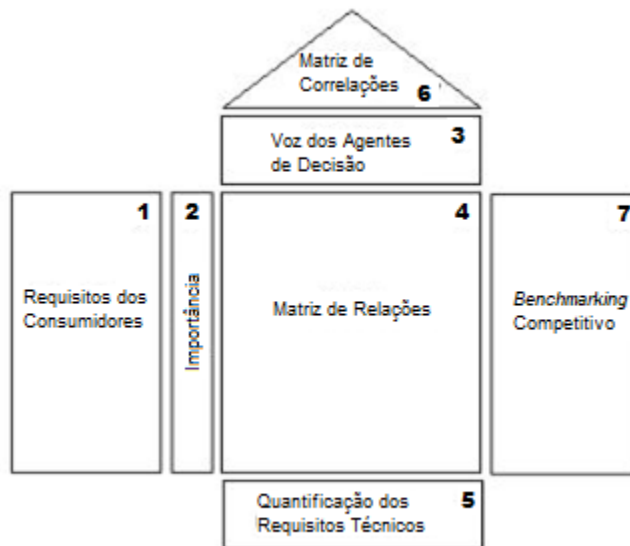


Figura 2 - Casa da Qualidade. Adaptado de Akao (1990)

#### 2.4.1. Requisitos do Consumidor (Voz do Consumidor)

A matriz de Requisitos do Consumidor ou dos Utilizadores (1), observada na figura 2, deve ser a primeira a ser construída na metodologia apresentada. Numa primeira fase devem ser identificados os consumidores do produto ou serviço, que devem incluir os utilizadores finais, operadores, gestores e qualquer pessoa que possa beneficiar da utilização do produto ou do serviço (Kivinen, 2008) (Hamilton e Selen, 2004). Os requisitos poderão ser obtidos com recurso a bibliografia, entrevistas ou questionários a consumidores previamente identificados (Lombarte, 2012).

#### 2.4.2. Importância Atribuída pelos Consumidores

A matriz-coluna de importância (2) corresponde ao segundo passo na construção da Casa da Qualidade (Chan e Wu, 2002). É uma matriz coluna que procura indicar a importância atribuída pelo consumidor a cada requisito. De acordo com Ermer e Kniper (1998) o consumidor deve avaliar os requisitos numa escala numérica de 1 (nada importante) até 5 (muito importante). Alguma bibliografia sugere a representação da importância relativa de cada critério como uma percentagem (Bayraktaroglu e Ozgen, 2008), mas este dado surge como meramente ilustrativo, não sendo utilizado na priorização dos critérios.

### 2.4.3. Voz dos Agentes de Decisão

A matriz que dá voz aos Agentes de Decisão é também muitas vezes chamada “Matriz de Requisitos Técnicos” (3). Esta matriz procura definir os requisitos, características e capacidades do serviço ou produto, do ponto de vista dos agentes de decisão (Akao e Mazur, 2003). Nas situações em que existe um conjunto de agentes de decisão, é sugerido que haja uma cooperação entre todos os agentes envolvidos no serviço ou produto, no sentido da definição dos requisitos técnicos.

### 2.4.3. Matriz de Relações

A Matriz de Relações (4) relaciona a Voz do Consumidor com a Voz dos Agentes de Decisão. Cada item, ou impacto, desta matriz relaciona um Requisito do Consumidor com um Requisito Técnico (Shen *et al*, 2000). A relação de cada um destes pares pode ser muito diferente entre si. Nesse sentido, Cohen (1995) propõe a utilização de uma escala com 3 itens: 9 (relação forte), 3 (relação moderada) e 1 (relação fraca). A ausência de relação entre dois requisitos é ilustrada pelo não preenchimento da célula correspondente na Matriz de Relações.

### 2.4.4. Quantificação dos Requisitos Técnicos

É na matriz de Quantificação dos Requisitos Técnicos (5) que se consegue priorizar os requisitos, definidos pelos agentes de decisão, mais relevantes no sentido da satisfação do consumidor. Os requisitos que obtiverem uma maior pontuação nesta matriz são aqueles em que os agentes de decisão se devem focar para desenvolver o produto ou serviço, ou no caso do presente trabalho, tomar uma decisão (González *et al.*, 2004). A prioridade de cada requisito é calculada através da soma da multiplicação de cada impacto, na Matriz de Relações, pela respetiva importância atribuída a cada requisito do consumidor.

### 2.4.5. Matriz de Correlações

A Matriz de Correlações (6) corresponde ao telhado da Casa de Qualidade e permite relacionar os diferentes requisitos técnicos entre si (Shen *et al*, 2000). É utilizada uma escala que define a relação como sendo fortemente positiva, moderadamente positiva, não existente, moderadamente negativa ou fortemente negativa (Bevilacqua *et al.*, 2006). Esta matriz, é meramente indicativa, não participando nos cálculos afetos a priorização dos requisitos. No entanto, é um excelente indicador de *trade-offs* que possam ser necessários entre requisitos (Shen *et al.*, 2000).

### 2.4.6. Benchmarking Competitivo

A matriz mais à direita da Casa da Qualidade é a de Benchmarking Competitivo (7), ou de Planeamento. Esta matriz pretende comparar o produto ou serviço a desenvolver com outros já existentes no mercado (Shen *et al*, 2000), de forma a melhor compreender os pontos fracos

e fortes do produto ou serviço, bem como as áreas de melhoria, correspondentes a requisitos importantes para o consumidor aos quais a empresa e os concorrentes não dão resposta. Para efeitos do presente trabalho, ao tentar definir um conjunto de critérios que satisfaçam os consumidores, não é possível apurar se esses mesmos critérios já são tidos em conta nos processos de aquisição de equipamentos, uma vez que são desconhecidas ferramentas concorrentes no setor público português da saúde. Por esta razão, esta matriz foi desconsiderada nesta dissertação.

#### 2.4.7 Utilização de QFD no setor da saúde

O desdobramento da função qualidade (QFD) começou por ser utilizado, como anteriormente mencionado, no final da década de 60, no Japão. Nesta altura era principalmente utilizado em indústrias mais pesadas, como as indústrias automobilística e náutica (Shahin, 2008). Desde 1983 que se pode considerar que a metodologia foi largamente difundida internacionalmente, sendo utilizada no sentido de melhorias nos produtos e no processo de desenvolvimento dos mesmos (Akao e Mazur, 2003). Na área dos serviços há ainda pouca difusão da metodologia devido, principalmente, à ambiguidade entre o produto (serviço) e o processo (Dijkstra, 2002). É possível, ainda assim, encontrar algumas aplicações desta metodologia nas indústrias do desporto, retalho, turismo, educação, recursos humanos, finanças e saúde (Akao e Mazur, 2003). No setor da saúde as aplicações passam por centrar rotinas médicas no paciente (Chaplin *et al.*, 1999; Chaplin and Terninko, 2000; Einspruch *et al.*, 1996), aumentar a satisfação dos pacientes em serviços hospitalares (Dumas, 2012; Keshtkaran *et al.*, 2016; Volpato, 2010; Yeh, 2010; Lim, 2000; Radharamanan and Godoy, 1996), criar sistemas de manutenção para equipamentos médicos (AlJazzazi, *et al.*, 2013; Al-Bashir *et al.*, 2012; Saleh *et al.*, 2015) ou ainda desenvolver farmacêuticos e equipamentos médicos (Kriewall, 2002). Saleh (2014) utiliza o QFD para incorporar os pacientes numa metodologia de decisão para a priorização de aquisição de equipamentos, no entanto, obriga a avaliar as alternativas de acordo com cada um dos requisitos do consumidor e, depois, a avaliar de novo as alternativas de acordo com os requisitos dos agentes de decisão.

#### 2.4.8. Utilização de QFD para a seleção de critérios

Na bibliografia analisada, foi possível encontrar um conjunto de referências que utilizam o QFD para a determinação dos pesos a atribuir a cada um dos critérios, no âmbito de decisões multicritério (Yazdani *et al.*, 2016; Onut e Tosun, 2014). O QFD é também amplamente utilizado para a seleção de uma alternativa preferida (Prasad, 1998; Haldar *et al.*, 2010; Karsak e Ozogul, 2009; Rajesh, 2013; Prasad, 2016; Chadawada *et al.*, 2015). À exceção de Saleh (2014, 2015), não foi possível encontrar bibliografia na qual constasse a utilização de QFD para a seleção de um conjunto de critérios adequados para a determinação da melhor alternativa. O QFD é uma metodologia que exige a análise de uma grande quantidade de dados, revela-se um processo extremamente moroso e burocrático, mas por outro lado permite organizar um grande conjunto de dados de forma sistemática, admitindo, sempre, o consumidor como agente central no processo e melhorando as relações entre a empresa e o mesmo (Wolnjiak, 2018). A repetição constante deste processo cada vez que é necessário selecionar um tipo de equipamento é

pouco prática. Assim, a metodologia proposta no presente trabalho inclui a seleção de um conjunto de critérios para a problemática da aquisição de equipamentos, que incluam os requisitos dos consumidores e dos agentes de decisão. Este conjunto de critérios será considerado, depois, numa metodologia de apoio à decisão multicritério. Ao ser selecionado apenas o conjunto de critérios mais relevante na prossecução das vontades e necessidades dos utilizadores, a metodologia será mais rápida, mas igualmente eficaz e, ao utilizar a metodologia QFD para seleccionar estes critérios, saber-se-á que se está a ter em conta os requisitos dos consumidores.

## 2.5. Modelos de Apoio à Decisão Multicritério (MADM)

A decisão multicritério assenta na análise de diferentes alternativas quando considerados critérios individuais, muitas vezes conflitantes, com o objetivo de avaliar globalmente as alternativas (Hwang e Yoon, 1981).

A primeira referência a um modelo de decisão multicritério é associada a Benjamin Franklin (1706-1790) que desenhou um simples sistema para avaliar os assuntos que considerava importantes. Numa folha de papel o político escrevia, de um lado, os argumentos a favor de uma dada decisão e, do outro lado, os argumentos contra a decisão. Benjamin Franklin ia riscando os argumentos, de um lado e de outro, aos quais atribuía uma importância relativa equivalente. Quando todos os argumentos, de um dado lado, estivessem riscados, o lado onde ainda restassem argumentos deveria ser a posição assumida em relação à decisão (International Society on MCDM, 2018).

A decisão multicritério, como parte integrante da Investigação Operacional, é o resultado de interligação dum conjunto de áreas do conhecimento, sendo hoje reconhecida como uma ferramenta universal (Jahan e Edwards, 2013). O principal objetivo desta área é a melhoria dos processos de decisão através de ferramentas matemáticas de análise, modelação e otimização em contextos empíricos. As ferramentas de apoio à decisão multicritério são utilizadas nos variados setores para um conjunto de problemáticas, como por exemplo planeamento (Pohekar e Ramachandran, 2004), transportes (Tzeng *et al.*, 2005; Bit *et al.*, 1992) e orçamentação e alocação de recursos (Lootsma *et al.*, 1990; Philips e Costa, 2007; Gavade, 2014). No caso concreto do setor da saúde, os MADM têm sido utilizados no sentido de decisões de diagnóstico e terapêutica (Adams *et al.*, 2013; Miot *et al.*, 2012; Hummel *et al.*, 2011; Tony *et al.*, 2011; Liberatore *et al.*, 2003), avaliação de tecnologias e medicamentos (Morais, 2015; Devlin e Sussex, 2011; Danner *et al.*, 2011; Figueiredo, 2009; Cho e Kim, 2003) e planeamento de recursos (Endrei, 2014; Toumi, 2011; Nobre *et al.*, 1999). Pode encontrar-se uma revisão bibliográfica exaustiva da aplicação de modelos multicritério na área da saúde em Drake *et al.* (2016) e Adunlin *et al.* (2014).

Os modelos de apoio à decisão multicritério (MADM) constituem uma sequência de passos que não seguem, necessariamente, uma determinada ordem, sendo o processo, como um todo, iterativo (Thokola *et al.*, 2016). De uma forma geral, os passos são (Thokola *et al.*, 2016; Majumeder, 2015; Afsordegan, 2015; Tzeng e Huang, 2011; Triantaphyllou, 2000):

- 1) Identificar o objetivo do processo de decisão e os agentes de decisão

- 2) Selecionar os critérios e alternativas
- 3) Atribuir pesos a cada critério e avaliar cada alternativa
- 4) Agregar resultados e formular uma decisão com base nos resultados

Thokola *et al.* (2016) define ainda como essencial um passo de análise de sensibilidade dos resultados obtidos, através da variação dos pesos ou das avaliações atribuídas.

As metodologias de apoio à decisão têm um conjunto de terminologias conceptuais comuns, que serão abordadas ao longo da dissertação, pelo que se definem, brevemente como:

- **Alternativas:** ações, opções ou estratégias que podem ser avaliadas isoladamente e constituem as soluções ou conjunto de soluções possíveis. Serão representadas por  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ .  $A$  é o conjunto finito de alternativas em avaliação e  $m$  o número de alternativas em  $A$  (Afsordegan, 2015). De acordo com Majumder (2015) as alternativas devem ser comparáveis e reais (não ideais e não hipotéticas).
- **Crítérios:** também denominados atributos, permitem definir a atratividade de cada alternativa sobre um determinado ponto de vista. Um critério pode ser de maximização (o valor é tanto melhor quanto maior) ou de minimização (o valor é tanto melhor quanto menor). São representados por  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ , em que  $C$  é o conjunto finito de critérios e  $n$  o número de critérios em  $C$ . Cada  $c_j(a_i)$  representa o desempenho da alternativa  $a_i \in A$  no critério  $c_j \in C, j \in \{1, 2, \dots, n\}$  (Afsordegan, 2015; Mello *et al.*, 2003). Os critérios devem ser coerentes com a decisão, independentes e mensuráveis (Majumder, 2015).
- **Pesos:** forma subjetiva de expressar os *trade-offs* entre critérios, o que se traduz, de forma grosseira, na atribuição de uma importância relativa a cada um dos critérios. De uma forma geral são representados por  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  (Afsordegan, 2015).
- **Agentes de Decisão:** são o indivíduo ou o coletivo que procura satisfazer um dado objetivo através da decisão e são envolvidos ao longo de todo o processo.

O ponto de partida para qualquer metodologia de apoio à decisão envolve a compreensão e definição do problema e o objetivo da solução, sendo crucial definir neste passo o tipo de resultado que se procura (Thokala *et al.*, 2016). Doumpos e Grigoroudis (2013), distinguem, dentro dos MADM, três tipos de problemas: ordenação, escolha ou afetação de alternativas. O problema de ordenação corresponde à ordenação de um conjunto de alternativas e produção de uma tabela de classificação ordenada da alternativa mais atrativa para a menos atrativa. O problema de escolha de alternativa diz respeito à seleção de apenas um subconjunto da(s) melhor(es) alternativa(s). O problema de afetação de alternativas está relacionado com a alocação das diferentes alternativas a uma classe de entre um conjunto de classes predeterminadas. Para que seja possível estabelecer objetivos adequados é necessário estabelecer, nesta fase, os agentes de decisão (Thokala *et al.*, 2016).

A segunda fase do desenvolvimento de uma metodologia multicritério implica a seleção de critérios e de alternativas. A seleção de critérios e de alternativas pode ser obtida através de revisões bibliográficas, *focus groups* ou inquéritos e aqueles devem ter as qualidades mencionadas anteriormente (Campolina *et al.*, 2017; Thokala *et al.*, 2016; Majumder, 2015).

A atribuição de pesos aos critérios e a avaliação de cada alternativa constituem o passo seguinte. A avaliação do desempenho de cada alternativa segundo um dado critério pode seguir métodos composicionais ou decomposicionais (Thokala *et al.*, 2016). Os métodos decomposicionais começam por avaliar cada alternativa segundo alguns ou todos os critérios, e utilizam depois esta avaliação para explicitar a importância de cada critério, por outro lado os métodos composicionais atribuem um peso a cada critério e uma avaliação a cada alternativa de forma separada e subsequente (Thokala *et al.*, 2016). Os pesos, conforme indicado anteriormente, determinam a importância relativa dos critérios, podendo ser considerados como análogos a uma taxa de conversão; as avaliações segundo cada critério representam um dado valor, mas são, à partida, não comensuráveis, sendo assim necessário atribuir pesos. Os métodos para gerar pesos podem ser composicionais – afetação de pontos, avaliação direta da importância ou SMART (*Simple Multi Attribute Rating Technique*) (Thokala *et al.*, 2016; Bottomley *et al.*, 2000; Edwards, 1977), métodos de comparação dois a dois (AHP (Saaty, 1977)) e ainda alguns métodos decomposicionais. A atribuição de pesos e a avaliação de cada alternativa são feitas pelas partes interessadas na decisão que, por vezes, são os agentes de decisão (Thokala *et al.*, 2016).

O último passo do processo de decisão implica a agregação das avaliações de cada alternativa, segundo cada critério. O método de agregação pode ser uma média, um produto, uma função (derivada de uma regressão ou da probabilidade de ser a alternativa preferida) (Thokala *et al.*, 2016; Majumder, 2015). É recomendada ainda uma análise de sensibilidade que confirme a estabilidade do resultado. Regra geral, esta análise é realizada através de um conjunto de cenários hipotéticos em que são variados os pesos dos critérios e/ou as avaliações feitas para cada alternativa (Thokala *et al.*, 2016; Majumder, 2015).

Os passos acima indicados são uma das muitas formas de definir as fases de um processo de decisão. A figura 3 mostra uma outra forma de definir este tipo de processos.



Figura 3 - Fases de um processo de decisão. Adaptado de Pires *et al.* (2019)

Os modelos de apoio à decisão multicritério são variados, sendo que Guarini *et al.* (2018) estimam que existam mais de 100 métodos em circulação. No entanto, nem todos os métodos são aplicáveis para uma dada problemática, sendo necessário identificar o MADM indicado para a situação do caso de estudo.

Numa primeira análise, é relevante perceber se o MADM a utilizar deve ter uma natureza compensatória ou não compensatória. De uma forma genérica, os métodos compensatórios

permitem *trade-offs* entre critérios, isto é, uma *performance* superior num dado critério, pode ser contrabalançada por uma *performance* inferior noutra critério (Guitoni e Martel, 1998). Por outro lado, os métodos não compensatórios não permitem *trade-offs* entre critérios, por exemplo, são rejeitados todos os refrigerantes que contenham adoçantes artificiais, independentemente do sabor ou do número de calorias (Majumder, 2015). De acordo com Tiesmeier (2016), os métodos não compensatórios podem ser utilizados como uma “pré-análise” das alternativas, para determinar aquelas que não atingem um determinado valor num ou vários critérios. Xu e Yang (2001), referem como grande desvantagem dos métodos não compensatórios a eliminação de uma alternativa cuja *performance*, para um dado critério, é muito próxima do patamar aceitável, ainda que, para todos os restantes critérios o seu desempenho seja largamente superior, quando comparado com as restantes alternativas. Tiesmeier (2016), refere que os métodos inseridos na classe de métodos compensatórios são mais rigorosos e precisos para decisões multicritério complexas. Alguma bibliografia define ainda métodos parcialmente compensatórios, em que é admitido algum tipo de *trade-off* e nos quais o maior problema consiste na avaliação do grau de compensação entre critérios (Afsordegan, 2016; Guitoni e Martel 1998; Colson e De Bruyn, 1989). A figura 4 procura categorizar alguns MADM tendo em conta a sua natureza compensatória, tendo sido escolhidos alguns dos modelos mais difundidos para cada uma das classes (Guarini *et al.*, 2018; Xu e Yang, 2001; Ebrahimnejad *et al.*, 2011).

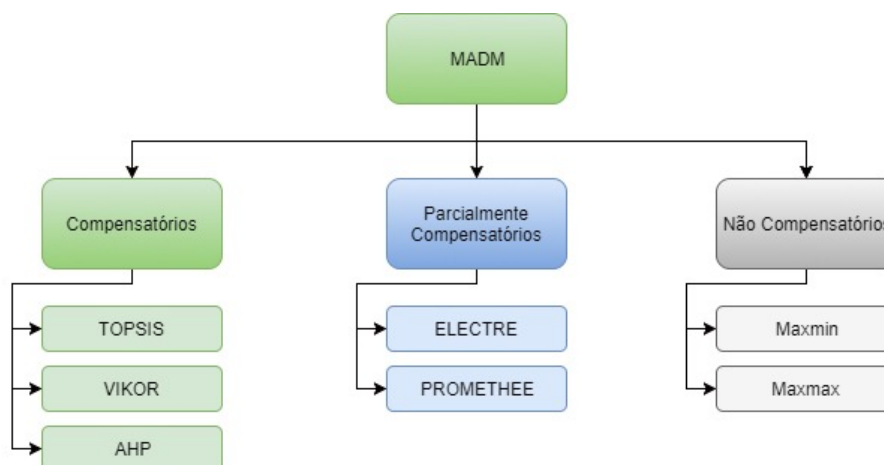


Figura 4 - Categorização de alguns MADM considerando a sua natureza compensatória. Adaptado de Xu e Yang (2001) e Ebrahimnejad *et al.* (2011)

Os modelos não compensatórios não serão considerados no foro do presente trabalho, pelas desvantagens previamente referidas. Para mais informações sobre este tipo de modelos recomenda-se a consulta de Xu e Yang (2001). Nos próximos subcapítulos é feita uma análise das metodologias compensatórias, TOPSIS, VIKOR e AHP, e parcialmente compensatórias ELECTRE e PROMETHEE.

### 2.5.1. Modelos Parcialmente Compensatórios

As famílias de modelos multicritério PROMETHEE e ELECTRE são consideradas de natureza parcialmente compensatória, uma vez que, permitindo que o desempenho das alternativas num dado critério seja compensado pelo desempenho das mesmas num outro critério, não

têm em conta a magnitude das diferenças de desempenho (Latteman, 2010). Os modelos de apoio à decisão destas duas famílias são considerados modelos de *outranking*. A ideia de base para estes modelos é a comparação do desempenho de duas ou mais alternativas, critério a critério, de forma a compreender se é possível estabelecer uma preferência de uma alternativa sobre a outra. Nas duas subsecções seguintes estas famílias de MADM serão descritas.

#### 2.5.1.1. A família ELECTRE

A família de modelos de apoio à decisão ELECTRE (do francês *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) foi introduzida por Bernard Roy na década de 60 e consiste em 7 modelos diferentes - os ELECTRE II, III, IV, A, IS e TRI que derivam do modelo original ELECTRE I (Tscheikner-Gratl *et al.*, 2017; Roy, 1968). A utilização destes modelos implica modelar um sistema de preferências que pode ser implícito ou explícito e que, para cada par de alternativas, apenas pode assumir uma das seguintes: indiferença, preferência ou incomparabilidade (Afsordegan, 2016). De acordo com Afsordegan (2016), há 4 formas de definir as relações de preferência entre alternativas, nesta família de modelos. Considerando  $a_i$  e  $a_j$  ( $i \neq j$ ):

- Preferência estrita ( $a_i P a_j$ ):  $a_i$  é estritamente preferida a  $a_j$ .
- Preferência fraca ( $a_i Q a_j$ ):  $a_i$  é fracamente preferida a  $a_j$ , esta situação corresponde a uma hesitação entre as alternativas.
- Indiferença ( $a_i I a_j$ ):  $a_i$  é indiferente a  $a_j$ , situação em que há uma equivalência entre as duas alternativas.
- Incomparabilidade ( $a_i R a_j$ ): corresponde a uma ausência de razões que justifiquem o enquadramento em qualquer uma das relações anteriores.

Numa primeira fase são utilizadas relações de *outranking* parciais, nas quais são comparadas as alternativas apenas sob determinado critério, sendo introduzidos dois limiares discriminatórios para cada critério. Estes limiares podem ser preestabelecidos ou dependentes do desempenho das alternativas: o limiar de indiferença, abaixo do qual o decisor sente indiferença perante duas alternativas, considerado determinado critério e o limiar de preferência, acima do qual há uma preferência clara entre duas alternativas, considerando os seus desempenhos num dado critério (Terrientes, 2015).

Para criar as relações de *outranking* entre alternativas, aplicam-se as situações anteriormente descritas, sendo para isso utilizados os conceitos de “opinião da maioria” e “possibilidade de veto”, formalizados nos índices de concordância e discordância (Afsordegan, 2016). A concordância corresponde à validação de uma relação de preferência entre alternativas, por meio de uma maioria de critérios que corroborem a dita preferência. A discordância, por outro lado, implica que a relação não pode ser corroborada porque existe uma minoria de critérios contra. Para tal são introduzidos dois parâmetros: a importância relativa de cada critério e o limiar de veto. A importância de cada critério pode ser vista como o poder de voto de cada critério na relação. O limiar de veto pretende obrigar a que a diferença de *performance* entre duas alternativas, para um dado critério, seja “grande” o suficiente para corroborar uma preferência entre alternativas (Terrientes, 2015).

Os métodos mais utilizados para a criação de uma lista ordenada são ELECTRE II, III e IV (Afsordegan 2016).

### 2.5.1.1. A família PROMETHEE

A família de MADM PROMOTHEE foi introduzida em 1982, por Jean-Pierre Brans, com o PROMOTHEE I e II, para ordenações parciais e completas, respetivamente (Brans, 2006). Mais tarde, foram introduzidos os métodos PROMETHEE III, IV V e VI (Cavalcante, 2003). Os métodos PROMETHEE criam uma relação, numérica, de *outranking* com base num índice de preferência  $P_j(a_i, a_k) \in [0,1]$  e  $i \neq k$ . O índice de preferência representa o grau de preferência de  $a_i$  sobre  $a_k$  e é calculado a partir da diferença no desempenho das alternativas  $a_i$  e  $a_k$ , tal que  $P_j(a_i, a_k) = c_j(a_i) - c_j(a_k)$ . Quanto mais próximo  $P_j(a_i, a_k)$  estiver de 0, maior a indiferença entre as alternativas e quanto mais próximo estiver de 1 maior a preferência de  $a_i$  sobre  $a_j$  (Del Vasto, 2015). As formas mais comuns de definir este índice de preferência podem ser encontradas em Brans e Vincke (1985).

De acordo com Afsordegan (2016), após o cálculo de todos os índices de preferência, para todos os pares de alternativas, é calculado o índice de preferência global  $\Pi(a_i, a_k)$ , que representa a média ponderada das funções de preferência parciais e contabiliza o peso  $w_j$  de cada critério  $j$ . É calculado de recorrendo a:

$$\Pi(a_i, a_k) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j P_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m w_j}$$

Cavalcante (2003) explica os dois conceitos que se seguem à contabilização da preferência global de uma alternativa sobre a outra. O fluxo de saída  $\varphi^+(a_i)$ , representa as relações de *outranking* que  $a_i$  tem sobre todas as restantes alternativas. O fluxo de entrada  $\varphi^-(a_i)$ , representa, por sua vez, as relações de *outranking* que as restantes alternativas têm sobre  $a_i$ . Quanto maior  $\varphi^+(a_i)$  e quanto menor  $\varphi^-(a_i)$ , melhor será a alternativa.

A maior fraqueza dos MADM de *outranking* é a sua difícil compreensão devido aos princípios utilizados na determinação das matrizes de concordância e discordância e índices de preferência (Gavade, 2014; Velasquez e Hester, 2013). Estas famílias de métodos obrigam a um elevado número de interações, uma vez que procuram definir preferências entre alternativas, para cada critério. São, assim, metodologias que consomem muito tempo (Tscheikner-Gratl, 2017). Este tipo de metodologias levanta também problemas quando os critérios são quantitativos e requerem uma pontuação (Afsordegan, 2015). No caso específico da família ELECTRE, pode ser produzida uma lista ordenada, mas sem uma pontuação associada. No caso da família PROMETHEE é possível associar uma pontuação, no entanto esta pontuação diz respeito ao grau de preferência e não à avaliação da alternativa de forma independente.

A revisão bibliográfica feita aos modelos parcialmente compensatórias ELECTRE e PROMETHEE alertou, pois, para um conjunto de dificuldades e desvantagens que culminaram na desconsideração dos mesmos para aplicação no presente caso de estudo.

## 2.5.2. Modelos Compensatórios

Os métodos de apoio à decisão AHP, TOPSIS e VIKOR inserem-se na categoria de modelos compensatórios (Ebrahimnejad, 2012). Nas subsecções seguintes serão descritos estes métodos de apoio à decisão.

### 2.5.2.1. AHP

A metodologia AHP (Analytical Hierarchy Process) foi desenvolvida por Saaty, na década de 70, e tem por base conceitos de matemática e psicologia, fornecendo um quadro racional de estruturação de um problema de decisão, relacionando os critérios com objetivos gerais e com alternativas, conforme observado na figura 5 (Saaty, 1977). Com recurso ao AHP é possível construir um modelo de avaliação estruturado de forma hierárquica, sendo utilizada a mesma técnica para cada nodo da hierarquia. A avaliação dos critérios e subcritérios é feita através de comparações dois a dois entre critérios. O AHP decompõe o problema de decisão num sistema hierárquico de atributos e tem tantos níveis quanto aqueles que sejam necessários para caracterizar uma decisão particular (Gavade, 2014). No caso mais simples, a metodologia apresenta 3 níveis, o de topo com o objetivo da decisão que se desagrega em  $n$  critérios, que por sua vez se dividem no número de alternativas. A estrutura geral da metodologia AHP pode ser observada na figura 5.

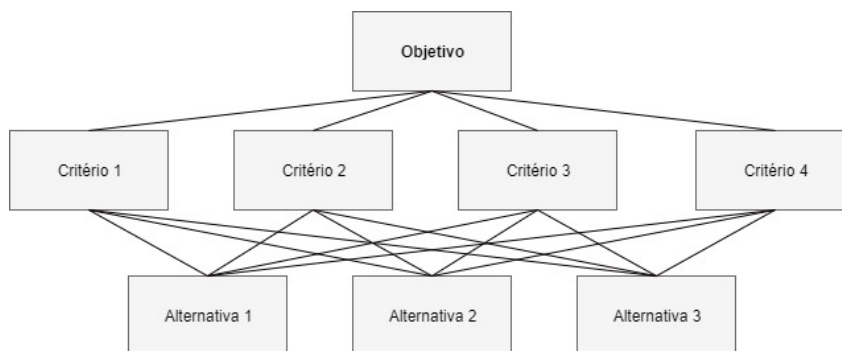


Figura 5 - Estrutura geral da metodologia AHP. Fonte: Gavade (2014)

O método AHP segue o fluxograma da figura 6.

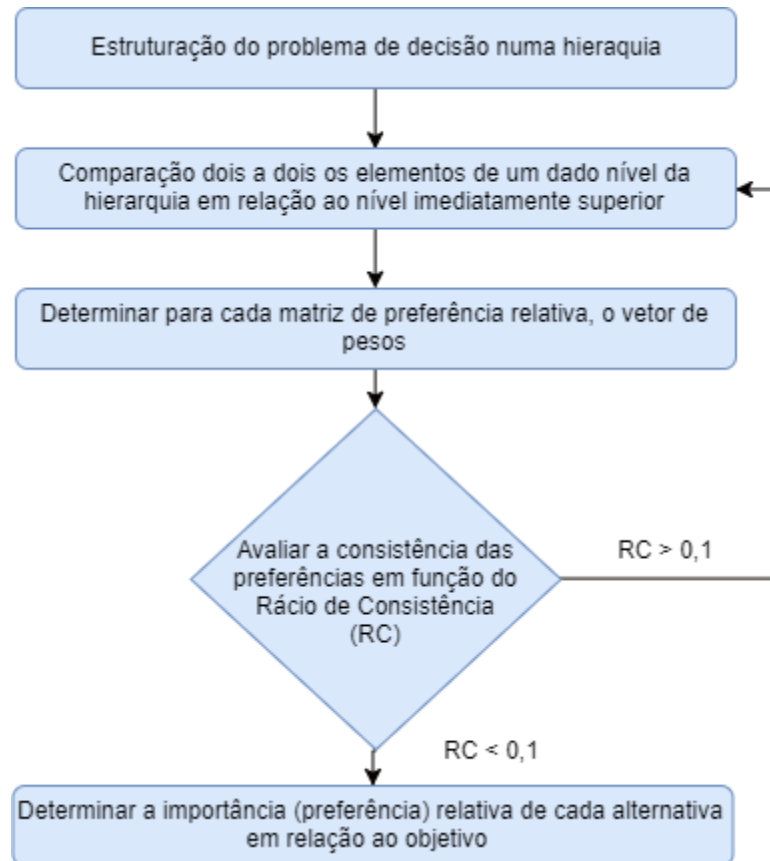


Figura 6 - Fluxograma do método AHP. Fonte: Schmidt (1995)

O método AHP contempla a atribuição de um peso a cada elemento da hierarquia, o que permite que os elementos possam ser comparados uns com os outros, de forma racional. Nas próximas páginas será feita uma descrição da metodologia, por meio de um conjunto de passos, tendo por base Saaty (1977), Saaty (1991) e Saaty (2004):

**Passo 1: Estruturação da decisão**

É construída uma hierarquia com uma estrutura semelhante à da figura 5, podendo ter mais níveis intermédios (ou subcritérios). Os critérios, em cada nível, podem ser vistos como decomposição dos critérios do nível imediatamente anterior. A hierarquia deve ser complexa o suficiente para que a situação de decisão esteja bem representada, mas pequena o suficiente para que seja sensível a variações.

**Passo 2: Construir matrizes de prioridades**

Estas matrizes (figura 7) permitem a comparação entre elementos, dois a dois. Assim, recorrendo à estrutura da figura 5, para cada critério, é feita uma comparação entre duas quaisquer alternativas. Ou seja, uma dada alternativa considerada à esquerda da matriz é comparada com a alternativa no topo da mesma e é inserido um valor de importância. Após feitas todas as comparações, está construída uma matriz de prioridades *D*.

<i>D</i>	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$
Alternativa 2	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$
Alternativa 3	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$

Figura 7 - Matriz de Prioridades para o 3.º nível da hierarquia apresentada na Figura 5. Adaptado de Saaty (2004)

A matriz de prioridades tem, no entanto, algumas particularidades. O valor  $p_{ij}$  pretende classificar “quão mais ou menos importante” é a alternativa  $i$  em relação à alternativa  $j$ . Uma outra particularidade da matriz é a sua reciprocidade, ou seja,  $p_{ij} = 1/p_{ji}$  e  $p_{ii} = 1$ . Assim, para a matriz na figura 7, apenas seria necessário fazer 3 comparações, correspondentes a 3 elementos da matriz, estando os restantes elementos da matriz automaticamente determinados. Estas comparações devem ser feitas entre cada par de alternativas, para um dado critério comum. Saaty desenvolveu a “Escala Fundamental” para fazer estas comparações. O propósito desta escala é estabelecer quantas vezes uma dada alternativa é mais “dominante” (i.e., importante, preferível) em relação a outra com a qual está a ser comparada. A escala é apresentada na figura 8.

Magnitude	Definição	Descrição
1	Igual Importância	Os dois elementos são de igual importância para o cumprimento do objetivo
2	Fraca ou escassa	
3	Importância Moderada	Há um ligeiro favorecimento do elemento $i$ sobre o elemento $j$
4	Importância Moderada +	
5	Importância Forte	O elemento $i$ é favorecido em relação ao elemento $j$
6	Importância Forte +	
7	Importância Muito Forte	O elemento $i$ é fortemente preferido em relação ao elemento $j$
8	Importância Muito, Muito Forte	
9	Importância Extrema	O elemento $i$ é de máxima importância em relação ao elemento $j$

Figura 8 - Escala Fundamental de Saaty, utilizada para a construção da matriz de preferências. Fonte: (Saaty, 2004)

Na figura 8 são referidos elementos uma vez que as matrizes de prioridades, e consequentes comparações, são feitas para alternativas, critérios ou subcritérios.

**Passo 3: Determinar o vetor de pesos de cada matriz**

Os pesos associados a cada matriz de preferências são determinados através do cálculo do vetor próprio  $w$  correspondente ao valor próprio máximo  $\lambda_{max}$  da mesma. O cálculo de vetores próprios e dos valores próprios pode ser muito extenso. Assim, Saaty desenvolveu um método que pode ser definido como um método de médias aritméticas normalizadas.

Para proceder ao cálculo do vetor próprio (ou de pesos) a matriz de prioridades deve ser normalizada, com os valores  $q_{ij}$  a corresponder aos valores  $p_{ij}$  normalizados:

$$q_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=1}^n p_{ij}}$$

Os elementos do vetor de pesos  $w$ , são dados por:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n q_{ij}}{n}$$

...o que corresponde à média aritmética de cada linha da matriz de prioridades. Por sua vez, o valor próprio máximo é calculado recorrendo à seguinte formulação:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Dw)_i}{w_i}$$

Os resultados obtidos por meio deste método constituem uma aproximação, tanto mais precisa quanto mais consistentes forem as comparações entre alternativas. Este método é significativamente menos trabalhoso do que outros métodos como, por exemplo, o método da potência ou da média geométrica que podem ser consultados em Cabala (2010).

**Passo 4: Determinar a consistência das preferências**

Saaty refere que uma qualquer matriz de preferências é consistente quando a seguinte igualdade se verifica:

$$p_{ik}p_{kj} = p_{ij}$$

Esta igualdade é uma expressão que verifica a propriedade de transitividade de preferências, ou seja, se  $a_1$  é preferida a  $a_2$  e  $a_2$  é preferida a  $a_3$ , então  $a_1$  é preferida a  $a_3$ .

Saaty explica que é necessário haver consistência para que se possa avaliar o mundo de uma forma científica, no entanto, é necessário algum grau de inconsistência para que seja possível receber novas informações e adaptar o pensamento às mesmas. O autor considera que “vivemos com a contradição de que temos de ser consistentes para capturar conhecimento válido, mas ao mesmo tempo precisamos de ser capazes de mudar de ideias e ser inconsistentes se se tornar disponível nova informação, que requeira que mudemos a nossa forma de pensar”. Assim, Saaty define que a inconsistência deve ser precisamente uma ordem de magnitude menos importante do que a consistência, i.e., a inconsistência não deve superar os 10%, sob o risco de prejudicar a consistência do pensamento.

O índice de consistência (CI) de uma qualquer matriz de preferências é dado por

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Para avaliar se a inconsistência é igual ou inferior a 10%, é calculado o Rácio de Consistência (RC) dado por

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

Em que RI é o índice de consistência aleatória, derivado a partir de 500 matrizes recíprocas e aleatoriamente geradas e utilizando a Escala Fundamental. Os valores RI foram estimados, por Saaty, para matrizes  $n \times n$ , com  $n = 1, 2, \dots, 10$ , e são apresentados na figura 9:

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Figura 9 - Índices de Consistência Aleatória para diferentes tamanhos de matriz. Fonte: Saaty (1991)

Caso o Rácio de Consistência, para determinada matriz RC seja inferior a 0.1 (10%), considera-se que a matriz de preferências é consistente e, conseqüentemente, o vetor de pesos também o é. Caso contrário, deverá voltar-se às matrizes de preferências e rever as opções feitas, de forma a tornar as comparações mais consistentes entre si.

Saaty apenas simulou os índices de consistência aleatórios para matrizes de ordem igual ou inferior a 10 uma vez que é do seu entendimento que se o número de elementos (critérios, subcritérios, alternativas) for elevado, as suas prioridades relativas, ou pesos, serão muito pequenas e um erro poderá distorcer significativamente os pesos. Por outro lado, se o número de elementos for pequeno, um pequeno erro não afeta a ordem de magnitude das preferências e os pesos manter-se-ão muito semelhantes. Por esta razão Saaty diz que o número de elementos não deverá ser superior a 10, para que de uma forma geral os critérios com pesos mais baixos rondem os 10% e não sejam afetados por um erro de 1%, por exemplo.

#### **Passo 5: Determinar a melhor alternativa**

Neste passo obtém-se a preferência global de cada alternativa através da adição dos valores ponderados obtidos em cada nível da hierarquia, começando pelo mais abaixo. A melhor alternativa será a que tem o resultado mais elevado.

Esta metodologia é muito utilizada por ser simples, intuitiva e por conseguir considerar inconsistências (Gavade, 2014). Por outro lado, é um método que se adapta à dimensão do problema, introduzindo mais níveis na estrutura hierárquica. No entanto, este método é incapaz de avaliar cada alternativa ou critério de forma isolada e a introdução de novas alternativas pode (ou não) inverter ou alterar de forma inesperada a ordenação (Velasquez e Hester, 2013).

- *A metodologia AHP na Saúde*

A metodologia AHP tem sido bastante difundida no setor da saúde, nomeadamente para decisões de diagnóstico ou terapêutica, avaliação e seleção de tecnologia médica e planeamento de recursos humanos. Na área de diagnóstico e terapêutica, Castro *et al.* (1996) utilizou o método para a seleção de exames de diagnóstico de análise a dores abdominais, Richman *et al.* (2005) procurou selecionar um tratamento para o cancro da próstata através da aplicação do

AHP; ainda dentro desta área, Dolan (1989) procurou selecionar o regime de antibiótico mais adequado para o tratamento de uma pielonefrite e Singh *et al.* (2006) exploraram o tratamento preferencial para adultos com garganta inflamada.

No campo da avaliação e seleção de tecnologia destacam-se Turri (1988) que procurou, através da metodologia, selecionar uma marca de equipamento de ressonância magnética, Balestra *et al.* (2007) utilizaram o AHP para a aquisição de instrumentação biomédica Sloane *et al.* (2003) procederam a uma avaliação de ventiladores neonatais para posterior aquisição, Cho e Kim (2003) utilizaram o método AHP para seleção de equipamentos médicos e materiais para bolsas atribuídas pelo Ministério Coreano da Saúde, Tarimcilar e Khaksari (1991) utilizaram o AHP para priorização de projetos para um hospital e Ross e Nydick (1994) procuraram alocar recursos para projetos de investigação oncológica.

Na esfera do planeamento de recursos humanos, Hemaida e Kalb (2001), procuraram, através do AHP, selecionar médicos de ano comum para um centro médico em Midwest (EUA). Podem ser encontradas revisões bibliográficas completas sobre as aplicações de AHP na saúde em Liberatore e Nydick (2007) e Schmidt *et al.* (2015). Liberatore e Nydick (2007) concluem que o AHP tem sido largamente utilizado na avaliação e seleção de tecnologia médica e Schmidt *et al.* (2015) evidenciam o crescente interesse na aplicação do AHP em economia da saúde e relevam a capacidade deste método para traduzir questões complexas em níveis hierárquicos. Uma das grandes vantagens do AHP é a de permitir comparações entre critérios quantitativos e qualitativos, o que permite uma representação correta das problemáticas do setor da saúde (Schmidt *et al.*, 2015).

- *A metodologia AHP na determinação de pesos*

O Analytic Hierarchy Process, utilizado largamente como método de apoio à decisão, é largamente utilizado em técnicas híbridas, isto é que incluem mais do que um método de apoio à decisão, na determinação da solução do problema. Na secção 2.5. da dissertação foram enumerados os passos genéricos de um modelo de apoio à decisão, nos quais se incluía “determinação do peso relativo dos critérios”. No que toca a técnicas híbridas de MADM, é precisamente neste passo que o AHP tem um grande valor, não só pela capacidade de comparar critérios quantitativos e qualitativos, mas também pela sua metodologia considerada simples, eficaz e de fácil compreensão, quando comparado com outras técnicas (Forman e Gass, 2001). Russo e Camanho (2015) fizeram uma revisão de literatura sobre critérios em Analytic Hierarchic Process. O estudo realizado inclui 33 casos. Como foi visto atrás, a metodologia AHP utiliza a mesma técnica para calcular os pesos dos critérios e das alternativas, no entanto, Russo e Camanho (2015) detetaram que na maioria dos casos estudados, a metodologia AHP era utilizada predominantemente para avaliar os critérios e outras metodologias eram utilizadas para avaliar as alternativas. Vaidya e Kumar (2006) atribuem a possibilidade de integração do AHP com outras técnicas à sua flexibilidade. A utilização deste método apenas para a determinação de pesos dos critérios, consiste na substituição do passo 5 por uma outra metodologia que permite fazer a seleção, ordenação ou alocação de alternativas. Algumas das técnicas híbridas são o AHP-VIKOR e AHP-TOPSIS (Russo e Camanho, 2015).

### 2.5.2.2. TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique of Order Preference by Similarity of Ideal Solution*) tem por base a ideia de que a melhor alternativa é aquela que tem a menor distância em relação à solução ideal, e a maior distância em relação solução anti ideal (Hwang e Yoon, 1981). A solução ideal é uma solução hipotética cujos atributos (avaliações segundo cada critério) são correspondentes à melhor classificação obtida, para cada critério, de entre todas as alternativas não hipotéticas em consideração. A solução anti ideal, por sua vez, consiste numa solução hipotética cujos atributos correspondem às piores classificações obtidas para cada critério (Gavade, 2014). Desenvolvido por Yoon e Hwang em 1980, este método assume que cada critério tem uma tendência, monótona, crescente ou decrescente de utilidade, ou seja, a avaliação do critério é tanto melhor quanto maior for a pontuação ou, pelo contrário, é tanto pior quanto menor for a pontuação atribuída (Triantaphyllou, 2000). Por esta razão é bastante simples definir as soluções ideais ou anti ideais. Hwang e Yoon (1981) utilizam a distância euclidiana para calcular as distâncias entre as alternativas consideradas e as alternativas hipotéticas, tornando possível a construção de uma lista preferencial das alternativas. A figura 10 mostra o fluxograma da metodologia TOPSIS, na determinação de uma lista preferencial de alternativas.

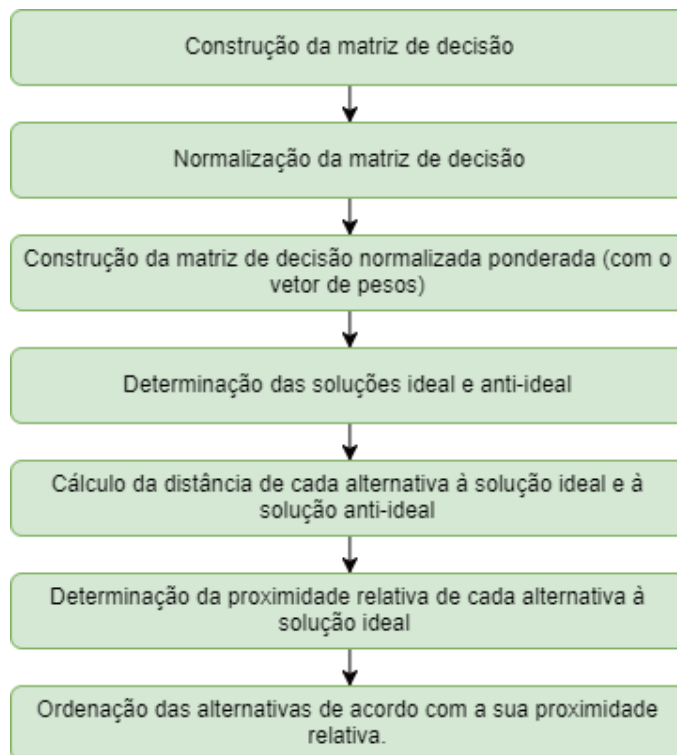


Figura 10 – Fluxograma da metodologia TOPSIS. Adaptado de Prakash e Satydev (2014).

Recorrendo a Hwang e Yoon (1981) e Triantaphyllou (2000) será feita uma descrição dos passos do fluxograma da figura 10:

#### **Passo 1: Construção da matriz de decisão**

O método TOPSIS tem como peça central a matriz de decisão  $D$  que contem  $n$  critérios e  $m$  alternativas:

$$D = \begin{matrix} & c_1 & & c_j & & c_n \\ \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} & a_1 & & & \\ & & & & & a_i & & & \\ & & & & & & & & \dots \end{matrix}$$

Figura 11 - Matriz de Decisão de um modelo multicritério.

Em que:

$a_i$  – é a  $i$ -ésima alternativa considerada;

$c_j$  – é o  $j$ -ésimo critério considerado;

$x_{ij}$  – é o atributo (avaliação ou característica) da  $i$ -ésima alternativa em relação ao  $j$ -ésimo critério.

Neste passo, deverão ser recolhidas todas as avaliações ou características de cada alternativa em relação a cada critério, de forma a construir uma matriz com a forma da matriz da figura 11. Os autores da metodologia referem que qualquer avaliação expressa de uma forma não numérica deve ser quantificada utilizando uma técnica adequada.

### **Passo 2: Normalização da Matriz de Decisão**

Neste passo pretende-se tornar os atributos, que podem ter dimensões diferentes para cada critério, adimensionais, permitindo comparações entre todos os atributos. Os autores propõem que se divida cada elemento,  $x_{ij}$ , pela norma da soma de todos os elementos  $x_{ij}$  para um dado  $j$ . A matriz de decisão normalizada  $R$ , com a mesma dimensão que a matriz  $D$  é composta por elementos  $r_{ij}$  normalizados. Estes elementos são calculados da seguinte forma:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

### **Passo 3: Construção da matriz de decisão normalizada e ponderada**

Neste passo, o vetor de pesos  $w = (w_1, \dots, w_j, \dots, w_n)$ , é incorporado na matriz. A nova matriz é calculada através da multiplicação de cada coluna da matriz  $R$  pelo peso associado  $w_j$ . De acordo com os autores, este vetor de pesos deverá ser fornecido pelos agentes de decisão, não existindo diretivas específicas para a sua construção. Assim, é construída uma nova matriz  $V$  com elementos normalizados e ponderados  $v_{ij}$  dados por:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{i1} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \dots & w_j r_{1j} & \dots & w_n r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{i1} & \dots & w_j r_{ij} & \dots & w_n r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \dots & w_j r_{mj} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

### **Passo 4: Determinação das soluções ideal e anti ideal:**

A solução (ou alternativa) ideal  $A^*$  é definida por:

$$A^* = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

A solução (ou alternativa) anti ideal  $A^-$  é definida por:

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Em que  $J$  é o conjunto de critérios que representam um benefício, e  $J'$  é o conjunto de critérios que representam um custo.

Estas alternativas são hipotéticas e são definidas assumindo, de forma sensata, que o agente de decisão quererá, para cada critério de benefício o maior valor possível, de entre todas as alternativas e, para cada critério de custo, o menor valor possível.

#### **Passo 5: Cálculo da distância de cada alternativa a $A^*$ e a $A^-$**

Os autores sugerem que a distância entre cada alternativa (real) e cada uma das alternativas ideal e anti ideal seja medida por meio da distância euclidiana. Assim, a distância  $D_i^*$  de cada alternativa à alternativa ideal é dada por:

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

E a distância  $D_i^-$  de cada alternativa à alternativa anti ideal é dada por:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

#### **Passo 6: Cálculo da proximidade relativa de cada alternativa à alternativa ideal**

A proximidade relativa de cada alternativa  $a_i$  à alternativa ideal  $A^*$  é definida por

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{(D_i^* + D_i^-)}$$

Quando uma dada alternativa corresponde à alternativa ideal,  $C_i^*$  assumirá o valor unitário. Por outro lado, quando uma dada alternativa corresponde à alternativa anti ideal,  $C_i^*$  será igual a 0. Assim, é possível concluir que uma alternativa  $a_i$  está tanto mais próxima da alternativa ideal  $A^*$ , quanto mais próximo  $C_i^*$  está de 1.

#### **Passo 7: Ordenação das alternativas**

Concluídos os passos anteriores, o conjunto de alternativas em consideração poderá ser ordenado de forma descendente, de acordo com  $C_i^*$ .

- *A metodologia TOPSIS na área da Saúde*

Esta metodologia tem algumas aplicações na área da Saúde, no entanto ainda não é largamente difundida, como o AHP (Adunlin *et al.* 2015). Arasteh *et al.* (2018) utilizaram o TOPSIS na problemática de seleção do um sistema de informação hospitalar, Chen *et al.* (2017) procuraram ordenar a medicação para diabéticos, enquanto Rađenovic e Veselinovic (2017),

Mobinzadeh *et al.* (2016) e Amini e Rezaeenour (2016) utilizaram uma metodologia híbrida AHP-TOPSIS para determinação da eficiência dos sistemas de informação na saúde, prioridades na avaliação de tecnologias médicas e ordenação preferencial de centros de saúde no Irão, respetivamente. As metodologias híbridas mencionadas utilizam AHP na determinação do vetor de pesos e TOPSIS na ordenação das alternativas.

### 2.5.2.3. VIKOR

A metodologia VIKOR ou *Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (em tradução livre “otimização multicritério e solução de compromisso”), foi desenvolvida por Opricovic (Opricovic e Tzeng, 2004). Este método determina uma lista ordenada de alternativas, as soluções de compromisso e ainda os intervalos de estabilidade dos pesos que resultam na estabilidade da preferência da solução. A ordenação final das alternativas consideradas baseia-se numa medida particular da proximidade à solução ideal (Gavade, 2014).

A medida de proximidade utilizada por esta metodologia tem por base a métrica  $L_p$ :

$$L_{p,i} = \left[ \sum_{j=1}^n \left[ \frac{w_j (f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right]^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad 1 \leq p \leq \infty; i = 1, \dots, n$$

Em que:

$n$  – corresponde ao número de alternativas

$x_{ij}$  – corresponde à avaliação atribuída à alternativa  $i$ , quando considerado o critério  $j$

$f_j^*$  - corresponde à melhor avaliação, de entre  $n$  alternativas, para cada critério  $j$

$f_j^-$  - corresponde à pior avaliação, de entre  $n$  alternativas, para cada critério  $j$

$w_j$  – corresponde ao peso (importância relativa) atribuído a cada critério  $j$

A métrica  $L_p$  permite avaliar a dissimilaridade entre  $f_j^*$  e  $x_{ij}$ , sendo que os diferentes valores de  $p$  correspondem a diferentes filosofias de valorização da dissimilaridade entre a alternativa e a melhor avaliação possível. Para  $L_{1,i}$  verifica-se uma compensação completa entre critérios, ou seja, é, por exemplo, indiferente haver uma diferença única de 8, ou uma diferença entre dois critérios de 4. No caso de  $L_{\infty,i}$ , só interessa a maior diferença, isto é sendo a maior diferença 8, todas as outras diferenças entre critérios são irrelevantes. A metodologia VIKOR utiliza  $L_{1,i}$  e  $L_{\infty,i}$ , com a simbologia  $S_i$  e  $R_i$ , respetivamente, para formular a medida que permite depois a ordenação das alternativas (Tzeng e Huang, 2011). A solução de compromisso  $F^c$  é a solução possível mais próxima da solução ideal  $F^*$ , e este compromisso implica uma solução encontrada por meio de concessões mútuas, em concreto  $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$  e  $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$ , conforme ilustrado na figura 12.

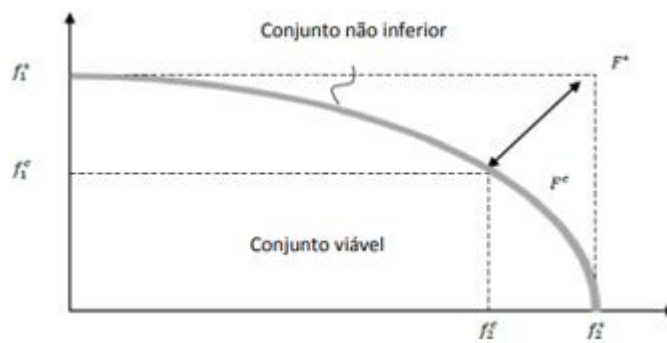


Figura 12 - Solução ideal e solução de compromisso. Fonte: Bastos (2016)

A figura 13 apresenta os passos da metodologia VIKOR.

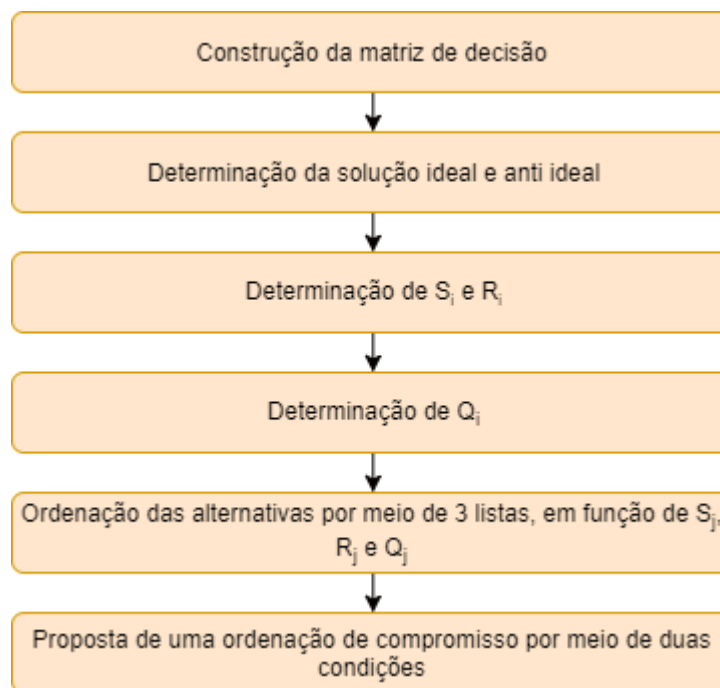


Figura 13 - Fluxograma da metodologia VIKOR. Adaptado de Opricovic e Tzeng (2004)

Os passos definidos na figura 13 são agora descritos em maior detalhe, tendo por base Opricovic e Tzeng (2004), Tzeng e Huang (2011) e Shekarian (2015):

**Passo 1: Construção da matriz de decisão**

A metodologia VIKOR, à semelhança da metodologia TOPSIS, obriga a que se avaliem todas as alternativas, segundo cada critério, no início da aplicação da metodologia, para que seja possível determinar a solução ideal e anti ideal. Deve ser construída uma matriz de decisão  $D$  como a utilizada na figura 11.

**Passo 2: Determinação das soluções ideal e anti ideal**

Para a determinação das soluções ideal e anti ideal, determinam-se os melhores valores  $f_j^*$  e os piores valores  $f_j^-$ , para cada critério  $j = 1, 2, \dots, n$ . Se o critério  $j$  representar um benefício:

$$f_j^* = \max_i x_{ij} \qquad f_j^- = \min_i x_{ij}$$

Por outro lado, se o critério  $j$  disser respeito a um custo:

$$f_j^* = \min_i x_{ij} \qquad f_j^- = \max_i x_{ij}$$

**Passo 3: Determinação dos valores  $S_i$  e  $R_i$**

O valor  $S_i$  corresponde ao valor da alternativa  $i$  com a máxima utilidade de grupo e é definido a partir da métrica  $L_p$ :

$$S_i = L_{1,i} = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right]$$

O valor  $R_i$ , por sua vez, corresponde ao valor da alternativa  $i$  com o mínimo desacordo e é também definido a partir da métrica  $L_p$ :

$$R_i = L_{\infty,i} = \max \left[ \frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right]$$

**Passo 4: Determinação de  $Q_i$**

Neste passo é determinado o valor de  $Q_i$  para cada alternativa, por meio da relação:

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{R^- - R^*}$$

Em que:

$S^*$  - corresponde a  $\min_i S_i$

$S^-$  - corresponde a  $\max_i S_i$

$R^*$  - corresponde a  $\min_i R_i$

$R^-$  - corresponde a  $\max_i R_i$

$v$  – corresponde a uma medida de estratégia e pode variar entre 0 e 1. Os autores da metodologia sugerem a utilização de  $v = 0.5$ , correspondente a uma estratégia de consenso.

**Passo 5: Ordenação das alternativas de acordo com  $Q_i$ ,  $R_i$  e  $S_i$**

Neste passo ordenam-se as alternativas de acordo com cada um dos valores calculados nos dois passos anteriores, por meio de três listas ordenadas. O índice resultante da ordenação dos valores  $S_i$  baseia-se no desempenho de uma dada alternativa, como um todo, tendo um carácter compensatório. Por outro lado, o índice dos valores  $R_i$  baseia-se no pior desempenho da alternativa em relação a um qualquer critério, tendo um carácter não compensatório. Já o índice ordenado segundo os valores  $Q_i$ , é uma ponderação entre os dois primeiros índices.

**Passo 6: Proposta de uma solução de compromisso**

O último passo da metodologia consiste na proposta, como solução de compromisso, da alternativa  $a'$  que, segundo o índice  $Q$ , está melhor posicionada, ou seja, que tem o menor valor de  $Q_i$  se as seguintes condições forem satisfeitas:

**Condição 1** – “Vantagem aceitável”

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad \text{e} \quad DQ = \frac{1}{m-1}$$

Em que:

$Q(a'')$  é o valor de  $Q_i$  para a segunda melhor alternativa, segundo o índice  $Q$ ;

$Q(a')$  - é o valor de  $Q_i$  para a melhor alternativa, segundo o índice  $Q$ ;

$m$  - é o número de alternativas.

**Condição 2** – “Estabilidade aceitável”

A alternativa  $a'$  deve ser também a melhor classificada no ordenação de alternativas por  $S_i$  e/ou  $R_i$ . Nesse caso a solução é estável dentro de um processo de decisão que pode ser: “escolha pela regra da maioria” (quando  $v > 0.5$ ), “veto” (quando  $v < 0.5$ ) e por consenso (quando  $v \approx 0.5$ ).

Caso alguma das condições anteriores não seja satisfeita, é proposto um conjunto de soluções de compromisso consistindo em:

- Alternativas  $a'$  e  $a''$  se apenas a condição 2 não for satisfeita
  - Alternativas  $a', a'', \dots, a^k$  se a condição 1 não for satisfeita.  $a^k$  é determinada pela condição  $Q(a^k) - Q(a') < DQ$  para o maior  $k$ . Ou seja, um conjunto de alternativas que estão muito próximas entre si, pelo que não se pode atribuir uma “vantagem aceitável”.
- *A metodologia VIKOR na área da Saúde*

VIKOR é uma metodologia ainda escassamente difundida na área da Saúde, no entanto é já possível encontrar algumas aplicações da mesma. A título de exemplo, utilizando esta metodologia, Afful-Dadzie *et al.* (2014) procuraram avaliar a qualidade da informação de saúde disponível na internet e Parlak e Tolga (2018) procuraram selecionar equipamentos médicos de imagiologia e procuraram avaliar o desempenho em saúde de 6 regiões geográficas de Istambul. Mardani *et al.* (2016) fizeram uma revisão bibliográfica da aplicação do VIKOR, contendo uma secção dedicada à área da saúde.

*2.5.2.4. Comparação entre VIKOR e TOPSIS*

Opricovic e Tzeng (2004) compararam, em toda a sua extensão, as metodologias VIKOR e TOPSIS. Tendo por base este artigo, nesta secção é apresentado um resumo das maiores diferenças e semelhanças destes métodos, bem como as suas vantagens e desvantagens. A necessidade desta análise comparativa tem por base a natureza comum das duas metodologias – utilizam uma função de agregação que representa a “proximidade ao ideal”.

Em termos algorítmicos, ambos os métodos assumem a existência de uma matriz de decisão, composta pela avaliação de todas as alternativas no que diz respeito a cada critério. É utilizada normalização de forma a que sejam eliminadas as unidades dos critérios. Por último é

formulada uma função de agregação que é utilizada para ordenar as alternativas. O método VIKOR, para além dos passos anteriores, propõe ainda um conjunto de soluções de compromisso com “vantagem aceitável”.

As duas grandes diferenças entre estes métodos são a normalização e a função de agregação. O método VIKOR utiliza normalização linear, o que implica que o valor obtido da normalização não é dependente da unidade de cada critério. O método TOPSIS, por outro lado, utiliza normalização vetorial que pode depender da unidade de cada critério para alguns casos específicos. No entanto, a maior diferença entre os métodos surge na função agregadora. A função agregadora do método VIKOR tem por base a métrica  $L_p$ , mais concretamente para  $p = 1$  e  $p = \infty$  em que  $L_{p,i}$  representa a distância da alternativa  $a_i$  à solução ideal. Já a função agregadora do TOPSIS é dada por:

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{(D_i^* + D_i^-)}$$

O que implica que a alternativa  $a_i$  é melhor do que a alternativa  $a_k$  se  $C_i > C_k$  ou  $\frac{D_i^-}{(D_i^* + D_i^-)} > \frac{D_k^-}{(D_k^* + D_k^-)}$ , que se verifica quando  $D_i^* < D_k^*$  e  $D_i^- > D_k^-$  (1) ou quando  $D_i^* > D_k^*$  e  $D_i^- > D_k^-$  e  $D_i^- < \frac{D_k^* D_i^-}{D_k^-}$  (2). Ou seja, o cenário (1) é o cenário dito normal em que uma alternativa é melhor que outra porque está mais próxima do ideal e mais afastada do anti ideal. Por outro lado, a situação (2) evidencia que uma alternativa pode ser melhor do que outra mesmo que esteja mais afastada do ideal. Por exemplo, para uma alternativa  $a_k$  em que  $D_k^- = D_k^+$  e  $C_k^* = 0.5$ , todas as alternativas  $a_i$  com  $D_i^* > D_k^*$  e  $D_i^- > D_k^-$  ficarão melhor classificadas, apesar de estarem mais distantes do ideal do que  $a_k$ . Assim, uma alternativa  $a_i$  pode estar melhor classificada do que  $a_k$  na metodologia TOPSIS e  $a_k$  de estar melhor classificada do que  $a_i$  no VIKOR uma vez que  $a_k$  está mais próxima da solução ideal.

As duas metodologias têm ainda como desvantagem o facto de não permitirem a utilização de valores qualitativos, devendo qualquer avaliação expressa de forma não numérica, ser quantificada através de técnicas próprias para o efeito (Hwang e Yoon, 1981; Gavade, 2014).

### 2.5.3. Decisão multicritério em Grupo

As metodologias de apoio à decisão multicritério são adequadas a problemas em que existam múltiplos agentes de decisão ou atores, existindo já um vasto conjunto de aplicações documentadas (Schmidt *et al.*, 2015). Em problemas práticos reais é muitas vezes necessário utilizar a opinião de múltiplos atores, de forma a combinar os seus níveis de proficiência, ou para incorporar pontos de vista e experiências conflitantes (Abel *et al.* 2015). Soltani *et al.* (2017) determinaram um conjunto de fatores relevantes na consideração de múltiplos atores:

- O grau de envolvimento dos atores no processo de decisão (os atores podem escolher os critérios, determinar a importância relativa dos mesmos e/ou avaliar o desempenho de cada alternativa);
- O tipo de atores (governo, público e *experts*, por exemplo);

- Hierarquia dos atores (alguns atores poderão ou não ter uma importância relativa superior sobre um dado critério da decisão ou sobre o processo como um todo).

Van den Hove (2006) explicita que, apesar da adequabilidade dos MADM a múltiplos agentes de decisão, deve existir alguma forma de concordância em relação aos seguintes elementos:

- Conjunto de alternativas;
- Conjunto de critérios;
- Tipo de pontuação a atribuir a cada alternativa, segundo cada critério;
- Pesos dos critérios;
- Método de apoio à decisão a aplicar.

Belton e Pictet (1997) reconhecem que para lidar com os diferentes pontos de vista, típicos da decisão com múltiplos atores, é possível recorrer a uma de três técnicas: a partilha, a agregação e a comparação dos pontos de vista de cada ator. De uma forma geral, a partilha pretende determinar um elemento comum por meio de consenso, através da discussão e negociação de um ponto de vista. Assim, pretende abordar as diferenças entre cada ponto de vista e reduzi-las ao debatê-las de forma explícita. A agregação, por outro lado, visa obter o elemento comum através de um compromisso, por meio de votações ou cálculo de ponderações. Ou seja, admite que existem diferenças e tenta minimizá-las sem as debater de forma explícita. A comparação, por fim, pretende chegar a um consenso através da negociação das avaliações individuais, reconhecendo as diferenças sem as conseguir, necessariamente, reduzir. A técnica de partilha envolve um processo de discussão moroso e que pode não atingir o objetivo, uma vez que pode não ser possível chegar a um consenso. O mesmo acontece com a técnica de comparação (Belton e Pictet, 1997). Assim, a literatura utiliza, na sua maioria, a agregação (Schmidt *et al.*, 2015).

Existem duas técnicas de agregação bastante utilizadas: a Agregação de Prioridades Individuais (API) e a Agregação de Avaliações Individuais (AAI) (Schmidt *et al.*, 2015). A API calcula um vetor de pesos para cada ator, a partir dos quais se pode calcular um único vetor de pesos, por meio de agregação. Por outro lado, a AAI agrega as matrizes de decisão numa única matriz de decisão a partir da qual pode ser retirado um vetor de pesos (Abel *et al.*, 2015). A agregação dos vetores de pesos é normalmente feita por meio da média aritmética ou média geométrica (Forman e Peniwati, 1998).

Forman e Peniwati (1998), referenciando Saaty, sugerem uma outra forma de avaliar os pesos de cada ator: por meio da criação de uma hierarquia que permita comparar os atores entre si, é possível determinar os pesos de cada um no que toca ao processo de decisão, como um todo, ou até a cada critério em específico. Os mesmos autores apontam como potencial problema desta técnica, na maioria dos casos considerados, a falta de um “super agente de decisão”, capaz de avaliar todos os restantes.

## 2.6. Análise Custo-Benefício

A análise custo-benefício remonta ao século XIX, na Europa, no entanto, foi largamente difundida apenas a partir da década de 30 do século XX. A Lei de Controlo de Inundações de

1939, uma das grandes impulsionadoras desta análise exigiu que “os benefícios acumulados ao longo do ciclo de vida de um projeto ultrapassem os custos estimados” (Silva e Salvado, 2015). É uma ferramenta comumente utilizada para estimar a eficiente alocação de recursos. Assim, o objetivo de uma análise deste tipo é identificar e atribuir um valor a todos os impactos possíveis a fim de determinar os custos e benefícios de um projeto e, depois de agregados os resultados, são retiradas conclusões sobre a viabilidade do projeto. Os resultados são, regra geral, agregados através de um quociente entre os valores de benefício e de custo determinados (Mishan e Quah, 2007).

Chatburn e Primiano (2001) foram confrontados com a dificuldade de incorporar o custo de ventiladores mecânicos no processo de decisão de compra dos mesmos. Na realidade os atores clínicos consideravam que o custo dos equipamentos devia ser secundário, no entanto, a administração do Hospital não partilhava este ponto de vista. Assim, os autores sugerem que se retire o critério custo da análise inicial de cada uma das alternativas e que este seja incorporado, mais tarde, sob a forma de um rácio custo-benefício. Assim, a análise feita inicialmente a cada uma das alternativas permite obter o “benefício” de cada alternativa. Já o custo de cada equipamento é expresso, simplesmente, como uma percentagem da soma dos custos de todos os equipamentos daquele tipo. Os autores consideram que este método produz resultados mais intuitivos para os agentes de decisão, ao utilizar uma forma matemática com a qual os profissionais de saúde, habituados a constantes análises benefício/risco, estarão mais familiarizados.

## **2.7. O Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central (CHULC)**

O Centro Hospitalar de Lisboa Central, EPE, foi criado em fevereiro de 2007, e juntou o Centro Hospitalar de Lisboa (Zona Central), no qual integravam os Hospitais de S. José e de Santo António dos Capuchos, e os Hospitais de Santa Marta e de D. Estefânia. Mais tarde, em 2012, seriam integrados neste Centro Hospitalar o Hospital Curry Cabral e a Maternidade Alfredo da Costa. A 3 de agosto de 2018, o Centro Hospitalar de Lisboa Central, EPE é reconhecido como centro universitário, passando a designar-se Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central, EPE (CHULC) (CHULC, 2018).

A área de influência direta do CHULC é composta por 13 das 24 freguesias do Conselho de Lisboa e por 2 das 10 freguesias do Concelho de Loures, sendo que algumas especialidades têm uma área de influência mais alargada. O CHULC é também o hospital de referência para os hospitais de Vila Franca de Xira, Médio Tejo e Santarém. Assim, a área de influência direta é de cerca de 357 mil habitantes (dados do Censos 2011, citado em CHULC, 2016) mas, as suas características de centro de referência alargam o seu âmbito para o nível regional e nacional, concluindo-se que tem uma área de cobertura populacional que pode chegar aos 1,8 milhões de habitantes.

De acordo com este Centro Hospitalar (2018), a sua atividade “assegura a cada doente cuidados que correspondam às suas necessidades, de acordo com as melhores práticas clínicas (...), promove uma eficiente utilização dos recursos disponíveis, abrangendo, ainda, as áreas de investigação, ensino, prevenção e continuidade de cuidados, conforme o primado do doente”. Paralelamente no Relatório e Contas 2016, é referida a necessidade de um controlo

de custos sem que seja afetada a oferta de cuidados hospitalares. O CHULC reconhece também que as três áreas de intervenção clínica mais decisivas num plano de redução de custos passam pelos medicamentos, meios complementares de diagnóstico e dispositivos médicos, assumindo o Conselho de Administração o seu papel na procura de soluções que acrescentem valor à qualidade da medicina prestada nas instituições, ao menor custo possível (CHULC, 2016).

Entre 2015 e 2016 registou-se uma diminuição de 5,2% no número de atos de radiologia realizados no CHULC, no entanto o número de exames de radiologia requisitados ao exterior verificou um aumento de 49%, o que revela que apesar de diminuição de atos realizados, não houve uma diminuição dos atos prescritos. Paralelamente, no ano de 2016, o Centro Hospitalar investiu cerca de 3.2 milhões de euros, correspondente a 1% do Orçamento Financeiro. Desse valor, cerca de 33% foi aplicado em equipamentos de imagiologia.

Após um conjunto de reuniões com o Centro Tecnológico e Biomédico (responsável pela área de imagiologia e radiodiagnóstico) bem como com os responsáveis do serviço de Radiologia (serviço onde se encontram a maioria dos equipamentos de imagiologia), não foi possível concluir que exista e seja aplicada uma qualquer metodologia, sistemática, na seleção de equipamentos médicos para aquisição. De uma forma geral, os médicos entregam, anualmente, propostas de equipamentos para aquisição, entre esse momento e a aquisição dos equipamentos, não foi possível identificar um procedimento para a escolha dos equipamentos.

Desta forma, conclui-se que a política de aquisição de equipamentos não será uniformizada, sistemática nem tão-pouco transparente.

Pelo contexto e dados supra, torna-se claro que existe uma necessidade de criar ferramentas de gestão de equipamentos médicos que possam ser utilizadas recorrentemente e que respondam às exigências e missão do Centro Hospitalar. O primeiro passo nesse sentido é a criação de uma ferramenta de apoio à aquisição de equipamentos médicos de imagiologia, que constituem parte tão preponderante do orçamento.

O presente trabalho foca-se no desenvolvimento de uma metodologia clara e simples, que permita ao Centro Hospitalar, melhor selecionar os equipamentos de imagiologia a adquirir, tendo em conta uma análise custo-benefício dos equipamentos propostos.

# 3

## Metodologia de Apoio à Decisão Proposta

A presente dissertação de mestrado pretende propor uma metodologia de apoio à política de aquisição de equipamentos de imagiologia no Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central, nomeadamente através da definição de uma metodologia de apoio à decisão. O modelo pretende auxiliar o CHULC no reconhecimento e escolha de critérios que possam levar à identificação e ordenação dos equipamentos recomendados para aquisição. Mais ainda, a metodologia pretende ser genérica para que possa ser utilizada por outros serviços e outros Hospitais ou Centros Hospitalares na aquisição de qualquer tipo de equipamentos médicos.

No presente capítulo descrever-se-á a metodologia proposta, sob a forma de um conjunto de instruções genéricas, e explicitar-se-ão os pressupostos sob os quais a mesma assenta. As instruções deste capítulo terão por base a figura 3, que estrutura as diferentes fases de um processo de decisão. No entanto, a fase de ponderação e de avaliação surgem em ordem inversa àquela apresentada na figura 3, uma vez que as importâncias relativas dos atores para cada critério serão necessárias na determinação da avaliação conjunta de cada alternativa.

### 3.1. Contextualização do Problema

Nesta fase do processo é necessário identificar o objetivo bem como os agentes de decisão. O objetivo deste trabalho é a recomendação, de entre todas as propostas de equipamentos médicos a adquirir, de um ou mais equipamentos que são mais vantajosos e que vão ao encontro às necessidades e estratégias do Centro Hospitalar e dos seus utilizadores. No que toca à identificação dos agentes de decisão, é crucial distinguir, primeiro, os diferentes tipos de agentes considerados no modelo. Assim, observam-se:

- **Agente de decisão** – é uma pessoa individual ou coletiva, responsável pela decisão final.
- **Atores da decisão** – são pessoas individuais, com cargos de gestão dentro do Centro Hospitalar, e que são responsáveis pela recomendação de equipamentos

a adquirir pelo agente de decisão. Estes atores são, assim, quem avalia as alternativas e os seus contributos permitirão a ordenação de alternativas.

- **Utilizadores dos equipamentos** – são pessoas individuais, sem cargos de gestão dentro do Centro Hospitalar, e que utilizam o equipamento, ativa ou passivamente.

No âmbito desta dissertação para o papel do agente de decisão é considerado e recomendado o Conselho de Administração do Centro Hospitalar que tem, para todos os efeitos, a palavra final na decisão de investimento num equipamento médico hospitalar.

Os atores da decisão, após reuniões com a Administradora Hospitalar do Centro Tecnológico e Biomédico, foram definidos como sendo os seguintes:

- Responsável pela Gestão de Sistemas e Tecnologias de Informação;
- Responsável pela Gestão de Instalações e Equipamentos;
- Diretor de Compras;
- Responsável do Serviço;
- Administrador Hospitalar;
- Engenheiro Clínico.

Foi considerado que os atores supramencionados conseguirão abranger todos os potenciais critérios segundo os quais as alternativas serão avaliadas, sejam eles técnicos, administrativos ou económicos e, por esta razão, devem ser os atores a considerar para todas as instâncias de recomendação de equipamentos a adquirir.

Por último, os utilizadores dos equipamentos poderão ser pacientes, técnicos operacionais ou médicos que convivam com os equipamentos do ponto de vista operacional dos mesmos. Esta tipologia de agentes tem um papel fundamental na determinação dos critérios a utilizar no modelo, por forma a procurar garantir que os equipamentos a adquirir assentam nas necessidades efetivas do Centro Hospitalar e dos seus utilizadores.

## 3.2. Construção do Modelo

A fase de construção do modelo almeja a identificação de alternativas e dos critérios. No que toca à identificação das primeiras, recomenda-se que sejam consideradas todas as propostas apresentadas por médicos ou outras individualidades do CHULC. No conjunto de alternativas poderão ainda ser incluídas propostas do Conselho de Administração (CA) ou dos atores do modelo.

Para a definição de critérios recomenda-se a utilização da ferramenta da Casa da Qualidade, explicada em detalhe na secção 2.4 da presente dissertação. Esta ferramenta, parte integrante da Quality Function Deployment, tem como principal vantagem o destaque atribuído, no presente trabalho, aos utilizadores. Sendo os pacientes, os médicos e os técnicos operacionais elementos centrais do funcionamento do Sistema Nacional de Saúde, é indicado que os equipamentos médicos adquiridos vão no sentido de atender às suas necessidades e vontades, dando-lhes voz no processo de aquisição. Naturalmente, a compra de equipamentos deve ser feita também de acordo com aquilo que é a estratégia e vontade do Centro Hospitalar como um

todo. A Casa da Qualidade permite interrelacionar as necessidades e vontades dos utilizadores com as características do equipamento relevantes para o CHULC, e constitui uma forma de identificar as características mais importantes na prossecução das necessidades e vontades dos utilizadores, de entre um conjunto de características predefinidas. Uma outra vantagem da utilização desta técnica é permitir reduzir o número de características a ser avaliadas pelos atores, tornando o processo de avaliação mais eficiente, mas também mais eficaz.

A desvantagem desta técnica é a morosidade na sua construção. No entanto, quando construída corretamente será representativa das necessidades e vontades dos utilizadores durante bastante tempo, não sendo necessária a sua reconstrução para cada momento de decisão da aquisição de equipamentos.

### 3.2.1. Determinação das Necessidades e Vontades dos Utilizadores

O primeiro passo na construção da Casa da Qualidade é a determinação das necessidades e vontades dos utilizadores, bem como da sua importância para os mesmos. Estes requisitos poderão ser determinados por meio da literatura, inquéritos ou entrevistas. Numa fase inicial da implementação desta metodologia recomenda-se que sejam utilizadas as vontades e necessidades dos utilizadores presentes na literatura e que seja feito um inquérito no sentido de determinar a importância de cada uma delas.

Assim, as necessidades e vontades dos utilizadores a considerar para a Casa da Qualidade foram determinadas recorrendo a David e Jahnke (2005), Saleh (2015) e Waddell e Wilson (2017):

- Serviço necessário;
- Novo serviço;
- Aumento da eficiência do serviço;
- Aumento da eficácia do serviço;
- Aumento do trabalho de investigação e desenvolvimento (I&D);
- Serviço mínimo;
- Minimização da estadia do paciente;
- Minimização de risco;
- Diminuição de filas de espera;
- Estandarização;
- Garantia de qualidade;
- Facilidade de substituição;
- Melhoria do custo-benefício.

### 3.2.2. Determinação das Características Relevantes para o Agente de Decisão

À semelhança das necessidades e vontades dos utilizadores, os requisitos ou características técnicas podem ser determinados por meio da literatura, inquéritos ou entrevistas. Não havendo a necessidade de determinação da importância destes requisitos, recomenda-se que

seja feito um levantamento das características consideradas na literatura e que sejam adicionadas, caso necessário, outras características relevantes para o Agente de Decisão.

Assim, recorrendo a Liedes e Liimatanien (2010), Taghipour *et al* (2011), Kinley (2012), (Saleh, 2015) e Hanni (2015) foi possível estabelecer um conjunto de requisitos que se consideram relevantes para o Agente de Decisão e que estão representados na tabela 1.

Critérios dos Agentes de Decisão		
	Critérios	Descrição
Técnicos	Avaliação Tecnológica	Avaliação feita por cada ator às especificidades técnicas do equipamento
	Esperança de vida do equipamento	Tempo que se espera que o equipamento dure.
	Requisitos de instalação	Pontos de eletricidade, ponto de água, vestiários, entre outros.
	Necessidade de substituição de equipamento já existente	Prevê-se a necessidade de substituição de equipamento do mesmo tipo num curto espaço de tempo.
	Risco de não compra	Qual o risco caso o hospital não compre o equipamento - vai afetar a utilização de outros equipamentos?
	Fiabilidade do equipamento	O equipamento tem provas dadas no mercado?
Financeiros	Geração de receita	Quanta receita se espera que a utilização do equipamento traga para o hospital?
	Custo de ciclo de vida	Custo que o equipamento traz ao hospital ao longo de toda a sua vida. Desde a instalação até à deposição.
	Custo “à cabeça”	Custo do investimento inicial.
	Custos de manutenção	Custos expectáveis com manutenção preventiva e corretiva.
Administrativos	Grau de utilização	Número de utilizações expectáveis por ano.
	Necessidade de formação de utilizadores	Os utilizadores precisarão de um elevado, médio ou baixo grau de formação?
	Criticidade	O equipamento é crítico para o bom cuidado do paciente?
	Conformidade regulamentar	O equipamento satisfaz todos os critérios regulamentares?

Tabela 1 - Requisitos do agente de decisão

Os requisitos dos utilizadores (secção 3.2.1.) e os requisitos do agente de decisão (secção 3.2.2.), embora obtidos por meio da literatura, foram validados junto da Administradora Hospitalar do Centro Tecnológico e Biomédico.

### 3.2.3. Construção e Pontuação da Casa da Qualidade

O passo seguinte da metodologia proposta passa pela construção do esqueleto da Casa da Qualidade, com os requisitos determinados previamente (Figura 14).



Após a construção deste esqueleto da Casa da Qualidade, o Centro Hospitalar, por meio do Conselho de Administração, deverá preencher a “Importância para o Consumidor”, determinada com recurso a curtos inquéritos, anónimos, a um conjunto dos utilizadores do serviço para o qual pretendem comprar os equipamentos e avaliar as relações entre cada requisito dos utilizadores e cada requisito do agente de decisão.

Propõe-se que a escala de importância para o consumidor seja quantitativa, com os seguintes limites e significados:

Valor	Significado
1	Nada importante
2	Ligeiramente importante
3	Moderadamente importante
4	Fortemente importante
5	Extremamente importante

Tabela 2 - Escala para avaliação da Importância para o Consumidor

A importância de cada requisito para o conjunto dos utilizadores é dada pela moda das importâncias atribuídas individualmente por cada um dos inquiridos.

Ainda nesta fase da Casa da Qualidade é necessário relacionar os diferentes tipos de requisitos, através da atribuição de pontuação às diferentes relações. Recomenda-se que a pontuação a utilizar seja a representada na escala de Cohen (1995), uma vez que é a escala utilizada na maioria das aplicações desta ferramenta (tabela 3).

Valor	Significado
1	Possivelmente relacionados
3	Moderadamente relacionados
9	Muito relacionados

Tabela 3 - Escala de Cohen

A escala representada na tabela 3, permite, então, relacionar cada requisito dos utilizadores com cada requisito do agente de decisão. É importante referir que, caso o agente de decisão considere que não existe qualquer relação entre o requisito do utilizador  $x$  e o requisito do agente de decisão  $y$ , então o elemento  $a_{xy}$  da matriz de relações da casa da qualidade deverá ficar em branco ou, equivalentemente, deverá ser-lhe atribuída pontuação 0 (zero).

### 3.2.4. Seleção dos Critérios

O objetivo da utilização da Casa de Qualidade na metodologia para a aquisição de equipamentos médicos é a definição de um conjunto de critérios relevantes para o Agente de Decisão e para os utilizadores, em simultâneo. Para tal, e tendo sido completados os passos das secções 3.2.1-3.2.3., deverá ser atribuído o peso absoluto, recorrendo à seguinte formulação:

$$P_y = \sum_{x=1}^m I_x \times a_{xy}$$

Em que:

$I_x$ - corresponde à importância atribuída pelos utilizadores ao requisito dos utilizadores  $x$

$a_{xy}$ - corresponde à pontuação atribuída à relação existente entre o requisito dos utilizadores  $x$  e o requisito do agente de decisão  $y$

O peso absoluto do critério ( $P_y$ ) permite determinar quais os critérios que melhor refletem as preferências e vontades dos utilizadores. Assim, quanto maior o valor de  $P_y$ , mais relevante é o critério para o cumprimento das vontades dos utilizadores. A Casa da Qualidade convencionou que se determine o peso relativo a partir do valor do peso absoluto. O peso relativo é obtido com recurso à formulação:

$$P_{y\%} = \frac{P_y}{\sum P_y} \times 100$$

Não existe na literatura um peso relativo definido a partir do qual o requisito deva ser considerado como de extrema importância. Assim, esse valor fica à discricção do CHULC. No entanto, recomenda-se que não sejam utilizados requisitos, ou critérios, com um peso relativo inferior a 5% e que não se considere um número excessivo de critérios não devendo ser ultrapassados, de forma nenhuma, os 10 critérios. Caso sejam escolhidos mais do que 10 critérios, o método utilizado para a fase de ponderação passa a estar mais sujeito a erros (subsecção 2.5.2.1.) e as fases de avaliação e ordenação das alternativas tornam-se morosas. Um número excessivo de critérios conduzirá, muito provavelmente, a que alguns deles estejam muito relacionados entre si, podendo levar a um enviesamento dos resultados. Por exemplo, ao selecionar dois critérios como "Custo do ciclo de vida" e "Custo do Investimento Inicial", as alternativas poderão ser beneficiadas ou prejudicadas repetidamente uma vez que o custo do investimento inicial é também considerado aquando do custo de ciclo de vida.

Dois pressupostos introduzidos nesta metodologia são:

- Os atores deverão ter em conta que, por exemplo, o critério de Conformidade Regulamentar, presente na tabela 1, é um critério binário e eliminatório, isto é, ou a alternativa satisfaz todos os pressupostos regulamentares ou não satisfaz e por isso não deve ser considerada. Assim, caso existam critérios deste tipo, as alternativas devem ser validadas segundo o mesmo, por forma a selecionar o subconjunto de alternativas que deverão, efetivamente, ser avaliadas, evitando a avaliação de alternativas que estão *a priori* eliminadas.

- Caso sejam selecionados critérios de custo (financeiro) estes não devem ser incluídos nos passos seguintes. Este tipo de critérios deve ser utilizado na análise custo-benefício (secção 3.7), após determinado o benefício de cada alternativa.

### 3.3. Ponderação

Na fase de ponderação são determinadas as importâncias relativas, ou pesos, dos critérios e dos atores. O grande pressuposto desta fase é o de que cada ator terá diferentes pesos para cada critério. Isto porque não se poderá considerar que, por exemplo, o ator “Diretor de Compras” tenha o mesmo grau de proficiência na avaliação do critério “Avaliação Tecnológica” que terá o ator “Engenheiro Clínico” ou “Responsável do Serviço”. Assim sugere-se uma hierarquização do problema de atribuição de importâncias relativas da seguinte forma:

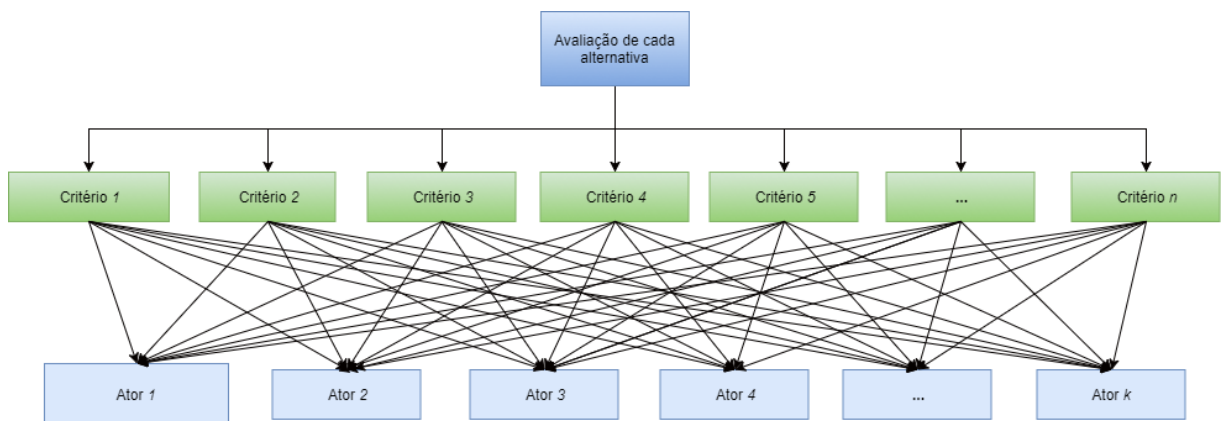


Figura 15 - Hierarquização do problema de atribuição de importâncias relativas

Esta hierarquização admite que são avaliados os pesos de cada ator ( $w_k$ ), para cada critério e depois avaliados os pesos relativos de cada critério ( $w_j$ ). Nesta fase será utilizada a metodologia AHP (secção 2.5.2.1.). Esta metodologia é particularmente oportuna para a cálculo destas importâncias relativas uma vez que é de fácil compreensão, bastante intuitiva e avalia, de forma integrada, a consistência da atribuição dos pesos.

Assim, para cada critério  $c_j$ , é possível determinar as importâncias relativas de cada ator. Os pesos de cada ator considerando um determinado critério são obtidos através da construção de uma matriz de comparação com o formato da tabela 4.

$c_j$	Sistemas de Informação	Gestão de Equipamentos	Diretor de Compras	Responsável do Serviço	Administrador Hospitalar	Engenheiro Clínico
Sistemas de Informação	1					
Gestão de Equipamentos		1				
Diretor de Compras			1			
Responsável do Serviço				1		
Administrador Hospitalar					1	
Engenheiro Clínico						1

Tabela 4 - Matriz de comparação para a atribuição de pesos relativos aos atores, segundo o critério  $c_j$

Esta matriz permite avaliar a importância relativa de cada ator relativamente ao critério  $c_j$ . Esta avaliação deverá ser feita pelo Conselho de Administração que é considerado o agente de decisão da metodologia proposta. Utilizando a escala de Saaty (figura 16), o Conselho de Administração deverá preencher a matriz da tabela 4, através de comparações dois a dois entre os atores. Por exemplo, se o ator “Serviço de Gestão de Equipamentos e Infraestruturas”, em relação ao critério  $c_j$  é fortemente mais relevante do que o ator “Serviço de Sistemas de Informação”, na linha 2, coluna 1, da matriz deverá ser inserido um 7. Consequentemente (de acordo com a secção 2.5.2.1), na linha 1, coluna 2, deverá ser colocado o valor recíproco, ou seja,  $1/7$ . Estas comparações são feitas entre todos os atores para cada um dos critérios, sendo por isso contruídas  $j$  matrizes.

Magnitude	Definição	Descrição
1	Igual Importância	Os dois elementos são de igual importância para o cumprimento do objetivo
2	Fraca ou escassa	
3	Importância Moderada	Há um ligeiro favorecimento do elemento i sobre o elemento j
4	Importância Moderada +	
5	Importância Forte	O elemento i é favorecido em relação ao elemento j
6	Importância Forte +	
7	Importância Muito Forte	O elemento i é fortemente preferido em relação ao elemento j
8	Importância Muito, Muito Forte	
9	Importância Extrema	O elemento i é de máxima importância em relação ao elemento j

Figura 16 - Escala fundamental de Saaty

Feitas todas as comparações dois a dois entre todos os atores com respeito ao critério  $c_j$ , cada uma das matrizes, do tipo da tabela 4, deverá ficar totalmente preenchida. Simultaneamente, deve ser construída uma outra matriz de comparações, que permitirá obter as importâncias relativas de cada um dos critérios (tabela 5). Seguindo as regras e escala anteriormente referidos preenche-se também a matriz da tabela 5.

<i>Importância relativa dos critérios</i>	$c_1$	$c_2$	...	$c_j$	...	$c_n$
$c_1$	1		...		...	
$c_2$		1	...		...	
...	...	...	...	...	...	...
$c_j$			...	1	...	
...	...	...	...	...	...	...
$c_n$			...		...	1

Tabela 5 - Matriz de comparação dos critérios

A matriz da tabela 5 dará origem ao vetor de importâncias relativas  $w_c$ .

Todos os pesos, ou importâncias relativas, necessários podem ser obtidos a partir das matrizes anteriores, seguindo a metodologia proposta por Saaty, descrita na subsecção 2.5.2.1. da presente dissertação. Ainda assim, no anexo 2 pode ser encontrado um exemplo ilustrativo de como proceder à determinação do vetor de pesos para uma matriz.

### 3.4. Avaliação

Na fase de avaliação da metodologia proposta os atores deverão avaliar cada uma das alternativas. Nesse sentido, deverá ser construída uma matriz  $m \times n$ , em que  $m$  são o número de alternativas e  $n$  o número de critérios, como mostrado na tabela 6.

<i>Ator<sub>k</sub></i>	<i>c<sub>1</sub></i>	...	<i>c<sub>j</sub></i>	...	<i>c<sub>n</sub></i>
<i>a<sub>1</sub></i>					
<i>a<sub>2</sub></i>					
⋮					
<i>a<sub>i</sub></i>					
⋮					
<i>a<sub>m-1</sub></i>					
<i>a<sub>m</sub></i>					

Tabela 6 - Matriz de decisão do ator k

Deverá ser construída uma matriz de decisão para cada um dos atores. Cada ator deverá avaliar cada alternativa  $a_i$  com respeito a cada critério  $c_j$ . Estas avaliações deverão ser feitas quantitativamente recomendando-se uma escala unipolar de intervalos. Esta escala poderá ser tão grande quanto o grau de especificidade que se deseje. As avaliações constituem a opinião de cada ator em relação ao desempenho de uma alternativa num dado critério. Por exemplo, no caso da Esperança Média de Vida (EMV), o ator não deverá considerar o número de anos da esperança média de vida, mas sim se a esperança média de vida daquele equipamento é muito satisfatória, ou nada satisfatória, quando considerado o tipo de equipamento. Os atores devem usar a mesma escala para cada critério, podendo utilizar escalas diferentes para diferentes critérios. Sugerem-se escalas de 20 pontos ou de 100 pontos, uma vez que se consideram ser escalas de intervalos com as quais todos os indivíduos estarão ambientados, sendo ambas comumente utilizadas no quotidiano.

O passo seguinte é a agregação das matrizes de decisão individuais dos atores, numa única “super” matriz de decisão (tabela 7). Para tal deverá ser utilizada a seguinte formulação, quando considerados os 6 atores:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^6 w_k z_{ijk}$$

Em que:

- $w_k$  é a importância relativa do ator
- $z_{ijk}$  é a avaliação feita pelo ator  $k$  à alternativa  $i$ , segundo o critério  $j$
- $x_{ij}$  são os elementos da “super” matriz de decisão

A normalização, caso necessária, estará contemplada na metodologia selecionada para a fase de recomendação.

Deve relevar-se que a fase descrita na presente secção e a fase descrita na secção 3.3. podem ocorrer em paralelo, uma vez que a primeira é realizada pelos atores e a segunda pelo agente de decisão.

### 3.5. Recomendação

Na antepenúltima fase do processo de decisão deve ser escolhido um método que permita efetuar a ordenação das alternativas. No âmbito da presente dissertação, optou-se por um método compensatório e de proximidade relativa a uma alternativa ideal, por se considerar que estes métodos são mais intuitivos e não obrigam a um elevado número de iterações. Nesta secção, deverá ser aplicado um dos dois métodos mais relevantes, em termos de literatura, que ordenam as alternativas de acordo com a sua proximidade à alternativa ideal; estes métodos, TOPSIS e VIKOR, foram descritos, respetivamente nas subsecções 2.5.2.2. e 2.5.2.3. do capítulo anterior. No capítulo 4, em que se aplica a metodologia a um caso de estudo, serão comparados estes métodos e a estabilidade de cada uma das listas ordenadas produzidas.

Ambos os métodos consideram a “super” matriz de decisão, referida na secção anterior e representada na tabela 7, e desenvolvem-se a partir dela, embora de formas diferentes.

	$c_1$	$c_2$	...	$c_j$	...	$c_n$
$a_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$
$a_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
$a_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mj}$	...	$x_{mn}$

Tabela 7 - "Super" matriz de decisão

O método VIKOR, em relação ao presente caso de estudo, deverá considerar sempre uma estratégia de consenso, correspondente a  $v = 0.5$ , correspondente a um meio-termo entre uma análise totalmente compensatória e uma análise totalmente não compensatória.

### 3.6. Análise de Sensibilidade

Na penúltima fase do processo de decisão deve ser efetuada uma análise de sensibilidade de modo a avaliar a estabilidade da ordenação das soluções. Este tipo de análise é efetuado através da variação do valor de alguns parâmetros do modelo e da verificação de potenciais alterações na ordenação de alternativas. Uma das estratégias mais frequentes é a análise da variação do valor de um peso, redistribuindo o seu défice pelos pesos dos restantes critérios de forma proporcional. A análise de sensibilidade, no presente trabalho, pretende responder, para cada um dos métodos, à seguinte questão:

- Qual o efeito na ordenação final quando há variações nos pesos dos critérios?

Considerando-se o vetor de pesos para os critérios,  $w_c$ , propõe-se que a análise de sensibilidade seja realizada através da variação do peso de cada critério em frações de  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$ ,  $\pm 40\%$  e  $\pm 50\%$ . Assim, tomando o critério  $c_j$  cujo peso inicial é  $w_j$ , considere-se um novo valor para o seu peso  $w'_j = \varphi w_j$ . Os pesos dos restantes critérios deverão ser ajustados para  $w'_h = \delta w_h$  tal que:

$$\varphi w_j + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \delta w_k = 1$$

Onde,

$$\delta = \frac{1 - \varphi w_j}{1 - w_j}$$

Se necessário, poderá ser feita uma análise de sensibilidade mais fina recorrendo a variações, por exemplo, de  $\pm 1\%$  para cada um dos critérios, mantendo-se as formulações anteriores.

### 3.7. Análise Custo-Benefício

Após a ordenação das alternativas segundo uma das metodologias anteriores, o agente de decisão deverá incorporar, caso assim deseje, o critério de custo (financeiro). No sentido de explicar este tipo de análise, considere-se o cenário em que são avaliadas três alternativas representativas de três equipamentos de ressonância magnética:

Equipamento	Preço (€)	Proximidade à alternativa ideal
<b>RM 1</b>	1 500 000	0.79
<b>RM 2</b>	1 200 000	0.65
<b>RM 3</b>	1 000 000	0.52

Tabela 8 - Alternativas hipotéticas para a análise custo-benefício

Deve determinar-se o preço de cada equipamento em relação aos preços de todos os outros equipamentos do mesmo tipo (os tipos de equipamentos estão definidos na secção 2.1 do presente trabalho). Assim o preço relativo de cada equipamento é determinado ao fazer o quociente de cada preço absoluto e da soma de todos os preços absolutos de todos os equipamentos do mesmo tipo a considerar:

$$P_{relativoq} = \frac{P_{absolutoq}}{\sum_{q=1}^p P_{absolutoq}}$$

Os preços relativos para cada um dos equipamentos de ressonância magnética estão representados na tabela 9.

A análise custo-benefício, por sua vez, é feita por meio do quociente entre o benefício e o custo, sendo o benefício a medida de proximidade à alternativa ideal. É necessário ter em conta que, se a medida de proximidade tiver sido obtida por meio do método VIKOR, a análise custo-benefício será tanto melhor quando menor for o valor do quociente; por outro lado, se a medida tiver sido obtida por meio do método TOPSIS, a análise custo-benefício será tanto melhor quanto maior for o valor do quociente.

Considerando que a medida de proximidade da tabela 8 foi obtida com recurso ao método TOPSIS, a análise custo-benefício para os equipamentos de ressonância está representada na tabela 9.

Equipamento	$P_{relativo}$	Análise Custo-Benefício
<b>RM 1</b>	0.4054	1.94
<b>RM 2</b>	0.3243	2.00
<b>RM 3</b>	0.2702	1.92

Tabela 9 - Preços relativos e Análise Custo-Benefício de 3 equipamentos de ressonância magnética

Dos resultados presentes nas tabelas 8 e 9 observa-se que, apesar do equipamento RM1 estar mais próximo da alternativa ideal, quando incorporado o custo do equipamento, verifica-se que fica abaixo do equipamento RM2. Assim quando considerado o custo, a melhor alternativa neste pequeno exemplo é o equipamento RM2. Utilizando esta análise custo-benefício, acredita-se que o agente de decisão terá mais confiança nos resultados da metodologia.

No capítulo seguinte a metodologia descrita é aplicada a um caso de estudo que, embora hipotético, tem por base as indicações fornecidas pelo do Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central.

# 4

## **Aplicação da metodologia a um caso de estudo**

No presente capítulo pretende-se aplicar a metodologia proposta no capítulo anterior, não só para a sua validação, mas também para se mostrar um exemplo, passo a passo, da sua aplicação, o que permitirá ao CHULC uma melhor compreensão da mesma. O caso de estudo hipotético, ao invés de real, prende-se com a elevada dificuldade existente na marcação de entrevistas com os atores validados pela administradora hospitalar do Centro Tecnológico e Biomédico. Assim, no presente capítulo, o caso de estudo tem por base a informação disponibilizada pela referida administradora hospitalar.

O objetivo e os agentes de decisão foram identificados no capítulo anterior e são imutáveis na aplicação da metodologia. Assim, o primeiro passo é a identificação do conjunto de alternativas que serão sujeitas a análise. Dentro dos tipos de equipamentos existentes no serviço de Radiologia do CHULC, escolheu-se um conjunto de equipamentos representativos do mesmo. São eles os equipamentos de ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC), radiografia (raios-X), mamografia e ecografia (tabela 10). A escolha destes prende-se, não só, com o facto da sua aquisição implicar grandes custos para o Centro Hospitalar, mas também por serem equipamentos transversais a um conjunto de outros serviços, sendo largamente utilizados em diagnóstico e planeamento terapêutico.

	Tipo de Equipamento	Custo (€)
$a_1$	TC	900 000
$a_2$	RM	1 500 000
$a_3$	TC	550 000
$a_4$	Raios-X	100 000
$a_5$	Ecografia	60 000
$a_6$	Mamografia	95 000
$a_7$	Raios-X	150 000
$a_8$	Mamografia	65 000
$a_9$	RM	1 200 000
$a_{10}$	Ecografia	80 000
$a_{11}$	Mamografia	50 000
$a_{12}$	RM	900 000
$a_{13}$	RM	1 300 000

Tabela 10 - Alternativas consideradas na aplicação da metodologia de apoio à substituição

O passo seguinte é a identificação de critérios com recurso à Casa da Qualidade. Não tendo sido possível reunir com o agente de decisão nem tão pouco com os atores, optou-se pela utilização exclusiva do levantamento de requisitos feitos com recurso à bibliografia e que deu origem à figura 14 (secção 3.2.3). A importância para o utilizador, parâmetro que avalia a relevância atribuída pelos utilizadores dos equipamentos, foi obtida com recurso a um curto inquérito online. Foi possível recolher 34 respostas, tendo o inquérito sido enviado a pacientes e profissionais de saúde, os utilizadores dos equipamentos. O inquérito e respetivas respostas poderão ser encontrados no anexo 3. Após inclusão da importância para o utilizador, bem como da avaliação das relações entre os requisitos dos utilizadores e os requisitos do agente de decisão, foi possível construir a Casa da Qualidade final, representada na figura 17. As relações entre os diferentes requisitos foram determinadas com recurso à Escala de Cohen (tabela 3). A Casa da Qualidade preenchida inclui os pesos absolutos e relativos de cada requisito (correspondentes às duas linhas finais da figura 17), que demonstram quão relevantes são os requisitos dos agentes de decisão na prossecução dos requisitos dos utilizadores. Foram selecionados os requisitos (ou critérios) com um peso relativo superior 8%. Os critérios nestas condições são avaliação tecnológica, esperança média de vida, geração de receita, custo de ciclo de vida, grau de utilização, criticidade e conformidade regulamentar.

Importância Relativa	Importância para os Utilizadores	Requisitos do Agente de Decisão		Técnicos						Económicos				Administrativos			
		Requisitos dos Utilizadores	Requisitos do Agente de Decisão	Avaliação Tecnológica	Esperança de vida do equipamento	Requisitos de instalação	Necessidade de substituição de equipamento	Risco de não compra	Fiabilidade do equipamento	Geração de receita	Custo de ciclo de vida	Custo "à cabeça"	Custos de manutenção	Grau de Utilização	Necessidade de formação de utilizadores	Criticalidade	Conformidade regulamentar
0.0893	5			9	9	3	9	9	3	9	9	3	9	3	9	9	
0.0893	5			9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	3	9
0.0893	5			3	9	1	3	3	9	9	3	3	9	9	3	9	
0.0893	5			9	9	3	3	3	9	9	3	3	9	9	3	9	
0.0179	1			9	1				3	3	3	3	3	3	3	1	3
0.0893	5			3	3	1	3	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9
0.0893	5			3	3				9	9				3			
0.0893	5			9	3	3	1	9	9	9		3	9			3	9
0.0893	5			9	3	3	3	3	9	9				9		3	9
0.0536	3			9	3		1		3	9				9		1	9
0.0893	5			9	3	1	9	3	9	9	3	9	9	3	3	3	9
0.0357	2			3	1									3	1	3	
0.0893	5			3	9		3	3	3	3	3	9	9	3	3	9	
		<b>327</b>	<b>243</b>	<b>85</b>	<b>133</b>	<b>210</b>	<b>210</b>	<b>210</b>	<b>243</b>	<b>258</b>	<b>165</b>	<b>180</b>	<b>246</b>	<b>168</b>	<b>250</b>	<b>255</b>	
		<b>10.999</b>	<b>8.1736</b>	<b>2.8591</b>	<b>4.4736</b>	<b>7.0636</b>	<b>7.0636</b>	<b>7.0636</b>	<b>8.1736</b>	<b>8.6781</b>	<b>5.5499</b>	<b>6.0545</b>	<b>8.2745</b>	<b>5.6509</b>	<b>8.409</b>	<b>8.5772</b>	

Figura 17 - Casa da Qualidade completa

Conforme mencionado no capítulo anterior, o critério conformidade regulamentar, pela sua natureza binária e pela obrigatoriedade do seu cumprimento, deve ser utilizado para eliminar da análise as alternativas que não o verificarem. Assim, as alternativas  $a_{11}$ ,  $a_{12}$  e  $a_{13}$  foram eliminadas, uma vez que se verificou a sua não conformidade tecnológica, tendo-se ficado com um total de 10 alternativas a avaliar.

Escolhidos os critérios, o passo seguinte é a determinação das importâncias relativas de cada ator para cada critério e dos critérios entre si. A hierarquização utilizada está representada na figura 18.

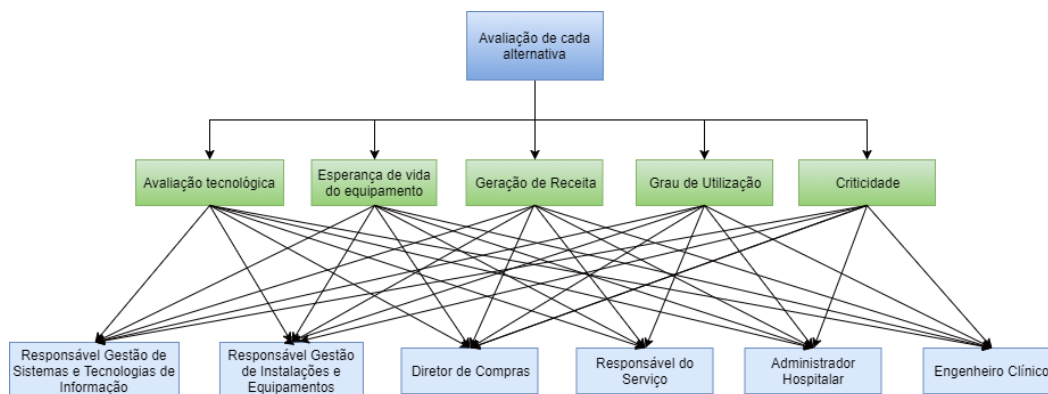


Figura 18 - Hierarquização dos atores e dos critérios

A figura 18 não contempla o critério “Custo de Ciclo de Vida” uma vez que este será tido em conta na análise custo-benefício. O critério “Conformidade Regulamentar” também não é contemplado, devido à sua natureza não compensatória, tendo sido já utilizado para determinar as alternativas passíveis de avaliação no modelo.

As importâncias relativas dos atores são determinadas tendo por base um conjunto de matrizes de comparação que se apresentam nas tabelas 11 a 15. Os índices de consistência para cada uma destas matrizes constam no anexo 4.

<b>Avaliação Tecnológica</b>	<i>Sistemas de Informação</i>	<i>Gestão de Equipamentos</i>	<i>Diretor de Compras</i>	<i>Responsável do Serviço</i>	<i>Administrador Hospitalar</i>	<i>Engenheiro Clínico</i>	<b>Peso do Ator (%)</b>
<i>Sistemas de Informação</i>	1	3	5	$\frac{1}{3}$	4	$\frac{1}{4}$	16.67
<i>Gestão de Equipamentos</i>	$\frac{1}{3}$	1	7	$\frac{1}{2}$	3	$\frac{1}{3}$	13.54
<i>Diretor de Compras</i>	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{7}$	3.32
<i>Responsável do Serviço</i>	3	2	6	1	4	$\frac{1}{2}$	23.79
<i>Administrador Hospitalar</i>	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	2	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{6}$	5.29
<i>Engenheiro Clínico</i>	4	3	7	2	6	1	37.25

Tabela 11 - Matriz de comparação e pesos dos atores para o critério Avaliação Tecnológica

<b>Esperança Média de Vida</b>	<i>Sistemas de Informação</i>	<i>Gestão de Equipamentos</i>	<i>Diretor de Compras</i>	<i>Responsável do Serviço</i>	<i>Administrador Hospitalar</i>	<i>Engenheiro Clínico</i>	<b>Peso do Ator (%)</b>
<i>Sistemas de Informação</i>	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{5}$	3.05
<i>Gestão de Equipamentos</i>	5	1	$\frac{1}{2}$	3	$\frac{1}{5}$	1	13.60
<i>Diretor de Compras</i>	6	2	1	3	1	$\frac{1}{2}$	20.64
<i>Responsável do Serviço</i>	3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{7}$	1	8.23
<i>Administrador Hospitalar</i>	9	5	1	7	1	2	36.34
<i>Engenheiro Clínico</i>	5	1	2	1	$\frac{1}{2}$	1	18.12

Tabela 12 - Matriz de comparação e pesos dos atores para o critério Esperança Média de Vida

<b>Geração de Receita</b>	<i>Sistemas de Informação</i>	<i>Gestão de Equipamentos</i>	<i>Diretor de Compras</i>	<i>Responsável do Serviço</i>	<i>Administrador Hospitalar</i>	<i>Engenheiro Clínico</i>	<b>Peso do Ator (%)</b>
<i>Sistemas de Informação</i>	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{3}$	2.74
<i>Gestão de Equipamentos</i>	5	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	6.30
<i>Diretor de Compras</i>	7	5	1	3	$\frac{1}{3}$	5	25
<i>Responsável do Serviço</i>	7	3	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$	3	14.17
<i>Administrador Hospitalar</i>	9	7	3	5	1	5	43.58
<i>Engenheiro Clínico</i>	3	3	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	1	8.23

Tabela 13 - Matriz de comparação e pesos dos atores para o critério Geração de Receita

<b>Grau de Utilização</b>	<i>Sistemas de Informação</i>	<i>Gestão de Equipamentos</i>	<i>Diretor de Compras</i>	<i>Responsável do Serviço</i>	<i>Administrador Hospitalar</i>	<i>Engenheiro Clínico</i>	<b>Peso do Ator (%)</b>
<i>Sistemas de Informação</i>	1	$\frac{1}{3}$	5	$\frac{1}{3}$	3	$\frac{1}{3}$	12.48
<i>Gestão de Equipamentos</i>	3	1	3	1	4	1	24.01
<i>Diretor de Compras</i>	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	4.28
<i>Responsável do Serviço</i>	3	1	7	1	5	1	27.81
<i>Administrador Hospitalar</i>	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	3	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{3}$	7.04
<i>Engenheiro Clínico</i>	3	1	5	1	3	1	24.38

Tabela 14 - Matriz de comparação e pesos dos atores para o critério Grau de Utilização

<b>Criticidade</b>	<i>Sistemas de Informação</i>	<i>Gestão de Equipamentos</i>	<i>Diretor de Compras</i>	<i>Responsável do Serviço</i>	<i>Administrador Hospitalar</i>	<i>Engenheiro Clínico</i>	<b>Peso do Ator (%)</b>
<i>Sistemas de Informação</i>	1	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	3.35
<i>Gestão de Equipamentos</i>	9	1	4	2	3	1	29.07
<i>Diretor de Compras</i>	2	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{8}$	5.16
<i>Responsável do Serviço</i>	4	$\frac{1}{2}$	4	1	2	$\frac{1}{2}$	16.52
<i>Administrador Hospitalar</i>	3	$\frac{1}{3}$	3	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{6}$	9.63
<i>Engenheiro Clínico</i>	9	1	8	2	6	1	36.27

Tabela 15 - Matriz de comparação e pesos dos atores para o critério Criticidade

Estando determinados os pesos de cada ator para cada critério, é necessário determinar as importâncias relativas de cada critério para a decisão final. Utilizando o mesmo método, constrói-se uma matriz de comparação que permite determinar o peso de cada critério (tabela 16). O índice de consistência desta tabela apresenta-se no anexo 4.

<b>Importância relativa dos critérios</b>	<i>Avaliação Tecnológica</i>	<i>Esperança Média de Vida</i>	<i>Geração de Receita</i>	<i>Grau de Utilização</i>	<i>Criticidade</i>	<b>Peso do Critério (%)</b>
<i>Avaliação Tecnológica</i>	1	5	2	2	3	38.19
<i>Esperança Média de Vida</i>	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	7.26
<i>Geração de Receita</i>	$\frac{1}{2}$	2	1	3	2	25.43
<i>Grau de Utilização</i>	$\frac{1}{4}$	3	$\frac{1}{3}$	1	2	15.74
<i>Criticidade</i>	$\frac{1}{3}$	3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	13.38

Tabela 16 - Matriz de comparação e pesos dos critérios

A fase de avaliação, passo seguinte à determinação de importâncias relativas, exige que os atores avaliem, individualmente, cada uma das alternativas, segundo cada um dos critérios. Não tendo sido possível recolher dados reais dos atores, foram geradas 6 matrizes de decisão, utilizando valores aleatórios, para o responsável pelos sistemas e tecnologias de informação (STI), responsável pela gestão de instalações e equipamentos (GIE), diretor de compras (DC), responsável do serviço (RS), administrador hospitalar (AH) e engenheiro clínico (EC). Para cada critério foi escolhida uma escala de avaliação, tendo-se selecionado no caso dos critérios avaliação tecnológica (AT) e grau de utilização (GU), uma escala de 0 a 100 e, no caso dos restantes critérios, esperança média de vida (EMV), geração de receita (GR), grau de utilização (GU) e criticidade (C), uma escala de 0 a 20. As matrizes de decisão individuais são dadas pelas tabelas 17 a 22.

<i>STI</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$a_1$	81	14	14	62	2
$a_2$	82	11	8	19	3
$a_3$	59	8	18	82	1
$a_4$	52	7	7	31	15
$a_5$	54	13	11	85	7
$a_6$	58	7	14	74	13
$a_7$	69	7	12	14	7
$a_8$	67	6	8	57	12
$a_9$	84	15	7	60	19
$a_{10}$	53	7	9	83	12

Tabela 17 - Matriz de avaliação do ator Responsável de Sistemas e Tecnologias de Informação

<i>GIE</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$a_1$	72	8	5	89	19
$a_2$	99	10	15	93	12
$a_3$	78	12	11	96	9
$a_4$	99	7	14	7	3
$a_5$	77	15	18	20	7
$a_6$	96	11	8	19	5
$a_7$	63	12	10	69	20
$a_8$	70	12	7	53	20
$a_9$	51	8	7	47	11
$a_{10}$	64	7	10	55	6

Tabela 18 - Matriz de avaliação do ator Responsável de Gestão de Infraestruturas e Equipamentos

<i>DC</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$a_1$	83	13	12	78	0
$a_2$	64	11	12	38	13
$a_3$	73	15	13	17	19
$a_4$	71	5	18	27	11
$a_5$	92	15	10	49	6
$a_6$	69	10	16	4	15
$a_7$	95	6	12	100	15
$a_8$	55	9	10	82	17
$a_9$	54	6	16	88	4
$a_{10}$	76	9	6	24	15

Tabela 19 - Matriz de avaliação do ator Diretor de Compras

<i>RS</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
<i>a</i> <sub>1</sub>	77	10	14	94	0
<i>a</i> <sub>2</sub>	93	14	18	43	10
<i>a</i> <sub>3</sub>	66	8	14	45	17
<i>a</i> <sub>4</sub>	51	15	11	74	16
<i>a</i> <sub>5</sub>	78	12	17	15	16
<i>a</i> <sub>6</sub>	56	8	17	50	7
<i>a</i> <sub>7</sub>	80	13	17	9	0
<i>a</i> <sub>8</sub>	51	12	20	36	18
<i>a</i> <sub>9</sub>	63	11	7	71	4
<i>a</i> <sub>10</sub>	63	14	17	84	4

Tabela 20 - Matriz de avaliação do ator Responsável de Serviço

<i>AH</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
<i>a</i> <sub>1</sub>	79	13	14	56	10
<i>a</i> <sub>2</sub>	66	9	12	75	11
<i>a</i> <sub>3</sub>	80	11	8	60	10
<i>a</i> <sub>4</sub>	53	5	15	71	11
<i>a</i> <sub>5</sub>	97	5	11	32	14
<i>a</i> <sub>6</sub>	60	15	18	23	0
<i>a</i> <sub>7</sub>	74	8	7	10	7
<i>a</i> <sub>8</sub>	64	13	14	63	16
<i>a</i> <sub>9</sub>	98	15	18	33	14
<i>a</i> <sub>10</sub>	80	14	10	85	14

Tabela 21 - Matriz de avaliação do ator Administrador Hospitalar

<i>EC</i>	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
<i>a</i> <sub>1</sub>	73	8	7	33	19
<i>a</i> <sub>2</sub>	82	8	13	92	17
<i>a</i> <sub>3</sub>	59	10	9	2	11
<i>a</i> <sub>4</sub>	52	5	10	31	13
<i>a</i> <sub>5</sub>	54	10	16	22	1
<i>a</i> <sub>6</sub>	58	5	5	31	17
<i>a</i> <sub>7</sub>	69	7	10	81	14
<i>a</i> <sub>8</sub>	67	14	5	94	4
<i>a</i> <sub>9</sub>	84	15	20	48	14
<i>a</i> <sub>10</sub>	53	12	18	61	7

Tabela 22 - Matriz de avaliação do ator Engenheiro Clínico

Consideradas as importâncias relativas de cada ator, é possível agregar as anteriores matrizes numa única matriz (tabela 23) através da formulação:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^6 w_k z_{ijk}$$

	<i>A</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
<i>a</i> <sub>1</sub>	75.81	11.20	12.36	70.57	13.44
<i>a</i> <sub>2</sub>	85.47	9.84	13.01	65.99	13.14
<i>a</i> <sub>3</sub>	64.82	11.44	10.64	51.24	11.39
<i>a</i> <sub>4</sub>	58.81	6.16	14.49	39.84	10.36
<i>a</i> <sub>5</sub>	66.36	10.15	12.45	29.30	6.93
<i>a</i> <sub>6</sub>	63.14	10.79	15.55	37.05	9.99
<i>a</i> <sub>7</sub>	71.93	8.33	10.24	45.55	12.57
<i>a</i> <sub>8</sub>	63.04	11.92	12.50	60.71	13.06
<i>a</i> <sub>9</sub>	74.28	11.86	15.11	56.31	11.13
<i>a</i> <sub>10</sub>	59.06	11.44	10.62	68.81	7.47

Tabela 23 – “Super” matriz de decisão - matriz de decisão agregadora das matrizes dos atores individuais

Recolhidos todos os dados necessários quer do agente de decisão, quer dos atores, é aplicado um método para a ordenação das alternativas. Conforme referido no capítulo anterior, serão utilizados dois métodos, TOPSIS e VIKOR, com o objetivo de determinar qual destes produz uma ordenação mais estável e, por isso, mais confiável.

#### 4.1. Aplicação do método TOPSIS

Primeiro, efetua-se a análise de acordo com o método TOPSIS, que obriga a uma normalização da matriz de decisão da tabela 23. A matriz normalizada está representada na tabela 24.

	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$a_1$	0.3487	0.3386	0.3047	0.4113	0.3808
$a_2$	0.3932	0.2976	0.3209	0.3846	0.3721
$a_3$	0.2982	0.346	0.2625	0.2986	0.3227
$a_4$	0.2705	0.1862	0.3573	0.2322	0.2934
$a_5$	0.3053	0.3069	0.3071	0.1707	0.1964
$a_6$	0.2905	0.3263	0.3834	0.2159	0.2828
$a_7$	0.3309	0.2519	0.2525	0.2654	0.3562
$a_8$	0.2900	0.3606	0.3084	0.3538	0.3699
$a_9$	0.3417	0.3587	0.3726	0.3282	0.3151
$a_{10}$	0.2717	0.3459	0.2620	0.4010	0.2115

Tabela 24 - Matriz de decisão normalizada, método TOPSIS

Para que seja possível determinar a alternativa ideal e anti ideal é necessário que a matriz esteja já ponderada, isto é, que já tenham sido incluídos na matriz os pesos de cada um dos critérios (tabela 25). Recordemos que os pesos dos critérios são dados pelo vetor de pesos  $w_c = (38.19, 7.26, 25.43, 15.74, 13.38)$ .

	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$a_1$	0.1332	0.0246	0.077	0.0647	0.051
$a_2$	0.1502	0.0216	0.0816	0.0605	0.0498
$a_3$	0.1139	0.0251	0.0668	0.047	0.0432
$a_4$	0.1033	0.0135	0.0909	0.0365	0.0393
$a_5$	0.1166	0.0223	0.0781	0.0269	0.0263
$a_6$	0.1109	0.0237	0.0975	0.034	0.0378
$a_7$	0.1264	0.0183	0.0642	0.0418	0.0477
$a_8$	0.1107	0.0262	0.0784	0.0557	0.0495
$a_9$	0.1305	0.0260	0.0948	0.0517	0.0422
$a_{10}$	0.1038	0.0251	0.0666	0.0631	0.0283

Tabela 25 - Matriz de decisão normalizada e ponderada (método TOPSIS)

Uma vez que todos os critérios funcionam como um “benéfico”, isto é quanto maior for a pontuação para cada um dos critérios “mais recomendada” é a sua aquisição, a alternativa ideal é determinada pela seleção do valor máximo, de cada critério presente na tabela 25. Pela mesma razão, a alternativa anti ideal é determinada ao selecionar o valor mínimo, de cada critério, presente na tabela 25.

	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$A^*$	0.1502	0.0262	0.0975	0.0647	0.051

Tabela 26 - Alternativa ideal (TOPSIS)

	<i>AT</i>	<i>EMV</i>	<i>GR</i>	<i>GU</i>	<i>C</i>
$A^-$	0.1033	0.0135	0.0642	0.0269	0.0263

Tabela 27 - Alternativa anti ideal (TOPSIS)

Na tabela 28 são apresentadas as distâncias relativas de cada alternativa à alternativa ideal ( $D^*$ ) e à alternativa anti ideal ( $D^-$ ). Nesta tabela é também apresentada a medida de proximidade relativa ( $C^*$ ) de cada uma das alternativas à solução ideal. A alternativa é tanto melhor quanto mais próximo de 1 for a medida de proximidade relativa.

	$D^*$	$D^-$	$C^*$
$a_1$	0.0263	0.0569	0.6838
$a_2$	0.0171	0.0652	0.792
$a_3$	0.0514	0.0307	0.3741
$a_4$	0.0577	0.0312	0.3508
$a_5$	0.0597	0.0211	0.2613
$a_6$	0.0516	0.0381	0.4250
$a_7$	0.0477	0.0351	0.4241
$a_8$	0.0447	0.0423	0.4858
$a_9$	0.0254	0.0519	0.6719
$a_{10}$	0.0602	0.0382	0.3882

Tabela 28 - Distâncias relativas de cada alternativa às soluções ideal e anti ideal e medida de proximidade relativa

A tabela 28 constitui a conclusão da aplicação do método TOPSIS e permite afirmar que  $a_2 > a_1 > a_9 > a_8 > a_6 > a_7 > a_{10} > a_3 > a_4 > a_5$ .

## 4.2. Aplicação do método VIKOR

O método VIKOR é aplicado para os mesmos atores, critérios, importâncias relativas e matrizes de decisão. Este método não obriga à normalização da matriz de decisão da tabela 23, sendo a normalização feita mais tarde. Assim o primeiro passo na aplicação deste método é a construção das alternativas ideal e anti ideal, a partir dos valores máximos e mínimos da tabela 23, para cada critério, respetivamente.

	$AT$	$EMV$	$GR$	$GU$	$C$
$A^*$	85.47	11.92	15.55	70.57	13.44

Tabela 29 - Alternativa ideal (VIKOR)

	$AT$	$EMV$	$GR$	$GU$	$C$
$A^-$	58.81	6.16	10.24	29.3	6.93

Tabela 30 - Alternativa anti ideal (VIKOR)

No sentido de produzir a ordenação das alternativas, foram calculados os valores  $S$ ,  $R$  e  $Q$  para cada uma das alternativas (tabela 31), conforme descrito na secção 3.5.

	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>Q</i>	<i>Posição</i>
$a_1$	0.3004	0.1529	0.1716	2
$a_2$	0.1715	0.1215	0	1
$a_3$	0.6528	0.2959	0.751	7
$a_4$	0.6859	0.3819	0.9447	9
$a_5$	0.7355	0.2737	0.7799	8
$a_6$	0.5330	0.3199	0.6935	6
$a_7$	0.6067	0.2543	0.6313	4
$a_8$	0.5126	0.3213	0.6786	5
$a_9$	0.2841	0.1604	0.1720	3
$a_{10}$	0.7498	0.3783	0.993	10

Tabela 31 - Valores de máxima utilidade, mínimo desacordo e proximidade relativa (*S*, *R* e *Q*) para cada uma das alternativas

O método VIKOR permite ainda construir uma ordenação tendo por base soluções de compromisso, sempre que não se verifiquem as condições de vantagem aceitável e estabilidade. Uma dada alternativa  $a$  tem uma “vantagem aceitável” sobre as restantes alternativas se, quando comparada com  $a'$  (alternativa imediatamente posterior), for verificado que:

$$Q(a') - Q(a) \geq DQ \quad \text{com } DQ = \frac{1}{m-1}$$

Para o caso de estudo em mãos  $DQ = \frac{1}{10-1} = 0.1111$ . Sempre que a condição não se verifique, devem ser recomendadas, como soluções de compromisso, as alternativas  $a$ ,  $a'$  e  $a^k$  em que  $a^k$  é a alternativa para a qual  $Q(a^k) - Q(a) < DQ$ , para o valor máximo de  $k$ .

Uma alternativa tem estabilidade sempre que esteja na mesma posição na lista ordenada por  $Q$  e numa das listas ordenadas por  $R$  e/ou  $S$ . Caso apenas esta condição não seja cumprida, recomendam-se, como soluções de compromisso a alternativa para a qual a condição não é cumprida e a imediatamente posterior. A ordenação de acordo com as soluções de compromisso está representada na tabela 32.

	<i>Q</i>	<i>Vantagem aceitável</i>	<i>Estabilidade</i>	<i>Posição de Compromisso</i>
$a_2$	0	✓	✓	1
$a_1$	0.1716	✗	✓	2
$a_9$	0.172	✓	✓	2
$a_7$	0.6313	✗	✓	3
$a_8$	0.6786	✗	✗	3
$a_6$	0.6935	✗	✗	3
$a_3$	0.751	✗	✓	4
$a_5$	0.7799	✓	✗	4
$a_4$	0.9447	✗	✗	5
$a_{10}$	0.9931	-	✓	5

Tabela 32 - Ordenação com soluções de compromisso

### 4.3. Análise de Sensibilidade

Antes de proceder à análise custo-benefício, é necessário proceder à análise de sensibilidade. Desta forma, procura-se estabelecer a estabilidade das ordenações obtidas por meio dos métodos VIKOR e TOPSIS, quando variados os pesos dos critérios. No presente caso de estudo, a utilização dos dois métodos originou ordenações de alternativas diferentes, como demonstra a figura 19.

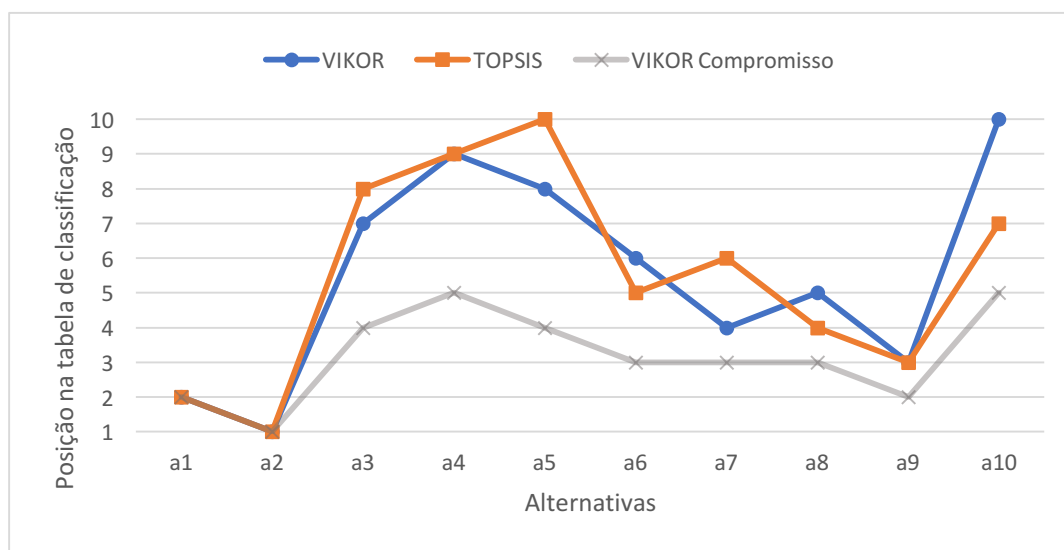


Figura 19 - Comparação entre as ordenações de alternativas obtidas para os métodos VIKOR e TOPSIS

Embora ambos os métodos concluam que as alternativas  $a_2, a_1$  e  $a_9$  ocupam, respectivamente, a primeira, segunda e terceira posições, e que a alternativa  $a_4$  ocupa a nona posição, para as restantes 6 alternativas as posições ocupadas diferem para o VIKOR e para o TOPSIS. Uma análise de sensibilidade a estas ordenações permitirá compreender o método que produz uma ordenação mais estável e que, por essa razão, deve ser o método considerado no apoio à decisão de aquisição. Neste sentido e considerando o vetor de pesos dos critérios  $w_c = (38.19, 7.26, 25.43, 15.74, 13.38)$  é feita uma análise de sensibilidade através da variação de cada critério em  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$ ,  $\pm 40\%$  e  $\pm 50\%$  e consequente avaliação da variação da ordenação das alternativas.

Primeiro, será feita a análise de sensibilidade aos resultados produzidos pelo método TOPSIS.

### 4.3.1. Método TOPSIS

- *Critério Avaliação Tecnológica*

Na figura 20 observa-se a análise de sensibilidade ao critério Avaliação Tecnológica.

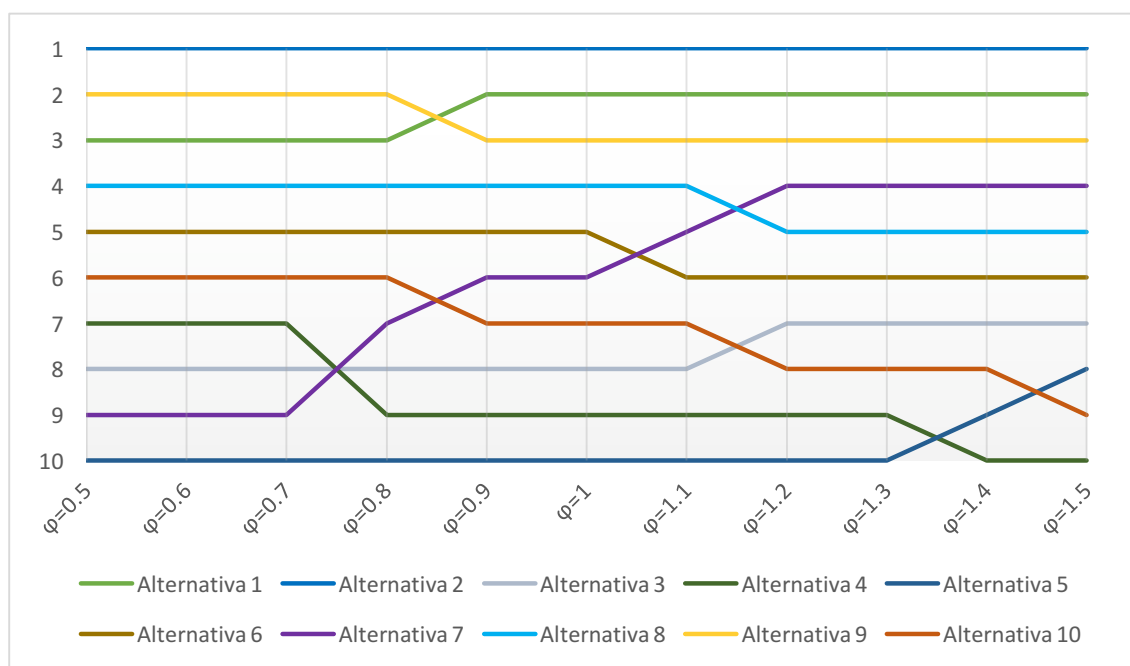


Figura 20 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Avaliação Tecnológica (TOPSIS).

Ao variar o peso deste critério, a ordenação das alternativas sofre alterações. No entanto a alternativa 2 é a melhor posicionada para todas as variações consideradas nesta análise de sensibilidade. Conforme mostra a figura 20, as alternativas mantêm a sua ordenação inicial para variações percentuais da importância relativa do critério Avaliação Tecnológica de até -10% (ou seja, até  $\varphi = 0.9$ ). Foi feita uma avaliação mais fina, para os intervalos de -10 a -19% e de 0 a +10%, cujos gráficos podem ser consultados no anexo 5 (figuras 45 e 46). Desta análise, foi possível concluir que a ordenação das alternativas apresenta total estabilidade para variações

no valor do peso, do critério Avaliação Tecnológica, de -12% a +9%, o que corresponde a uma importância relativa entre 37.55% e 39.05%

- *Critério Esperança Média de Vida*

A variação da importância relativa do critério Esperança Média de Vida é representada na figura 21. Este critério, tendo uma importância relativamente baixa na tomada de decisão (o seu peso é de 7.29%) não influencia tanto a decisão quanto, por exemplo, o critério de avaliação tecnológica. Observa-se que a ordenação apresenta total estabilidade para as variações positivas da importância deste critério até +50%. Por outro lado, verifica-se que a ordenação já não se mantém quando a variação da importância do critério atinge -10%. Uma análise mais fina (figura 47 do anexo 5), permite verificar que a ordenação de alternativas se mantém para uma incerteza de até -4% na determinação do peso deste critério na decisão final. Ou seja, a ordenação das alternativas mantém-se desde que a importância relativa deste critério admita valores entre 36.28% e 57.29%.

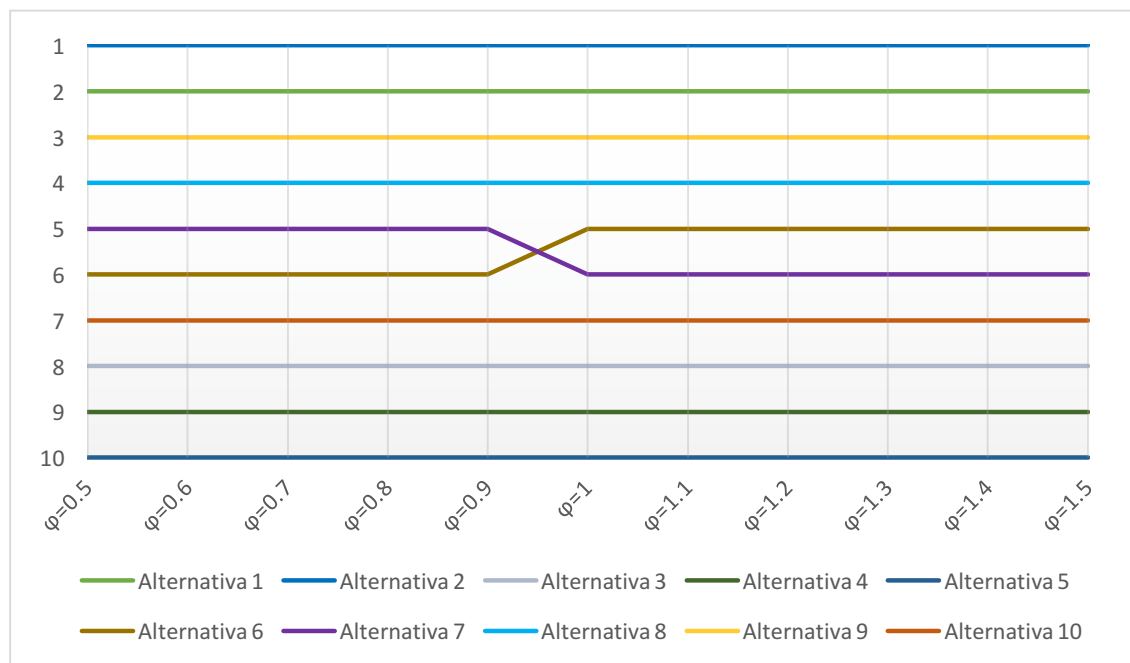


Figura 21 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Esperança média de vida (TOPSIS).

- *Critério Geração de Receita*

Em relação ao critério Geração de Receita (figura 22 e figuras 48 e 49 do anexo 5), foi possível verificar que a ordenação das alternativas é bastante alterada mesmo para as mais pequenas variações no peso este critério, tendo a variação mínima estudada sido de 1%. O decisor deverá, por isso, estar bastante seguro do valor atribuído ao peso deste critério.

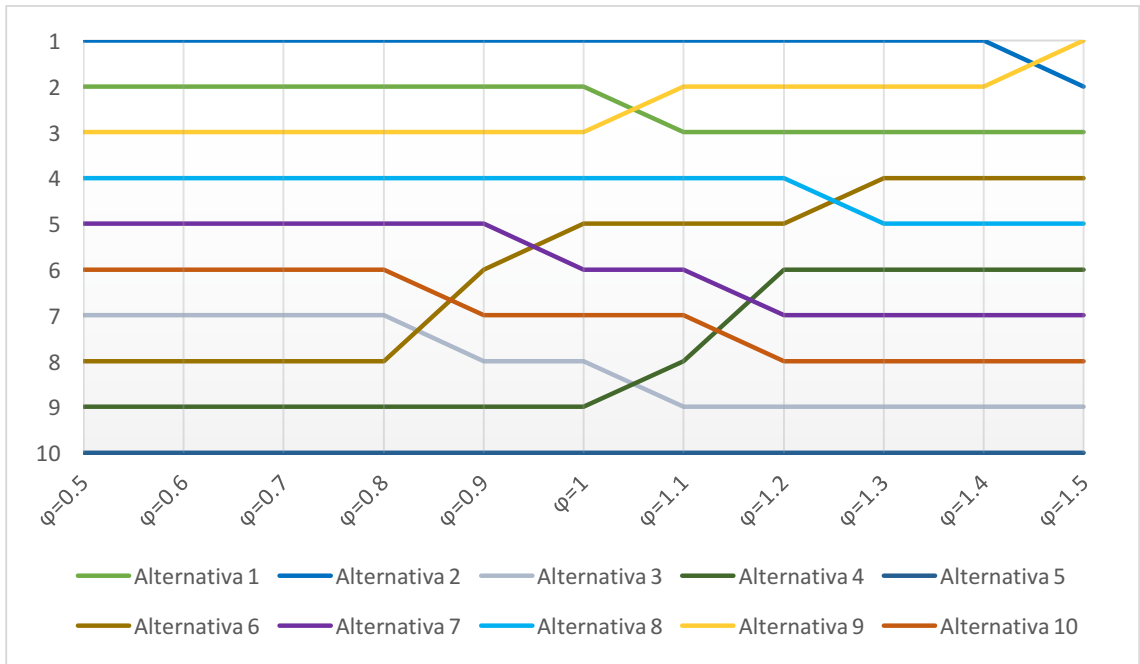


Figura 22 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Geração de Receita (TOPSIS).

- *Critério Grau de Utilização*

A variação da importância relativa do critério Grau de Utilização (figura 23) é a que produz um maior número de variações na ordenação das alternativas, quando comparada com as variações de importância dos restantes critérios, para o método TOPSIS. A alternativa 10, por exemplo, ocupa a última posição num dos extremos do espectro de variações e ocupa a posição número 5 no extremo oposto. Apesar disto, este critério garante a estabilidade da ordenação das alternativas apenas para variações entre -8% e 1% (figuras 50 e 51 do anexo 5). Isto é, a ordenação mantém-se para valores de importância relativa entre 14.48% e 15.90%.

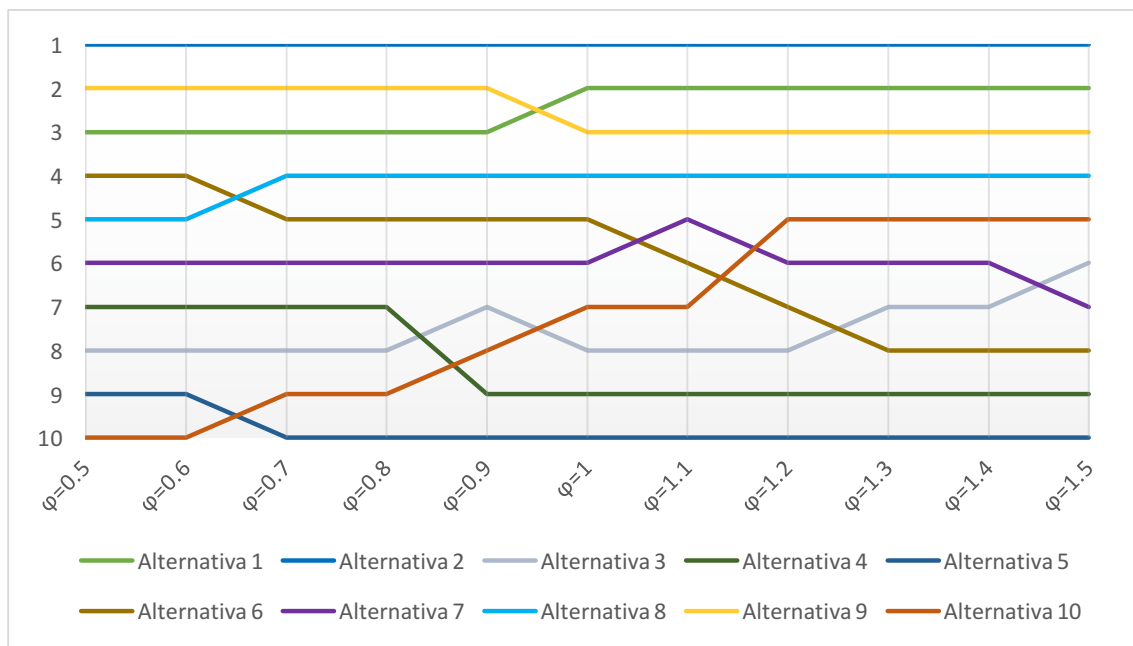


Figura 23 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Grau de Utilização (TOPSIS).

- *Critério Criticidade*

Por último, a importância relativa do critério Criticidade foi variada de 10 em 10% até um cumulativo de -50% ou +50% (figura 24). Recorrendo a uma análise mais fina às variações de peso destes critérios nos intervalos de -20 a -30% e de 0 a 10% (figuras 52 e 53 do anexo 5), foi possível determinar que a ordenação das alternativas é estável para níveis de incerteza na atribuição do peso do critério de -25% a 1%. É possível afirmar, assim, que a ordenação produzida por este método se mantém para importâncias relativas do critério Criticidade entre 10.04% e 13.51%.

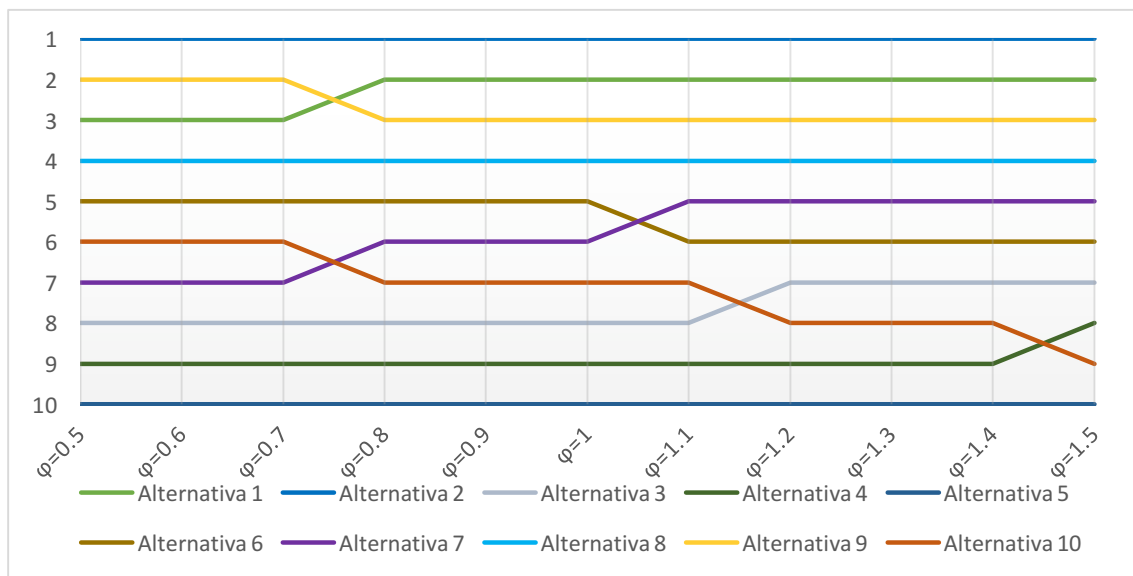


Figura 24 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Criticidade (TOPSIS).

A análise de sensibilidade efetuada à ordenação de alternativas obtidas por meio do método TOPSIS, identifica, indubitavelmente, a alternativa 2 como a melhor alternativa, mesmo quando existe uma grande incerteza associada à determinação dos pesos dos critérios. A única situação em que esta alternativa perde a sua posição preferencial é a de uma incerteza superior a 40% na determinação da importância relativa do critério Geração de Receita. As alternativas 1 e 9 estão sempre posicionadas nas posições de ordem 2 ou 3, para variações de importância relativa dos critérios superiores a -50% e inferiores a -50%. É também possível concluir, com um elevado grau de confiança, que a alternativa 5 é a pior alternativa.

Finda a análise de sensibilidade à ordenação de alternativas obtida pelo método TOPSIS é necessário efetuar uma análise de sensibilidade à ordenação das alternativas obtidas pelo método VIKOR, por forma a conseguir comparar a estabilidade das diferentes ordenações obtidas.

### 4.3.2. Método VIKOR

- *Critério Avaliação Tecnológica*

O estudo da variação da importância relativa do critério avaliação tecnológica está contemplado na figura 25. Através de uma análise mais fina da sensibilidade (figuras 54 e 55 do anexo 6) foi possível determinar que a ordenação apenas se mantém para variações iguais ou inferiores a 40%, não permitindo qualquer tipo de variação negativa do valor de importância relativa deste critério. Assim, para que a ordenação se mantenha este critério terá de ter uma importância relativa entre 38.19% e 53.47%.

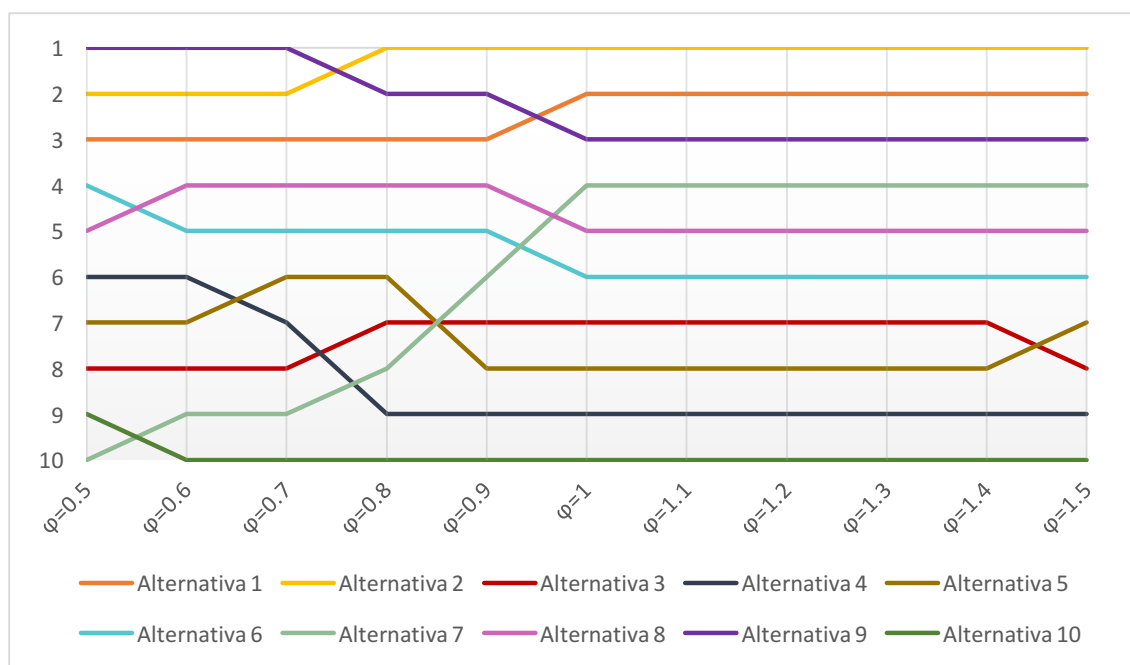


Figura 25 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Avaliação Tecnológica (VIKOR)

- *Critério Esperança Média de Vida*

No caso da variação da importância relativa do critério esperança média de vida (figura 26) a classificação mantém-se constante para todos os cenários simulados para variações negativas. Para os cenários de com variações de importância relativa positivas, apenas se mantém a ordenação quando a variação da importância relativa é inferior a 3% (figura 56 do anexo 6).

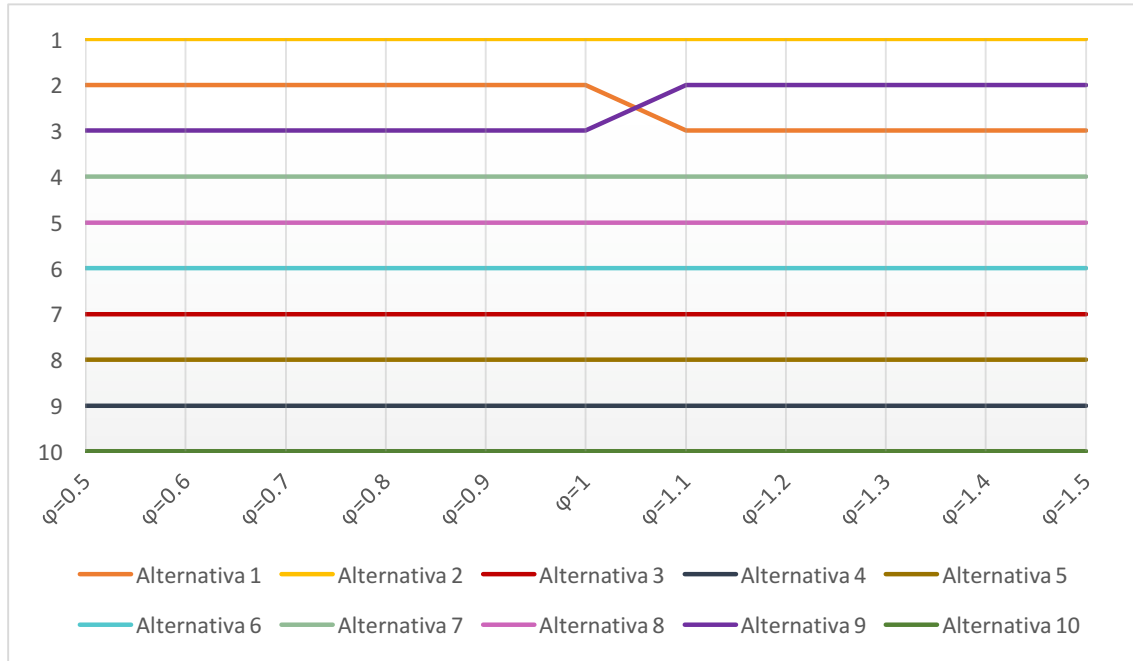


Figura 26 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Esperança Média de Vida (VIKOR)

- *Critério Geração de Receita*

A análise de sensibilidade efetuada no critério Geração de Receita (figura 27), permite concluir uma estabilidade para variações de importância relativa de até -20%, por outro lado os cenários simulados para variações positivas não admitem a mesma ordenação de alternativas. Para melhor determinar a estabilidade da ordenação das alternativas nos casos variações positivas foi feita uma nova análise de sensibilidade para as variações de peso de 1 a 9% (figura 57 do anexo 6). O mesmo tipo de análise foi feito para variações de peso entre -29% a -20% (figura 58 do anexo 6). Conclui-se que apenas se admite incerteza por excesso até -25% do valor da importância relativa inicial, isto é, para que a ordenação se mantenha o peso deste critério poderá variar entre 19.07% e 25.43%.

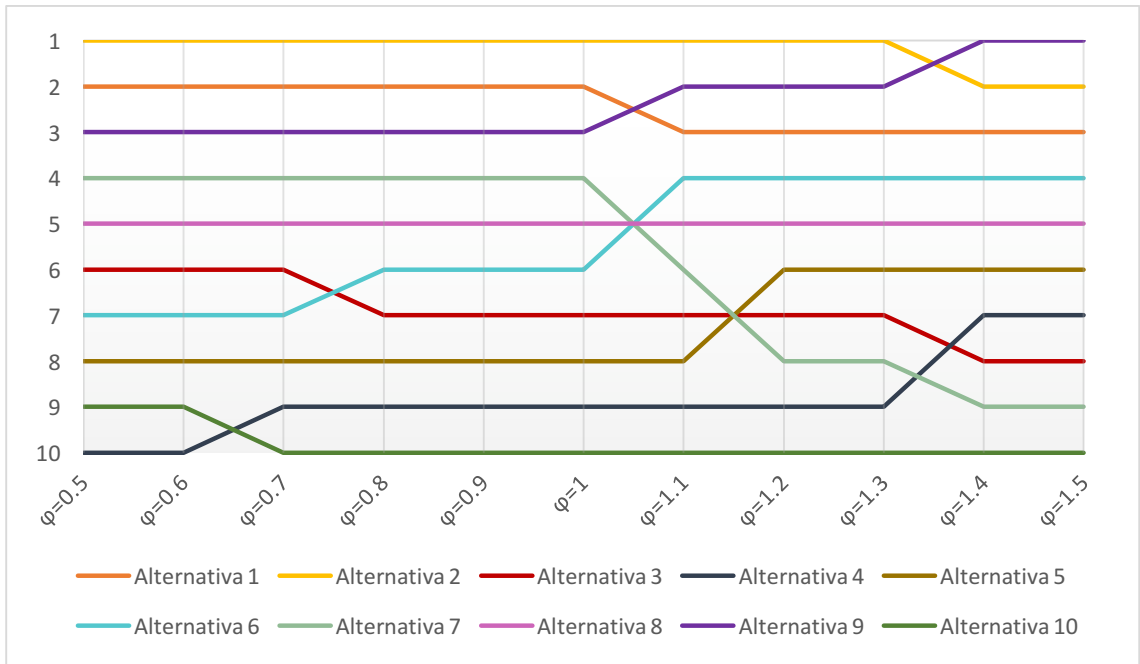


Figura 27 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Geração de Receita (VIKOR)

- *Critério Grau de Utilização*

Variada a importância relativa do critério grau de utilização (figura 28 e figuras 59 e 60 do anexo 6), verifica-se que a ordenação das alternativas se mantém apenas para variações positivas de até 40%. A ordem das alternativas é alterada sempre que existam variações negativas na importância relativa deste critério. Assim, para que a ordenação das alternativas se mantenha, o critério Grau de Utilização admite uma importância relativa entre 15.74% e 22.04%.

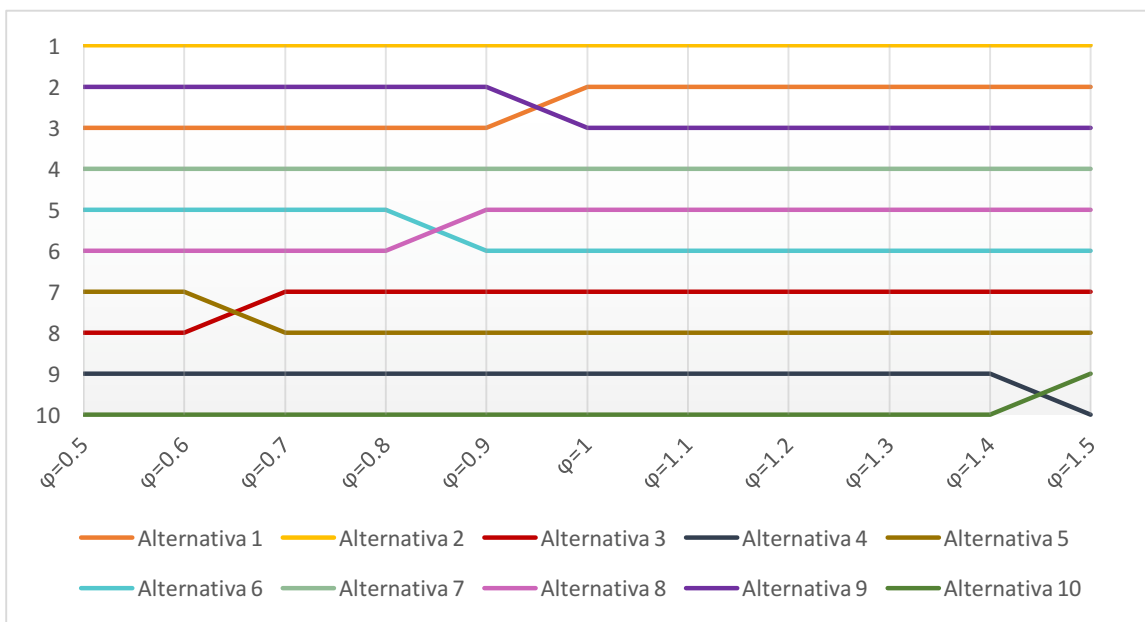


Figura 28 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Grau de Utilização (VIKOR)

- *Critério Criticidade*

No caso do critério criticidade (figura 29), a variação da sua importância relativa até 50% mantém a ordenação das alternativas. No entanto, a ordenação das alternativas é muito sensível a variações negativas deste critério, não se mantendo para nenhum dos cenários simulados (figura 61 do anexo 6).

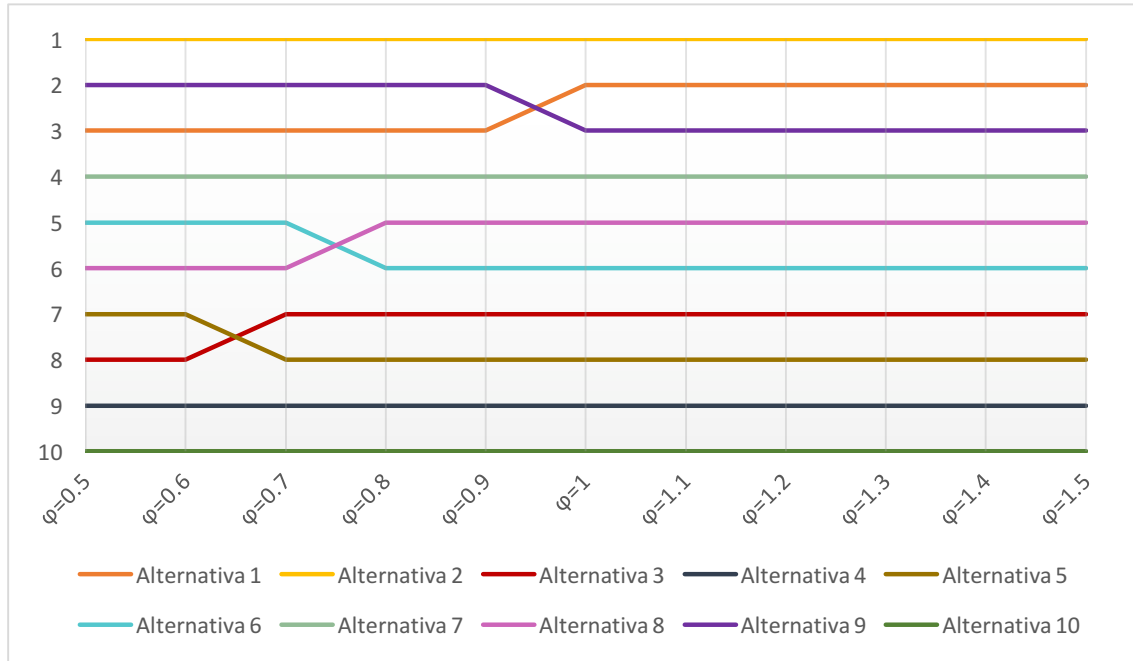


Figura 29 - Alterações na ordenação das alternativas através da variação do peso do critério Criticidade (VIKOR)

A análise de sensibilidade efetuada à ordenação de alternativas obtidas por meio do método VIKOR identifica, indubitavelmente, a alternativa 2 como a melhor alternativa, mesmo para um elevado grau de incerteza. Na realidade, esta alternativa é a melhor para todos os cenários simulados nos critérios criticidade, grau de utilização e esperança média de vida. No caso dos critérios avaliação tecnológica e geração de receita a alternativa 2 é ótima para os cenários simulados superiores a -20% e inferiores a 30%, respetivamente. As alternativas 4 e 9 são também identificadas como segunda pior e pior alternativas, respetivamente, para um grau elevado de incerteza. É interessante referir que, para os critérios criticidade, grau de utilização e esperança média de vida, todas as alternativas cuja ordem é alterada com a variação das importâncias relativas são contempladas como sendo “soluções de compromisso”. Ou seja, as alterações da ordenação VIKOR, sem consideração das soluções de compromisso (tabela 31), para aqueles critérios não ocorre se se considerar a ordenação com as soluções de compromisso (tabela 32). No caso do critério avaliação tecnológica, para variações do peso do mesmo até -10%, a reordenação das alternativas, segundo a ordenação VIKOR, não se verifica na ordenação segundo VIKOR com soluções de compromisso. Por fim, no caso do critério geração de receita, e para variações até 10% da sua importância relativa, a reordenação das alternativas também não se verifica para a ordenação VIKOR com recurso às soluções de compromisso. Assim, é possível perceber que a ordenação produzida pelo método VIKOR, considerando as

soluções de compromisso, é muito estável, tolerando mais incertezas (i.e., variações nos pesos dos critérios) e por isso permitindo um maior grau de confiança na ordenação.

Concluídas as análises para cada metodologia, é possível comparar a sensibilidade dos dois métodos entre si. Para que seja possível uma melhor comparação visual, foi construído o gráfico apresentado na figura 30.

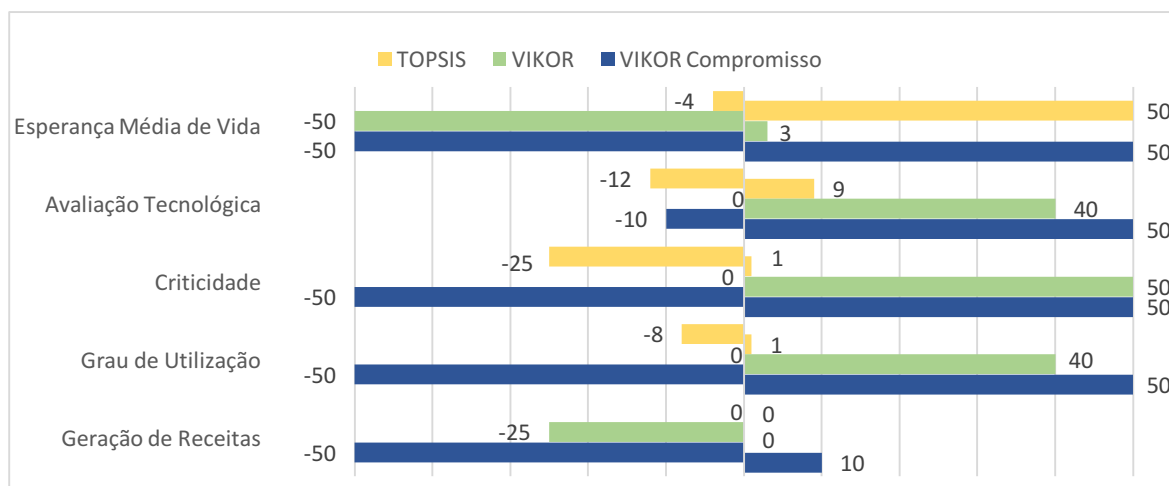


Figura 30 - Comparação da estabilidade da ordenação para cada um dos critérios, segundo as ordenações TOPSIS, VIKOR e VIKOR Compromisso

A figura 30 mostra, para os métodos VIKOR e TOPSIS, as variações no peso de cada um dos critérios sem que sejam observadas alterações na ordenação das alternativas. No caso do método VIKOR, opta-se ainda por mostrar a estabilidade da lista produzida com recurso às soluções de compromisso. É relevante recordar que estas soluções de compromisso implicam que duas ou mais soluções de compromisso, por não terem uma vantagem aceitável sobre a alternativa imediatamente posterior, ou por não terem uma estabilidade aceitável na sua posição no que diz respeito à estratégia utilizada, podem ocupar a mesma posição na tabela ordenada. Por exemplo, as alternativas 6, 7 e 8 ocupam todas a posição 3 na ordenação pelo método VIKOR quando consideradas as soluções de compromisso, apesar de terem valores de proximidade à alternativa ideal diferentes. Por esta razão, existe uma menor sensibilidade nas variações das importâncias quando se fala da ordenação VIKOR compromisso.

A partir da figura 30 é possível concluir que o critério cuja incerteza associada menos afeta a ordenação das alternativas é a esperança média de vida. Este é um resultado esperado, uma vez que aquele é também o critério que tem menor importância relativa para o desfecho da decisão. No extremo oposto está o critério de geração receita, cuja variação de importância inicial revela uma grande sensibilidade na ordenação das alternativas. Neste critério, o segundo com maior importância relativa, o método TOPSIS não admite qualquer variação do seu peso. É possível observar também que, quando considerada a ordenação VIKOR com soluções de compromisso a ordenação é muito pouco sensível a variações das importâncias relativas, sendo por isso possível obter um elevado grau de confiança na ordenação das alternativas.

Assim, é recomendado que, para a implementação deste modelo, seja utilizado método VIKOR como método para a ordenação das alternativas. A utilização deste método e das solu-

ções de compromisso permitirá ao Centro Hospitalar ter um grau de confiança elevado na ordenação produzida sem que para tal tenha de submeter o método a uma extensa análise de sensibilidade, que poderá revelar-se contraproducente com o objetivo principal deste trabalho, que é a otimização do processo de decisão de aquisição de equipamentos médicos, não só em termos de resultados, mas também em termos do tempo despendido na obtenção dos mesmos. No entanto, esta conclusão carece de ainda mais evidência, nomeadamente através da resolução de pelo menos um caso real.

#### 4.4. Análise de custo-benefício

O último passo na aplicação da metodologia é a análise custo-benefício. Esta análise permite avaliar se uma alternativa se mantém como preferencial quando incluído o custo do ciclo de vida. Tendo-se determinado que o método VIKOR é aquele que oferece resultados mais estáveis, é apenas calculado o custo-benefício tendo por base os benefícios obtidos por meio da utilização do mesmo.

Na tabela 33 apresentam-se os preços relativos para cada alternativa, bem como o valor da análise custo-benefício. No anexo 7 são apresentados os cálculos de forma detalhada.

Alternativa	Tipo de Equipamento	Preço relativo	Análise Custo-Benefício
$a_1$	Tomografia Computorizada	0.62	0.28
$a_2$	Ressonância Magnética	0.56	0
$a_3$	Tomografia Computorizada	0.38	1.98
$a_4$	Raios-X	0.40	2.36
$a_5$	Ecografia	0.43	1.81
$a_6$	Mamografia	0.59	1.17
$a_7$	Raios-X	0.6	1.05
$a_8$	Mamografia	0.41	1.66
$a_9$	Ressonância Magnética	0.44	0.39
$a_{10}$	Ecografia	0.57	1.74

Tabela 33 - Análise Custo-Benefício das diferentes alternativas

Da análise da tabela 33 pode-se concluir que a ordenação das alternativas de acordo com a análise custo-benefício é  $a_2 > a_1 > a_9 > a_7 > a_6 > a_8 > a_{10} > a_5 > a_3 > a_4$ . Assim, o resultado do modelo aplicado é que o equipamento preferencial, a ser adquirido pelo Centro Hospitalar, de entre as alternativas predefinidas, é a alternativa  $a_2$ , que constitui um equipamento de ressonância magnética, seguido de um equipamento de tomografia computadorizada, representado pela alternativa  $a_1$ . Tendo-se definido a aquisição de um equipamento de ressonância magnética, o agente de decisão pode depois optar por excluir da ordenação a alternativa

$a_9$ , que constitui também um equipamento de ressonância magnética. Nesse caso, o terceiro equipamento a adquirir pelo Centro Hospitalar, caso exista disponibilidade orçamental, será um equipamento de raios-X, a alternativa  $a_4$ .

A análise custo-benefício resultou na alteração da ordenação de alguns dos equipamentos, por exemplo a alternativa 10, que na ordenação segundo o método VIKOR é, claramente, a pior alternativa, na ordenação custo-benefício passa a ocupar uma posição preferencial de ordem 6. Por esta razão é importante produzir uma nova lista ordenada com a análise custo-benefício.





## Conclusão

A aquisição e manutenção dos equipamentos médicos de radiodiagnóstico constituem uma das maiores fontes de despesa dos hospitais, quando excluídos os recursos humanos. Por serem exclusivos, no que toca ao Sistema Nacional de Saúde, a cuidados hospitalares, os equipamentos disponíveis têm uma utilização muito elevada, o que muitas vezes conduz a longas listas de espera que podem atingir um tempo de espera superior a um ano. Os contratos-programa, estabelecidos entre a Administração Central do Sistema de Saúde e os diferentes Centros e Unidades Hospitalares, têm como diretivas a gestão transparente e eficiente dos recursos disponíveis, a promoção do acesso à saúde e a satisfação dos utentes, bem como, de um ponto de vista mais específico, a disponibilidade de equipamentos médicos suficientes, adequados e em boas condições de utilização e a criação de um plano de investimento para equipamentos médicos.

A presente dissertação surge com o objetivo de auxiliar a gestão dos hospitais a delinear esse mesmo plano de investimento de acordo com a disponibilidade financeira e as necessidades para a prestação dos serviços contratados, de forma transparente, sustentada e com um elevado grau de confiança. Neste sentido, foi feita uma análise das metodologias multicritério disponíveis e que permitissem a construção de um modelo sustentado do ponto de vista teórico. No modelo foram também incorporadas as *nuances*, específicas à problemática da aquisição de equipamentos médicos, desvendadas através de um conjunto de visitas ao Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central. De forma a garantir que o modelo contemplava a diretiva de satisfação dos utentes, os critérios que constituiriam o *input* da metodologia multicritério foram selecionados tendo em conta a utilização adaptada da ferramenta Casa da Qualidade, a ferramenta chave do *Quality Function Deployment*. Esta metodologia permitiu cruzar as necessidades e vontades dos pacientes, com os critérios considerados relevantes para os agentes de decisão, que foram escolhidos com recurso a bibliografia e validados por uma Administradora Hospitalar do Centro Hospitalar em estudo.

O processo de decisão definido neste trabalho envolve seis atores que, naturalmente, não têm todos a mesma ponderação na decisão, nem mesmo na avaliação de cada uma das

alternativas. O mesmo acontece para os critérios de decisão extraídos da Casa da Qualidade. Nesse sentido, recorreu-se à metodologia AHP, que permitiu a determinação dos pesos de cada critério, bem como dos pesos de cada ator para cada um dos critérios. Estes pesos foram validados por meio de um índice de consistência cujos valores, inferiores a 10%, permitem garantir a coerência dos mesmos dentro de cada critério.

Depois de determinados todos os *inputs* supramencionados, foram aplicados os dois métodos multicritério compensatórios e de compromisso mais corroborados do ponto de vista bibliográfico: VIKOR e TOPSIS. O desenvolvimento de duas metodologias integradas QFD-AHP-TOPSIS e QFD-AHP-VIKOR constitui uma inovação na literatura existente na tomada de decisão em gestão da saúde, nomeadamente no que toca à aquisição de equipamentos médicos.

Os modelos construídos foram testados considerando seis atores hipotéticos, cada um com o perfil selecionado como adequado à tomada de decisão neste tipo de problemas e, para os quais, se construíram seis matrizes de decisão aleatórias. Estas matrizes de decisão foram ponderadas com os pesos dos agentes de decisão para cada critério e com os pesos de cada critério para formar a matriz de decisão única do problema. Obtidas as duas ordenações para um conjunto de dez alternativas fictícias, foi feita uma análise de sensibilidade que permitiu a comparação da estabilidade de cada uma das ordenações propostas. Esta análise assume uma importância elevada, uma vez que a determinação dos pesos dos critérios é sempre feita com incerteza, estando propensa a pequenos erros. A análise de sensibilidade permitiu concluir que a metodologia integrada QFD-AHP-VIKOR propõe uma ordenação mais estável, uma vez que é menos influenciada por pequenas alterações nos valores dos pesos. Por fim, foi realizada uma análise custo-benefício para os equipamentos, tendo por base os valores de proximidade à alternativa ideal obtidos por meio do método VIKOR e o custo de ciclo de vida dos equipamentos.

Apesar da metodologia ter sido idealizada para o CHULC e para os equipamentos médicos de radiodiagnóstico, é aplicável a outros Centros Hospitalares e a outro tipo de equipamentos médicos.

Pode-se então afirmar que os objetivos propostos no início desta dissertação foram atingidos, tendo-se proposto uma metodologia multicritério completa que visa apoiar a decisão de aquisição de equipamentos médicos hospitalares na área do radiodiagnóstico. São, no entanto, de salientar alguns aspetos que beneficiariam de desenvolvimentos futuros:

- A integração de números *Fuzzy* para a classificação das alternativas por parte dos atores, promovendo um processo de decisão mais célere e fácil para a maioria dos agentes de decisão, reconhecendo, no entanto, a necessidade de acrescentar um facilitador ao processo de decisão (Chang, 2014; Afful-Dadzie *et al.* 2014 e Amini e Rezaeenour, 2016);
- A validação dos modelos junto de um conjunto de casos reais;
- A aplicação do modelo a outros problemas relacionados com os equipamentos médicos de radiodiagnóstico no que toca à sua substituição e manutenção;
- A criação de um modelo que permita estabelecer, de forma mais objetiva, a pontuação do critério “Avaliação Tecnológica” para cada um dos tipos de equipamentos.

# 6

## Bibliografia

- Abel, E., Mikhailov, L., e Keane, J. (2015). Clustering Decision Makers with respect to similarity of views. Em IEEE Symposium Series on Computational Intelligence - MCDM (pp. 40–47). Orlando, FL. <https://doi.org/10.1109/MCDM.2014.7007186>
- Adams, B., Megget, K., e Bowie, C. (2013). Orphan drugs, raw deal? PharmaTimes Magazine. Obtido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4402125/>.
- Adunlin, G., Diaby, V., e Xiao, H. (2015). Application of multicriteria decision analysis in health care: A systematic review and bibliometric analysis. *Health Expectations*, 18(6), 1894–1905. <https://doi.org/10.1111/hex.12287>
- Afful-Dadzie, E., Nabareseh, S., e Oplatková, Z. K. (2014). Fuzzy Vikor Approach: Evaluating Quality of Internet Health Information. Em Federated Conference on Computer Science and Information Systems (pp. 183–190). <https://doi.org/10.15439/2014F203>
- Afsordegan, A. (2015). A Contribution to Multi-Criteria Decision Making in Sustainable Energy Management based on Fuzzy and Qualitative Reasoning. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into product design*. G.H Mazur (trans): Cambridge, M.A: Productivity Press.
- Akao, Y., e Mazur, G. H. (2003). The leading edge in QFD: Past, present and future. *International Journal of Quality e Reliability Management*, 20(1), 20–35. <https://doi.org/10.1108/02656710310453791>
- Al-Bashir, A., Al-Rawashdeh, M., Al-Hadithi, R., Al-Ghandoor, A., e Barghash, M. (2012). Building medical devices maintenance system through quality function deployment. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6(1), 25–36.
- AlJazzazi, M., e Rawashdeh, M. (2013). A User-Requirements Approach in Medical Devices Maintenance System Development: A Case Study from an Industry Perspective.
- Amini, F., e Rezaeenour, J. (2016). Ranking Healthcare Centers Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS: Iranian Experience. *International Journal of Applied Operational Research Journal*, 6(1), 25–39.
- Barrios, M., Felice, F., Negrete, K., Romero, B., Arenas, A., e Petrillo, A. (2016). An AHP-Topsis Integrated Model for Selecting the Most Appropriate Tomography Equipment. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(4), 861–885. <https://doi.org/10.1142/S021962201640006X>

- Barros, P. P., Machado, S. R., e Simoes, A. (2011). Portugal. Health system review. *Health Systems in Transition*. <https://doi.org/10.1136/bmj.4.5787.575-a>
- Bastos, R. (2016). Proposta de aprimoramento do processo de avaliação e seleção de fornecedores: uma aplicação ao caso do Instituto Federal do Tocantins. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Bayraktaroğlu, G., e Özgen, Ö. (2008). Integrating the Kano model, AHP and planning matrix QFD application in library services. *Library Management*, 29(4–5), 327–351. <https://doi.org/10.1108/01435120810869110>
- Behfard, S., Heijden, M. C. Van Der, Hanbali, A. Al, e Zijm, W. H. M. (2015). Last time buy and repair decisions for spare parts. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 498–510. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.003>
- Belton, V., e Pictet, J. (1997). A framework for group decision using a MCDA model: Sharing, aggregating or comparing individual information? *Journal of Decision Systems*, 6(3), 283–303. <https://doi.org/10.1080/12460125.1997.10511726>
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., e Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(1), 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.02.001>
- Bit, A., Biswal, M., e Alam, S. (1992). Fuzzy programming approach to multicriteria decision making transportation problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 50, 135–141.
- Bottomley, P. A., Doyle, J. R., e Green, R. H. (2000). Testing the Reliability of Weight Elicitation Methods: Direct Rating Versus Point Allocation. *Journal of Marketing Research*, 37(4), 508–513. <https://doi.org/10.1509/jmkr.37.4.508.18794>
- Brach, C., Lenfestey, N., Roussel, A., Amoozegar, J., e Sorenson, A. (2008). *Will It Work Here? A Decisionmaker's Guide to Adopting Innovations*. Agency for Healthcare Research and Quality (Vol. 8).
- Brans, J. P., e De Smet, Y. (2006). PROMETHEE methods. Em *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (Vol. 233, pp. 187–219). [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6)
- Brans, J. P., e Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method. *Management Science*, 31(6), 647–656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>
- Cabala, P. (2010). Using The Analytic Hierarchy Process in Evaluating Decision Alternatives. *Operations Research and Decisions*, 1(1), 6–23.
- Campolina, A. G., Soárez, P. C. De, Amaral, F. V. do, e Abe, J. M. (2017). Análise de decisão multicritério para alocação de recursos e avaliação de tecnologias em saúde: tão longe e tão perto? *Cadernos de Saúde Pública*, 33(10). <https://doi.org/10.1590/0102-311x00045517>
- Cavalcante, C., e Almeida, A. (2005). Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, 25(2), 279–296.
- Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central. (2016). Relatório e Contas.
- Chadawada, R., Sarfaraz, A., Jenab, K., e Pourmohammadi, H. (2015). Integration of AHP-QFD for selecting facility location. *Benchmarking: An International Journal*, 22(3), 411–425. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2013-0064>
- Chang, T. H. (2014). Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan. *Information Sciences*, 271(March), 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.118>
- Chaplin, E., Bailey, M., Crosby, R., Gorman, D., Holland, X., Hippe, C., ... Thota, N. (1999). Using quality function deployment to capture the voice of the customer and translate it into the voice of the provider. *The Joint Commission journal on quality improvement*,

25(6). [https://doi.org/10.1016/S1070-3241\(16\)30446-1](https://doi.org/10.1016/S1070-3241(16)30446-1)

- Chaplin, E., e Terninko, J. (2000). *Customer Driven Healthcare: QFD for Process Improvement and Cost Reduction*. ASQ Quality Press.
- Chatburn, R. L., e Primiano, F. P. (2001). Decision analysis for large capital purchases: how to buy a ventilator. *Respiratory care*, 46(10), 1038–1053.
- Chen, R. C., Jiang, H. Q., Huang, C. Y., e Bau, C. T. (2017). Clinical Decision Support System for Diabetes Based on Ontology Reasoning and TOPSIS Analysis. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 9–12. <https://doi.org/10.1155/2017/4307508>
- Cho, K., e Kim, S. (2003). Selecting medical devices and materials for development in Korea: the analytic hierarchy process approach. *The International journal of health planning and management*, 18(2), 161–174.
- CHULC. (2018). Instituição. Obtido 15 de Março de 2018, de <http://www.chlc.min-saude.pt/instituicao/>
- CHULC. (sem data-b). Organograma CHULC. Obtido de [http://www.chlc.min-saude.pt/wp-content/uploads/sites/3/2017/08/Organograma\\_julho\\_2017.pdf](http://www.chlc.min-saude.pt/wp-content/uploads/sites/3/2017/08/Organograma_julho_2017.pdf)
- Cohen, L. (1995). *Quality function deployment: How to make QFD work for you*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Colson, G., e de Bruyn, C. (1989). Models and methods in multiple objectives decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 12(10–11), 1201–1211. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(89\)90362-2](https://doi.org/10.1016/0895-7177(89)90362-2)
- Corciovă, C., Andrițoi, D., Luca, C., e Ciorap, R. (2017). Prioritization of medical devices for maintenance decisions. *IFMBE Proceedings*, 59(9), 323–326. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52875-5\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52875-5_67)
- Danner, M., Hummel, J., e Volz, F. (2011). Integrating patients' views into health technology assessment: analytic hierarchy process (AHP) as a method to elicit patient preferences. *International Journal Technology Assessment Healthcare*, 27(4), 369–375.
- David, Y., e Jahnke, E. (2004). Planning hospital medical technology management. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 23(3), 73–79. Obtido de [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1317985](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1317985)
- David, Y., e Jahnke, E. G. (2005). Medical Technology Management: From Planning to Application. 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, (February), 186–189. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1616373>
- Devlin, N., e Sussex, J. (2011). *Incorporating multiple criteria in HTA: methods and process*. London: Office of Health Economics.
- Dijkstra, L., e van der Bij, H. (2002). Quality function deployment in healthcare. *International Journal of Quality e Reliability Management*, 19(1), 67–89. <https://doi.org/10.1108/IJMF-04-2016-0078>
- Dolan, J. G. (1989). Medical Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process: Choice of Initial Antimicrobial Therapy for Acute Pyelonephritis. *Medical Decision Making*, 9(1), 51–56. <https://doi.org/10.1177/0272989X8900900109>
- Doumpos, M., e Grigoroudis, E. (2013). *Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1002/9781118522516>
- Drake, J. I., de Hart, J. C. T., Monleón, C., Toro, W., e Valentim, J. (2017). Utilization of multicriteria decision analysis (MCDA) to support healthcare decision-making. *Journal of Market Access & Health Policy*, 5(1), 136–145. <https://doi.org/10.1080/20016689.2017.1360545>
- Duarte, M. (2012). *Proteção Radiológica em Mamografia*. Instituto Politécnico de Lisboa.
- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., e Vahdani, B.

- (2012). A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling*, 36(9), 4197–4217. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.11.050>
- Edwards, W. (1977). How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 7(5), 326–340. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1977.4309720>
- Einspruch, E. (1996). Quality function deployment (QFD): application to rehabilitation services. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 9(3), 41–46.
- Endrei, D., Molics, B., e Ágoston, I. (2014). Multicriteria decision analysis in the reimbursement of new medical technologies: Real-world experiences from Hungary. *Value in Health*, 17(4), 487–489. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2014.01.011>
- Ermer, D. S., e Kniper, M. K. (1998). Delighting the customer: Quality function deployment for quality service design. *Total Quality Management*, 9(5), 86–91. <https://doi.org/10.1080/0954412988622>
- European Society of Radiology (ESR). (2014). Renewal of radiological equipment. *Insights into Imaging*, 5(5), 543–546. <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0345-1>
- Figueiredo, L. M. J. de. (2009). Modelo multicritério de apoio à substituição de equipamentos médicos hospitalares. Universidade Técnica de Lisboa.
- Forman, E. H., e Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process: An exposition. *Operations research*, 49(4), 469–486. <https://doi.org/10.1287/opre.49.4.469.11231>
- Forman, E., e Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0)
- Gavade, R. K. (2014). Multi-Criteria Decision Making : An overview of different selection problems and methods. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), 5643–5646.
- González, M. E., Quesada, G., Picado, F., e Eckelman, C. A. (2004). Customer satisfaction using QFD: An e-banking case. *Managing Service Quality: An International Journal*, 14(4), 317–330. <https://doi.org/10.1108/09604520410546851>
- Griffin, A. (1992). Evaluating QFD's Use in US Firms as a Process for Developing Products. *Journal of Product Innovation Management*, 9(3), 171–187.
- Guarini, M., Battisti, F., e Chiovitti, A. (2018). A Methodology for the Selection of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Real Estate and Land Management Processes. *Sustainability*, 10(2), 507. <https://doi.org/10.3390/su10020507>
- Guitouni, A., e Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501–521. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3)
- Haldar, A., Banerjee, D., Ray, A., e Ghosh, S. (2012). An integrated approach for supplier selection. *Procedia Engineering*, 38(1), 2087–2107. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.251>
- Hamdi, N., Oweis, R., Zraïq, H. A., e Sammour, D. A. (2012). An intelligent healthcare management system: A new approach in work-order prioritization for medical equipment maintenance requests. *Journal of Medical Systems*, 36(2), 557–567. <https://doi.org/10.1007/s10916-010-9501-4>
- Hamilton, J., e Selen, W. (2004). Enabling real estate service chain management through personalised Web interfacing using QFD. *International Journal of Operations and Production Management*, 24(3–4), 270–288. <https://doi.org/10.1108/01443570410519033>
- Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A., e Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi

- criteria decision making AHP - TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus*, 5, 263. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
- Hanni, K. (2015). Purchasing of emergency medical supplies in Sweden. *Oulu University of Applied Sciences*.
- Hemaida, R. S., e Kalb, E. (2001). Using the analytic hierarchy process for the selection of first-year family practice residents. *Hospital topics*, 79(1), 11–15. <https://doi.org/10.1080/00185860109597894>
- Hwang, C.-L., e Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making (Vol. 186). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Hwang, C., e Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey. Springer-Verlag (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Infarmed. (2014). Sistema Nacional de Avaliação de Tecnologias de Saúde para Portugal (Si-NATS) - Criar o futuro.
- International Society on MCDM. (2018). Short MCDM History. Obtido de <https://www.mcdmsociety.org/content/short-mcdm-history-0>
- Jahan, A., e Edwards, K. L. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design (1.a ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-02834-7>
- Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ait-Kadi, D., e Ruiz, A. (2015). A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices. *Applied Soft Computing Journal*, 32, 322–334. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.03.054>
- Karsak, E. E., e Özogul, C. O. (2009). An integrated decision making approach for ERP system selection. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 660–667. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.016>
- Kasban, H. (2015). A Comparative Study of Medical Imaging Techniques. *International Journal of Information Science and Intelligent System*, 4(2), 37–58.
- Keshtkaran, A., Hashemi, N., Kharazmi, E., e Abbasi, M. (2016). Applying Quality Function Deployment Model in Burn Unit Service Improvement. *Journal of Burn Care and Research*, 37(5), 440–452. <https://doi.org/10.1097/BCR.0b013e3182920d55>
- Kinley, C. (2012). Healthcare Technology : A Strategic Approach to Medical Device Management. *Electronic Theses and Dissertations*, (1434).
- Kivinen, T. (2008). Applying QFD to improve the requirements and project management in small-scale project Terhi Kivinen. University of Tampere. <https://doi.org/10.1.1.585.8085>
- Kramme, R., e Kramme, H. (2011). Technology in Medicine: Its Role and Significance in Terms of Health Policy. Em R. Kramme, K.-P. Hoffmann, e R. Pozos (Eds.), *Springer Handbook of Medical Technology* (pp. 3–6). Springer Heidelberg.
- Kriewall, T. J., e Widin, G. P. (1991). CORRIGIRAn Application of Quality Function Deployment to Medical Device Development. Em *Case Studies in Medical Instrument Design* (pp. 23–26).
- Kumru, M., e Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing Journal*, 13(1), 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.007>
- Latterman, S. (2010). Development of an Environmental Impact Assessment and Decision Support System for Seawater Desalination Plants. CRC Press.
- Liberatore, M. J., e Nydick, R. L. (2008). The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194–207. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.001>

- Liedes, E., e Liimatainen, L. (2010). Philips Healthcare : The purchasing process and decision-making choice criteria in public healthcare. HAAGA-HELIA University of Applied Sciences.
- Lim, P. C., e Tang, N. K. H. (2000). The development of a model for total quality healthcare. *Managing Service Quality: An International Journal*, 10(2), 103–111. <https://doi.org/10.1108/09604520010318290>
- Lima-Junior, F. R., e Carpinetti, L. C. R. (2016). A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. *Computers and Industrial Engineering*, 101, 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.014>
- Lombarte-Ros, G. (2012). Application of QFD methodology to improve the conception of a rack. Universidade de São Paulo.
- Lootsma, F., Mensch, T., e Vos, F. (1990). Multi-criteria analysis and budget reallocation in long-term research planning. *European Journal of Operational Research*, 47, 293–305.
- Maewall, M., e Dumas, P. (2012). Quality function deployment: Healthcare Improvement. Worcester Polytechnic Institute.
- Majumder, M. (2015). Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberrations. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-981-4560-73-3>
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Senin, A. A., e Jusoh, A. (2016). VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su8010037>
- Miot, J., Wagner, M., e Khoury, H. (2012). Field testing of a multicriteria decision analysis (MCDA) framework for coverage of a screening test for cervical cancer in South Africa. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 10(1), 2.
- Mishan, E. J., e Quah, E. (2007). *Cost – Benefit Analysis (5th ed.)*. London: Routledge.
- Mobinizadeh, M., Raeissi, P., Nasiripour, A. A., Olyaeemanesh, A., e Tabibi, S. J. (2016). A model for priority setting of health technology assessment: The experience of AHP-TOPSIS combination approach. *DARU, Journal of Pharmaceutical Sciences*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40199-016-0148-7>
- Moghimi, V., Jusan, M. B. M., Izadpanahi, P., e Mahdinejad, J. (2017). Incorporating user values into housing design through indirect user participation using MEC-QFD model. *Journal of Building Engineering*, 9, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.11.012>
- Moisiadis, F. (2002). The Fundamentals of Prioritising Requirements. *Systems Engineering, Test & Evaluation Conference*, (October), 108–119.
- Molero, G., Santarremigia, F., Aragonés-Beltrán, P., e Pastor-Ferrando, J.-P. (2017). Total safety by design: Increased safety and operability of supply chain of inland terminals for containers with dangerous goods. *Safety Science*, 100, 162–182.
- Nobre, F., Trotta, L., e Gomes, L. (1999). Multi-Criteria decision making: an approach to setting priorities in healthcare. *Statistics in Medicine*, 18(23), 3345–3354.
- Obremsky, W. T., Dail, T., e Jahangir, A. A. (2012). Value-based purchasing of medical devices. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 470(4), 1054–1064. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-2147-9>
- Onut, S., e Tosun, S. (2014). An integrated methodology for supplier selection under the presence of vagueness: A case in banking sector, Turkey. *Journal of Applied Mathematics*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/283760>
- Opricovic, S., e Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Ostensen, H. (2005). L'imagerie diagnostique: Qu'est-ce que c'est? Quand et comment l'utiliser

en situation de ressources limitées? Organisation Mondiale de la Santé.

- Parlak, I. B., e Tolga, A. C. (2018). Health informatics. Em *International Series in Operations Research and Management Science* (pp. 423–473). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65455-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65455-3_17)
- Phillips, L. D., e Bana E Costa, C. A. (2007). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154, 51–68. <https://doi.org/10.1007/s10479-007-0183-3>
- Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., e Gomes, M. I. (2019). Multi-criteria Decision-Making in Waste Collection to Reach Sustainable Waste Management. Em *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (1.a ed., pp. 239–260). Springer International Publishing.
- Pohekar, S. D., e Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365–381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- Prakash, S., e Satydev. (2014). Application of Techniques for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) for Assessing Risk Factors in Collaborative Supply. Em *National Conference on Paradigms in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2379.6000>
- Prasad, B. (1998). Review of QFD and Related Deployment Techniques. *Journal of Manufacturing Systems*, 17(3), 221–234. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(98\)80063-0](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(98)80063-0)
- Prasad, K., e Chakraborty, S. (2016). A quality function deployment-based model for cutting fluid selection. *Advances in Tribology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3978102>
- Rađenović, Ž., e Veselinović, I. (2017). Integrated AHP-TOPSIS Method for the Assessment of Health Management Information Systems Efficiency. *Economic Themes*, 55(1), 121–142. <https://doi.org/10.1515/ethemes-2017-0008>
- Radharamanan, R., e Godoy, L. P. (1996). Quality function deployment as applied to a health care system. *Computers & Industrial Engineering*, 31(1–2), 443–446. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00171-4](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00171-4)
- Rajesh, G., e Malliga, P. (2013). Supplier selection based on AHP QFD methodology. *Procedia Engineering*, 64, 1283–192. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.209>
- Reilly, N. (1999). *The team based product development guidebook*. ASQ Quality Press.
- Richman, M. B., Forman, E. H., Bayazit, Y., Einstein, D. B., Resnick, M. I., e Stovsky, M. D. (2005). A Novel Computer Based Expert Decision Making Model for Prostate Cancer Disease Management. *The Journal of Urology*, 174(6), 2310–2318. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000181829.07078.22>
- Ross, M. E., e Nydick, R. L. (1994). Selection of licensing candidates in the pharmaceutical industry: an application of the analytic hierarchy process. *Journal of health care marketing*, 12(2), 60–65. Obtido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10119215>
- Roy, B. (1968). Classement Et Choix En Presence De Points De Vue Multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8), 57–75. Obtido de [http://www.numdam.org/article/RO\\_1968\\_\\_2\\_1\\_57\\_0.pdf](http://www.numdam.org/article/RO_1968__2_1_57_0.pdf)
- Russo, R., e Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: A systematic review of literature. *Procedia Computer Science*, 55, 1123–1132. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Education. New York: McGraw-Hill.

<https://doi.org/10.3414/ME10-01-0028>

- Saaty, T. L. (1991). Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process. *Behavior-metrika*, 18(29), 1–9. [https://doi.org/10.2333/bhmk.18.29\\_1](https://doi.org/10.2333/bhmk.18.29_1)
- Saaty, T. L. (2003). Decision making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8)
- Saaty, T. L. (2004). Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saleh, N., Sharawi, A. A., Abdel Wahed, M., e Balestra, G. (2014). A Conceptual Priority Index for Purchasing Medical Equipment in Hospitals. *Journal of Clinical Engineering*, 40(3), 1–6. <https://doi.org/10.1097/JCE.000000000000104>
- Saleh, N., Sharawi, A. A., Elwahed, M. A., Petti, A., Puppato, D., e Balestra, G. (2015). Preventive maintenance prioritization index of medical equipment using quality function deployment. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(3), 1029–1035. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2337895>
- Schmidt, A. (1995). Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH. Universidade Federal de Santa Catarina. Obtido de <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/157951/PEPS0434-D.pdf>
- Schmidt, K., Aumann, I., Hollander, I., Damm, K., e Von Der Schulenburg, J. M. G. (2015). Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12911-015-0234-7>
- Serviços Partilhados do Ministério da Saúde. (2018). MCDT Realizados em Entidades Convencionadas. Obtido de <https://transparencia.sns.gov.pt/explore/dataset/evolucao-de-mcdt-realizados-no-convencionado/?sort=tempo&refine=tempo=2018>
- Shahin, A. (2008). Quality Function Deployment: A Comprehensive Review. <https://doi.org/10.1504/IJDATS.2008.020024>
- Shekarian, E. (2015). A novel application of the VIKOR method for investigating the effect of education on housing choice. *International Journal of Operational Research*, 24(2), 161–183. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2015.071493>
- Shen, X. X., Tan, K. C., e Xie, M. (2000). Benchmarking in QFD for quality improvement. *Benchmarking: An International Journal*, 7(4), 282–291. <https://doi.org/10.1108/14635770010378918>
- Silva, M., e Salvado, A. F. (2015). Análise Custo-Benefício - Metodologia para apoio à decisão em intervenções de Arquitetura, Engenharia e Construção. Obtido de [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)
- Sloane, E. B., Liberatore, M. J., Nydick, R. L., Luo, W., e Chung, Q. B. (2003). Using the analytic hierarchy process as a clinical engineering tool to facilitate an iterative, multidisciplinary, microeconomic health technology assessment. *Computers & Operations Research*, 30(10), 1447–1465. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00187-9](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00187-9)
- Taghipour, S., Banjevic, D., e Jardine, A. (2010). Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 1666.
- Tarimcilar, M. M., e Khaksari, S. Z. (1991). Capital budgeting in hospital management using the analytic hierarchy process. *Socio-economic planning sciences*, 25(1), 27–34. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(91\)90026-N](https://doi.org/10.1016/0038-0121(91)90026-N)
- Terrientes, L. M. D. V. (2015). Hierarchical outranking methods for multi-criteria decision aiding. *Universitat Rovira i Virgili*.

- Thokala, P., Devlin, N., Marsh, K., Baltussen, R., Boysen, M., Kalo, Z., ... Ijzerman, M. (2016). Multiple criteria decision analysis for health care decision making - An introduction: Report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health*, 19(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2015.12.003>
- Tiesmeier, D. (2016). MCDM Problem-Structuring Framework and a Real Estate Decision Support Model A Thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Humanities. University of Manchester.
- Tony, M., Wagner, M., e Khoury, H. (2011). Bridging health technology assessment (HTA) with multicriteria decision analyses (MCDA): field testing of the EVIDEM framework for coverage decisions by a public payer in Canada. *BMC Health Services Research*, 11, 329.
- Torfi, F., Zanjirani, R., e Rezapour, S. (2010). Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and Fuzzy TOPSIS to rank the alternatives. *Applied Soft Computing*, 10(2), 520–528. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.08.021>
- Toumi, M. (2013). MCDA utilization for public health decision process. Em ISPOR. Buenos Aires.
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W., e Kleidorfer, M. (2017). Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. *Water*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/w9020068>
- Turri, J. J. (1988). Program eases decision making. *Health progress*, 69(8), 40–44.
- Tzeng, G.-H., e Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making. Methods and applications (1.a ed.)*. New York: Chapman and Hall/CRC.
- van den Hove, S. (2006). Between consensus and compromise: Acknowledging the negotiation dimension in participatory approaches. *Land Use Policy*, 23(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.09.001>
- Velasquez, M., e Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56–66. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12586-2>
- Volpato, L., Meneghim, M., Pereira, A., e Ambrosano, G. (2010). Planejamento da qualidade nas unidades de saúde da família, utilizando o Desdobramento da Função Qualidade (QFD). *Cadernos de Saúde Pública*, 26(8), 1561–1572. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2010000800010>
- Waddell, K., e Wilson, M. G. (2017). Rapid synthesis: Examining capital acquisition models for advanced diagnostic imaging.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., e Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263–2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021>
- Wolniak, R. (2018). The Use of QFD Method - Advantages and Limitations. *Production Engineering Archives*, 18, 14–17. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.18.02>
- World Health Organization. (2000). Efficacy and radiation safety in interventional radiology.
- World Health Organization. (2011). WHO Medical device technical series: Introduction to medical equipment inventory management. WHO Medical device technical series.
- World Health Organization. (2018a). Angiography. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/dim\\_angiography/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/dim_angiography/en/)
- World Health Organization. (2018b). Computed tomography. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/dim\\_comptomography/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/dim_comptomography/en/)
- World Health Organization. (2018c). Conventional Radiography.

- World Health Organization. (2018d). Diagnostic Imaging - Imaging Modalities. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/en/)
- World Health Organization. (2018e). Fluoroscopy. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/dim\\_fluoroscopy/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/dim_fluoroscopy/en/)
- World Health Organization. (2018f). Imaging Modalities.
- World Health Organization. (2018g). Magnetic Resonance Imaging.
- World Health Organization. (2018h). Nuclear Medicine. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/dim\\_nuclearmed/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/dim_nuclearmed/en/)
- World Health Organization. (2018i). Ultrasound. Obtido de [http://www.who.int/diagnostic\\_imaging/imaging\\_modalities/dim\\_ultrasound/en/](http://www.who.int/diagnostic_imaging/imaging_modalities/dim_ultrasound/en/)
- World Health Organization. (2018j). WHO Priority medical devices. Obtido 30 de Março de 2018, de [http://www.who.int/medical\\_devices/innovation/core\\_equipment/en/](http://www.who.int/medical_devices/innovation/core_equipment/en/)
- Xu, L., e Yang, J. (2001). Introduction to multi-criteria decision making and the evidential reasoning approach. <https://doi.org/186115111X>
- Yazdani, M., Chatterjee, P., e Kazimieras, E. (2016). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), 3728–3740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>
- Yazdani, M., Hashemkhani Zolfani, S., e Zavadskas, E. K. (2016). New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers. *Journal of Business Economics and Management*, 17(6), 1097–1113. <https://doi.org/10.3846/16111699.2016.1165282>
- Yeh, T.-M. (2010). Determining medical service improvement priority by integrating the refined Kano model, Quality function deployment and Fuzzy integrals. *African Journal of Business Management*, 4(12), 2534–2545.









# Anexos

## Anexo 1

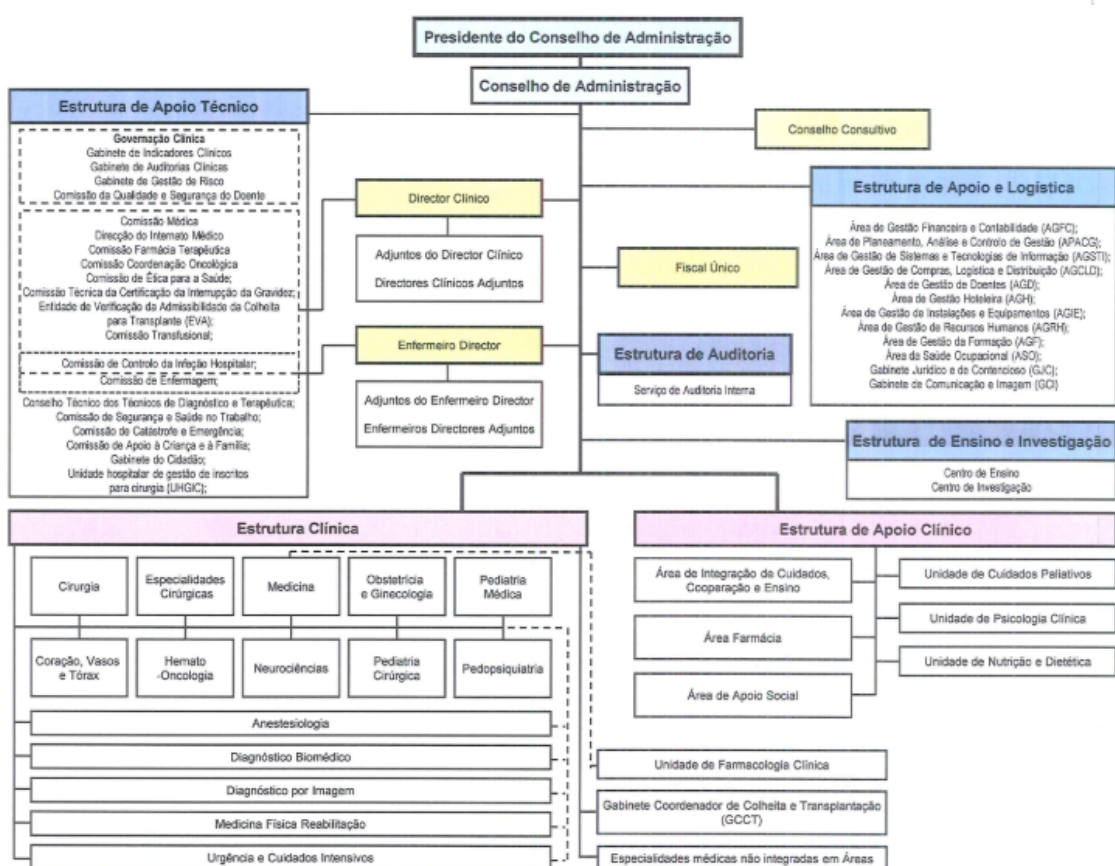


Figura 31 - Organograma do CHULC (CHULC, 2018)

## Anexo 2

Neste anexo é explicado detalhadamente o processo para a determinação das importâncias relativas. Para tal, foi construída uma matriz de comparação de exemplo, dada pela tabela 34.

$c_j$	Sistemas de Informação	Gestão de Equipamentos	Diretor de Compras	Responsável do Serviço	Administrador Hospitalar	Engenheiro Clínico
Sistemas de Informação	1	3	5	1/3	4	1/4
Gestão de Equipamentos	1/3	1	7	1/2	3	1/3
Diretor de Compras	1/5	1/7	1	1/6	1/2	1/7
Responsável do Serviço	3	2	6	1	4	1/2
Administrador Hospitalar	1/4	1/3	2	1/4	1	1/6
Engenheiro Clínico	4	3	7	2	6	1

Tabela 34 - Matriz de comparação, exemplificativa, totalmente preenchida

O passo seguinte passa por determinar o peso relativo de cada ator. Para tal é necessário calcular o vetor próprio, correspondente ao valor próprio máximo da matriz da tabela 34. O primeiro passo para o cálculo deste vetor é a normalização dos valores da matriz, através de:

$$q_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij}}$$

onde  $p_{ij}$  é o valor da linha  $i$  e da coluna  $j$  da tabela 34.

Ou seja, divide-se cada elemento da matriz pela soma dos elementos da respetiva coluna. Por exemplo, a normalização do elemento correspondente ao par ator Serviço de Gestão de Equipamentos e Infraestruturas, ator Serviço de Tecnologias de Informação da matriz da tabela 34 é:

$$q_{21} = \frac{1/3}{1 + 1/3 + 1/5 + 3 + \frac{1}{4} + 4} = 0.03975$$

Ou seja, o numerador da fórmula anterior corresponde ao valor do elemento a normalizar, enquanto o denominador corresponde à soma de todos os elementos da coluna em que o elemento a normalizar está inserido.

Após a normalização integral da matriz de comparação da tabela 34, obtém-se:

$c_j$	Sistemas de Informação	Gestão de Equipamentos	Diretor de Compras	Responsável do Serviço	Administrador Hospitalar	Engenheiro Clínico
Sistemas de Informação	0.1111	0.316583	0.178571	0.078431	0.216216	0.104478
Gestão de Equipamentos	0.037951	0.105528	0.25	0.117647	0.162162	0.139303
Diretor de Compras	0.02277	0.015075	0.035714	0.039216	0.027027	0.059701
Responsável do Serviço	0.341556	0.211055	0.214286	0.235294	0.216216	0.208955
Administrador Hospitalar	0.028463	0.035176	0.071429	0.058824	0.054054	0.069652
Engenheiro Clínico	0.455408	0.316583	0.25	0.470588	0.324324	0.41791

Tabela 35 - Matriz de comparação da Tabela 5, normalizada

A partir da tabela 35, calcula-se o vetor de pesos relativos a esta matriz, por meio da seguinte formulação:

$$w_k = \frac{\sum_{j=1}^n q_{ij}}{n}$$

O peso de cada ator  $k$  é dado pelo quociente da soma dos elementos normalizados  $q_{ij}$  da linha que lhe diz respeito, pelo número total de atores  $n$ , no caso do CHULC, seis. Assim, o ator Serviço de Sistemas de Informação tem um peso de:

$$w_1 = \frac{0.1111 + 0.316583 + 0.178571 + 0.078431 + 0.216216 + 0.104478}{6} = 0.1667$$

E assim se determina que a importância relativa do ator na linha 1 da matriz é de 0.1667. O procedimento deve ser repetido para os restantes atores até serem obtidas todas as importâncias relativas dos atores.

O último passo é a validação da consistência da matriz, necessária para garantir que as avaliações feitas pelo agente de decisão têm um grau elevado de consistência e consequente racionalidade. Para tal, é necessário determinar o valor próprio máximo da matriz,  $\lambda_{max}$ , por meio de:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Dw)_i}{w_i}$$

A determinação do valor próprio máximo envolve a multiplicação da matriz da tabela 34 pela matriz coluna cujos elementos são as importâncias relativas dos diferentes atores.

Esta multiplicação de matriz devolverá uma matriz coluna  $Dw$ . Cada elemento desta matriz deverá ser dividido pelo elemento correspondente da matriz de pesos. O quociente da soma de todas as divisões anteriores e do número total de atores devolve o valor próprio máximo que, para a matriz exemplificada é de  $\approx 6.432$ .

A consistência da matriz é avaliada pelo Rácio de Consistência que, por sua vez, é dado pelo quociente entre o índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatória (RI). O valor de CI é dado por:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Em que  $n$  é o número de atores. Já RI é um valor tabelado de acordo com a figura 9 e dependente do número de critérios que se consideram. O índice de consistência para a matriz da tabela 34 é de  $\approx 0.0864$  e o índice de consistência aleatório para 6 atores é 1.24. Assim, o rácio de consistência é dado por:

$$RC = \frac{0.0864}{1.24} = 0.0697$$

Este rácio é inferior a 10% (0.1) pelo que se considera que tem um grau de consistência válido, conforme analisado na secção 2.5.2.1. Caso o valor de RC seja superior a 0.1, o agente de decisão deverá reavaliar as pontuações atribuídas nas comparações dois a dois.

### Anexo 3

O inquérito realizado online no sentido de determinar a importância relativa que os utilizadores atribuem a cada um dos requisitos definidos é apresentado neste anexo.

## Meios Complementares de Diagnóstico e Terapêutica

Este questionário visa estabelecer, na óptica do paciente e/ou dos profissionais de saúde, os critérios mais importantes quando é submetido a um determinado meio complementar de diagnóstico e terapêutica. Os meios complementares em consideração são: Ecografia, Raios-X, Ressonância Magnética, Tomografia Computorizada (TAC), Angiografia, Fluoroscopia, Mamografia e Medicina Nuclear (PET e/ou SPECT).

\*Obrigatório

O que considera mais importante, como paciente, num equipamento de Radiologia NOVO num Hospital? \*

	1	2	3	4	5
Garante qualidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prestar um novo serviço - tecnologia renovada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminuição do tempo de internamento ou de estadia no hospital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite investigação e desenvolvimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Garante os serviços mínimos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Traz maior eficácia no diagnóstico (mais rápido, por exemplo)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminui as filas de espera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Redução dos custos associados ao serviço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prestar um serviço necessário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maior eficácia no diagnóstico (diagnóstico correto)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maior custo-benefício	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Normaliza o tipo de equipamentos presente no hospital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Redução do risco para o paciente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 32 - Inquérito realizado para determinar a importância relativa dos requisitos dos utilizadores

De seguida são apresentadas as respostas obtidas para cada uma das alíneas da pergunta do questionário. A importância de cada requisito é determinada com recurso à moda das respostas obtidas para cada um dos requisitos.

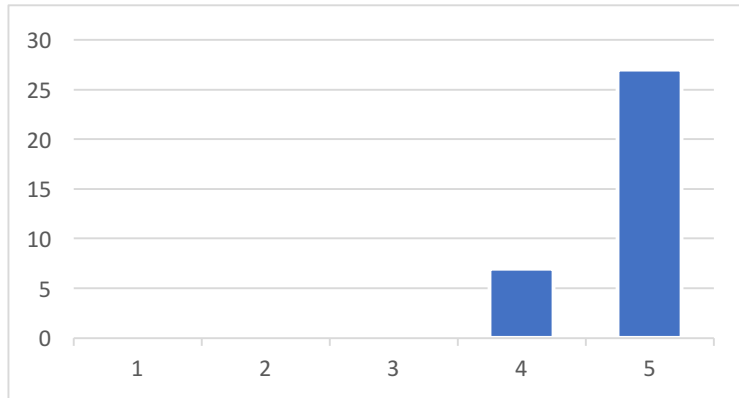


Figura 33 - Resultados obtidos para a alínea "Prestar um serviço necessário"

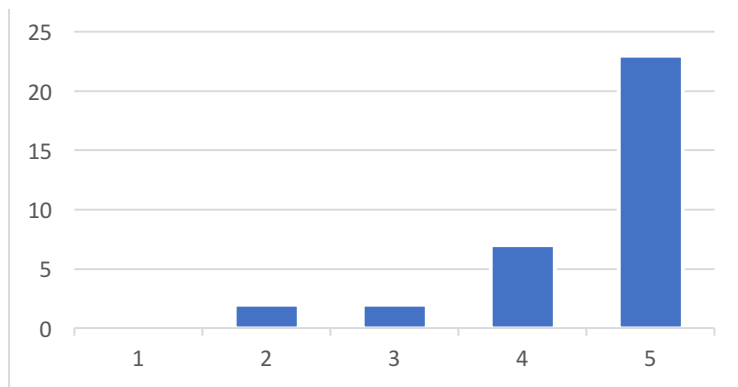


Figura 34 - Resultados obtidos para a alínea "Prestar um novo serviço - tecnologia renovada"

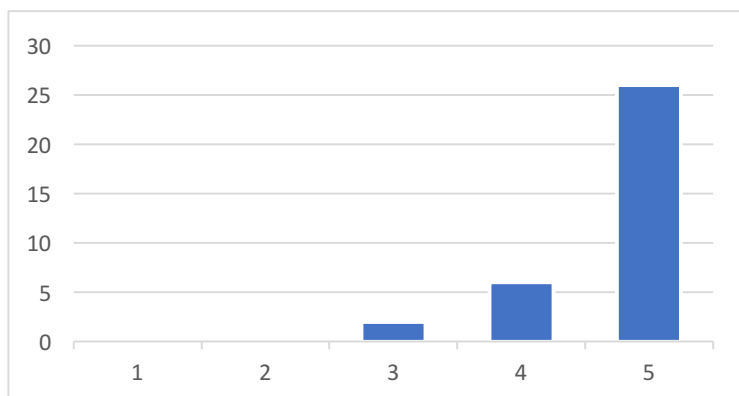


Figura 35 - Resultados obtidos para a alínea "Traz maior eficiência no diagnóstico (mais rápido, por exemplo)"

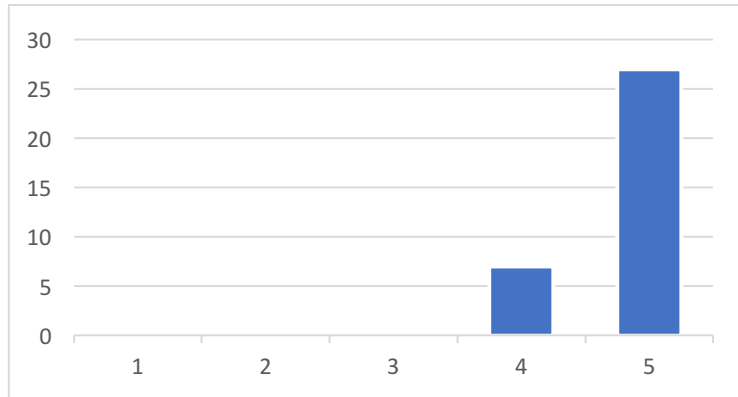


Figura 36 - Resultados obtidos para a alínea "Maior eficácia no diagnóstico (diagnóstico correto)"

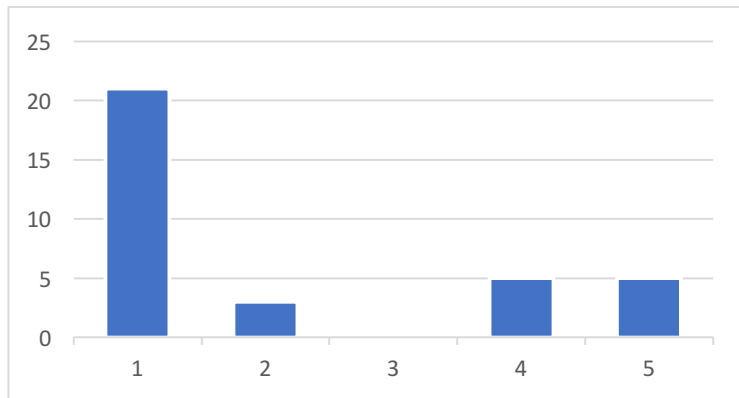


Figura 37 - Resultados obtidos para a alínea " Permite investigação e desenvolvimento académico"

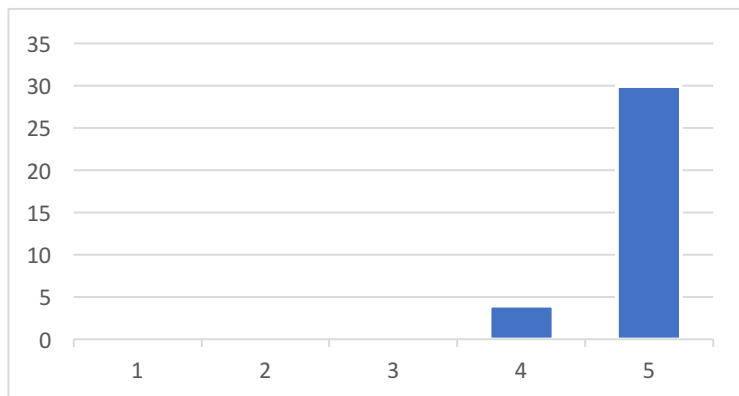


Figura 38 - Resultados obtidos para a alínea " Garante os serviços mínimos"

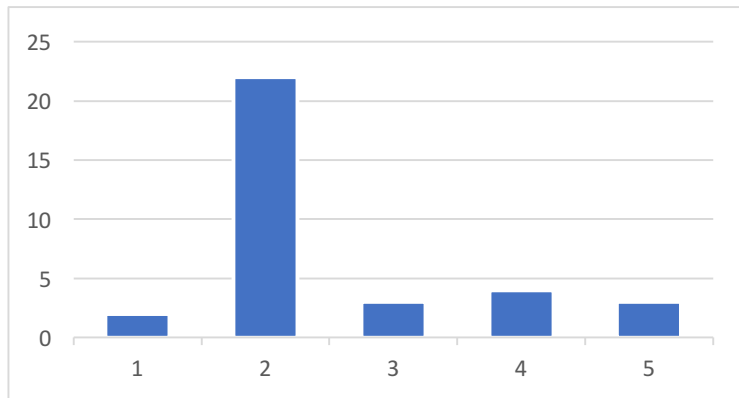


Figura 39 - Resultados obtidos para a alínea " Facilidade de Substituição"

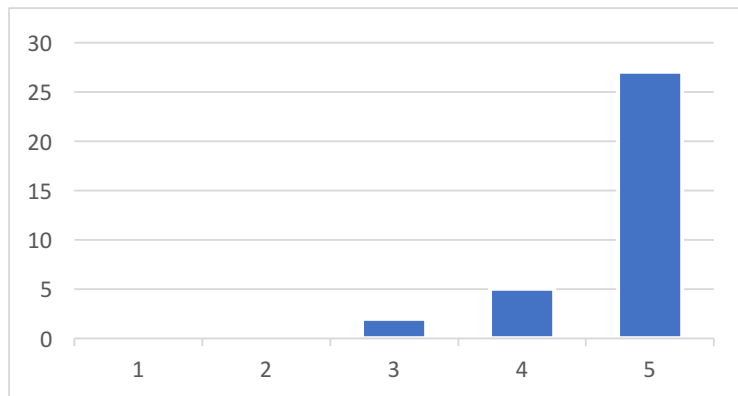


Figura 40 - Resultados obtidos para a alínea " Maior custo-benefício"

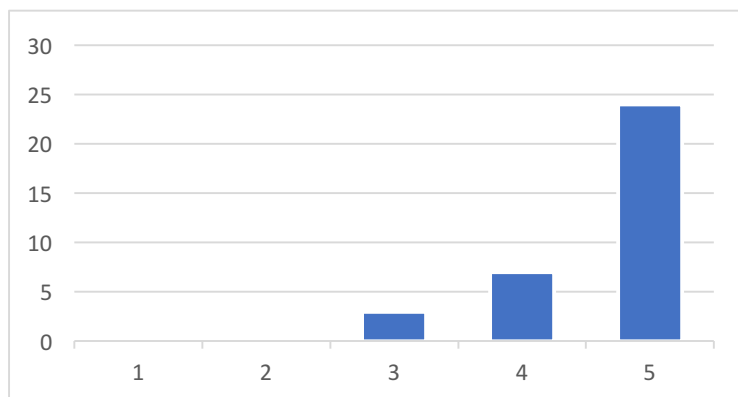


Figura 41 - Resultados obtidos para a alínea " Diminuição do tempo de internamento ou de estadia no hospital"

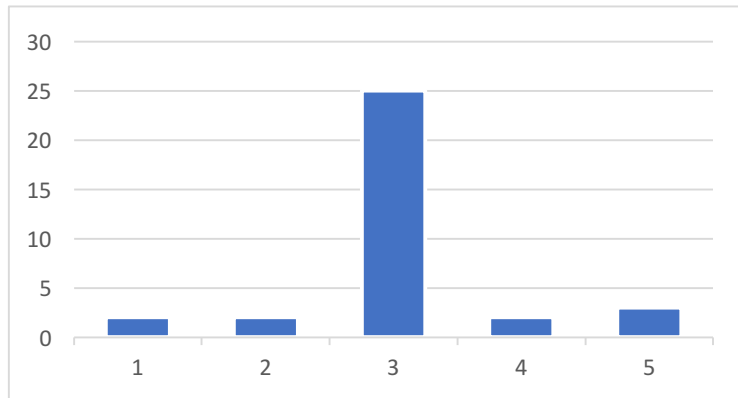


Figura 42 - Resultados obtidos para a alínea " Normaliza o tipo de equipamentos presente no hospital"

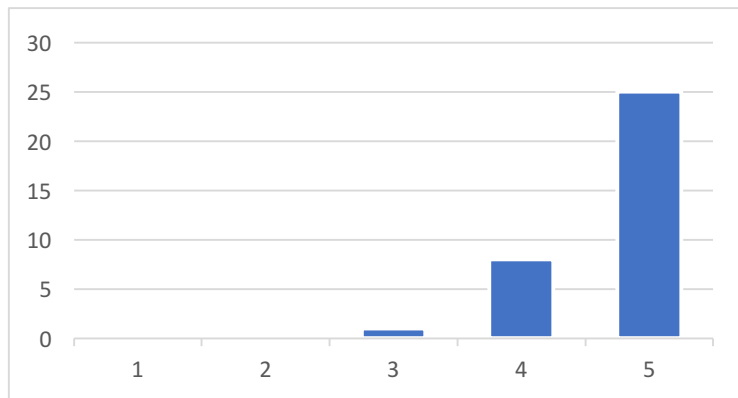


Figura 43 - Resultados obtidos para a alínea " Garante qualidade"

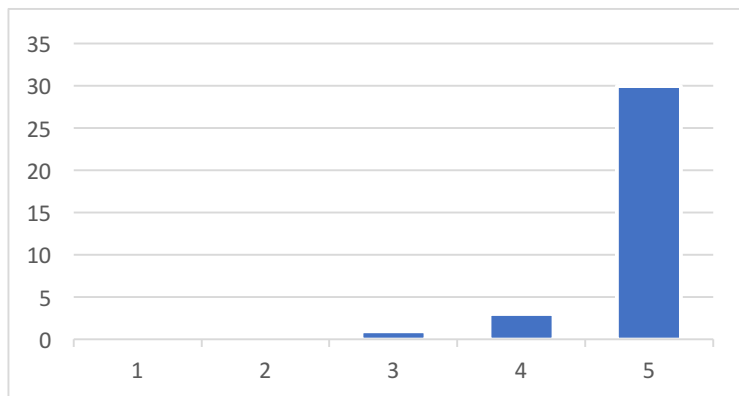


Figura 44 - Resultados obtidos para a alínea " Diminui as filas de espera"

## Anexo 4

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos dos atores para o critério Avaliação Tecnológica:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,24 \text{ (para 6 critérios)}$$
$$CI = \frac{6.432 - 6}{6 - 1} = 0.086$$
$$RC = \frac{0.086}{1.24} = 0,0697$$

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos dos atores para o critério Esperança Média de Vida:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,24 \text{ (para 6 critérios)}$$
$$CI = \frac{6.505 - 6}{6 - 1} = 0.101$$
$$RC = \frac{0.101}{1.24} = 0,0815$$

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos dos atores para o critério Geração de Receita:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,24 \text{ (para 6 critérios)}$$
$$CI = \frac{6.567 - 6}{6 - 1} = 0.113$$
$$RC = \frac{0.113}{1.24} = 0,092$$

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos dos atores para o critério Grau de Utilização:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,24 \text{ (para 6 critérios)}$$
$$CI = \frac{6.333 - 6}{6 - 1} = 0.067$$
$$RC = \frac{0.067}{1.24} = 0,054$$

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos dos atores para o critério Criticidade:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,24 \text{ (para 6 critérios)}$$

$$I = \frac{6.15 - 6}{6 - 1} = 0.029$$

$$RC = \frac{0.029}{1.24} = 0,024$$

Rácio de Consistência da Matriz de Comparação de determinação dos pesos critérios:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad RI = 1,12 \text{ (para 5 critérios)}$$

$$CI = \frac{5.175 - 5}{5 - 1} = 0.067$$

$$RC = \frac{0.067}{1.12} = 0,04$$

## Anexo 5

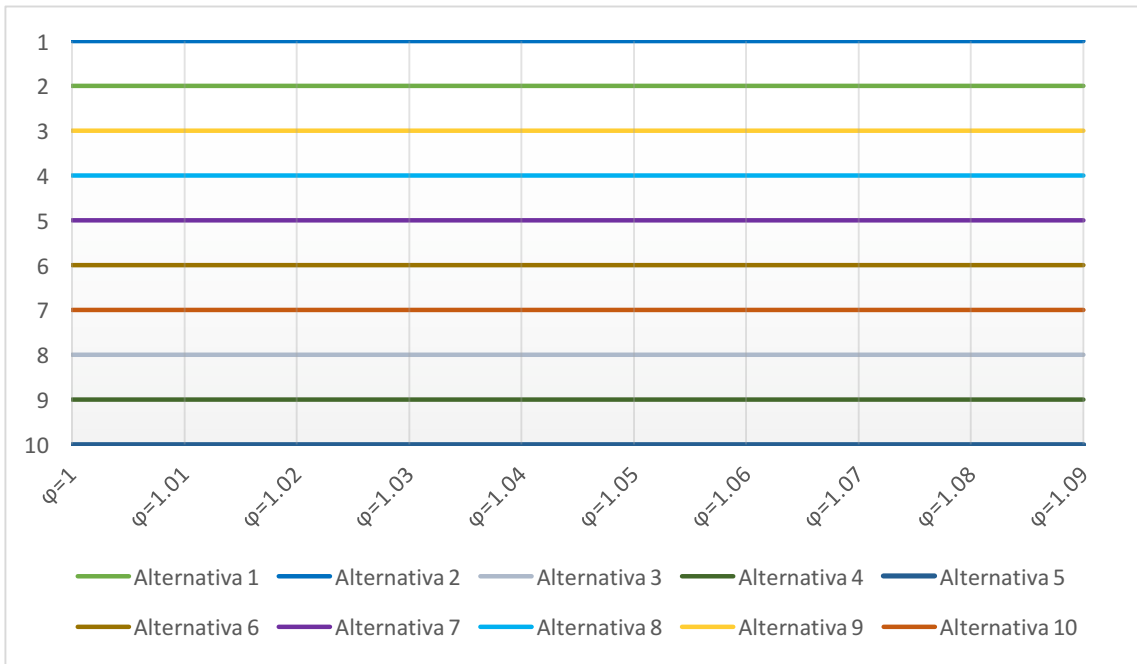


Figura 45 - Variação do peso do critério Avaliação Tecnológica ente +1% e +9% (TOPSIS)

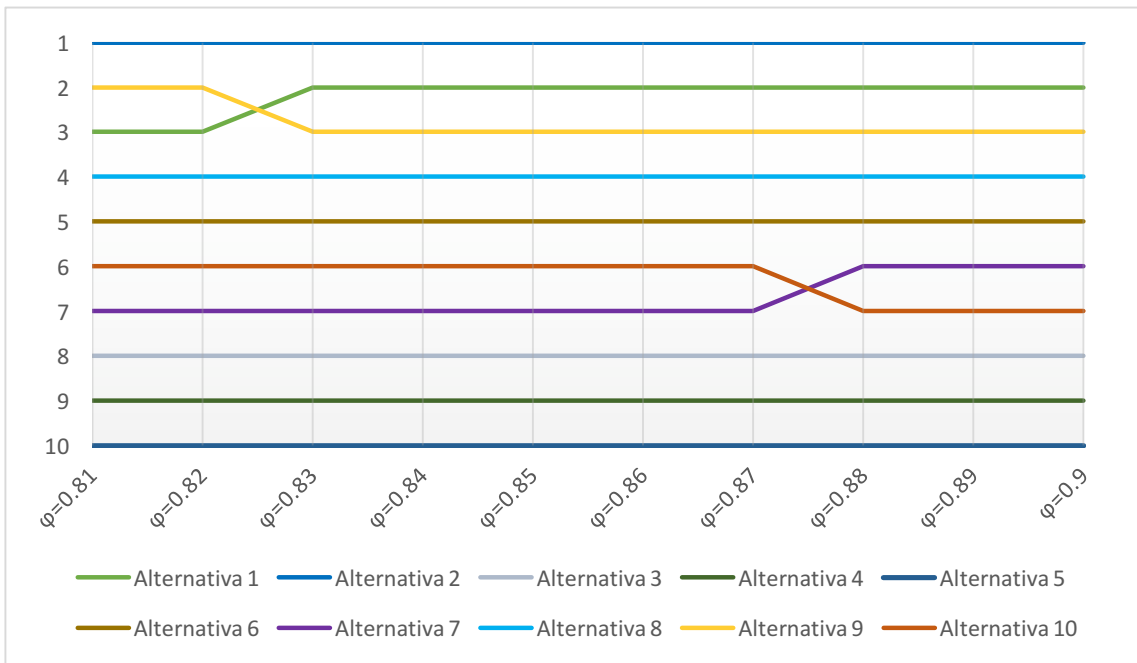


Figura 46 - Variação do peso do critério Avaliação Tecnológica ente -19% e -10% (TOPSIS)

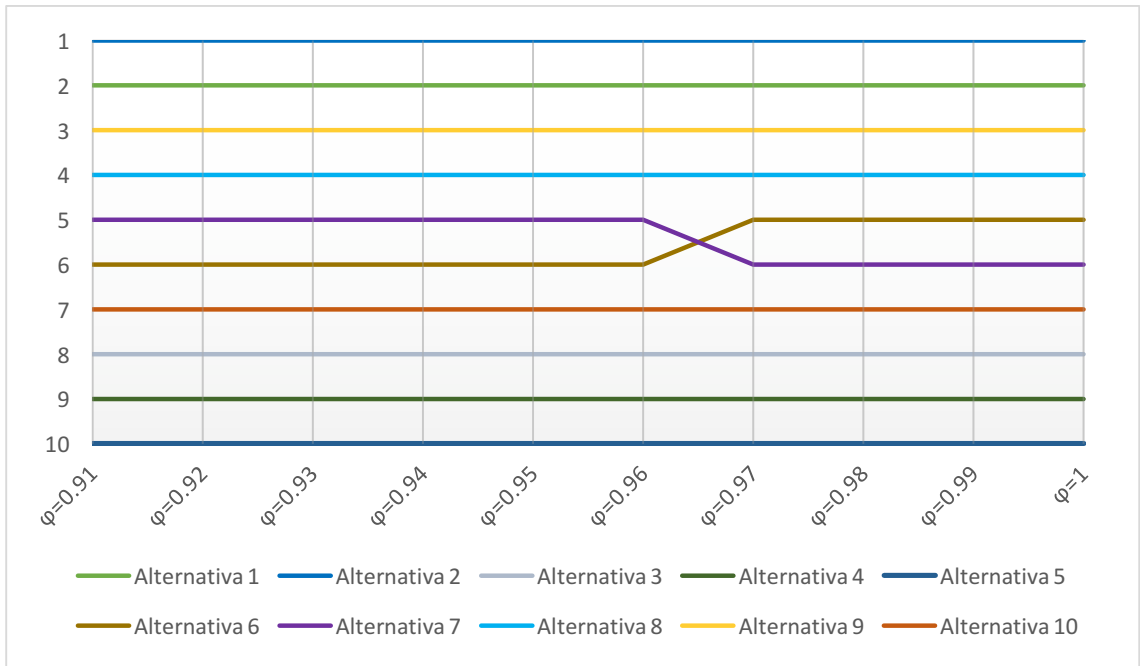


Figura 47 - Variação do peso do critério Esperança Média de Vida entre -9% e 0% (TOPSIS)

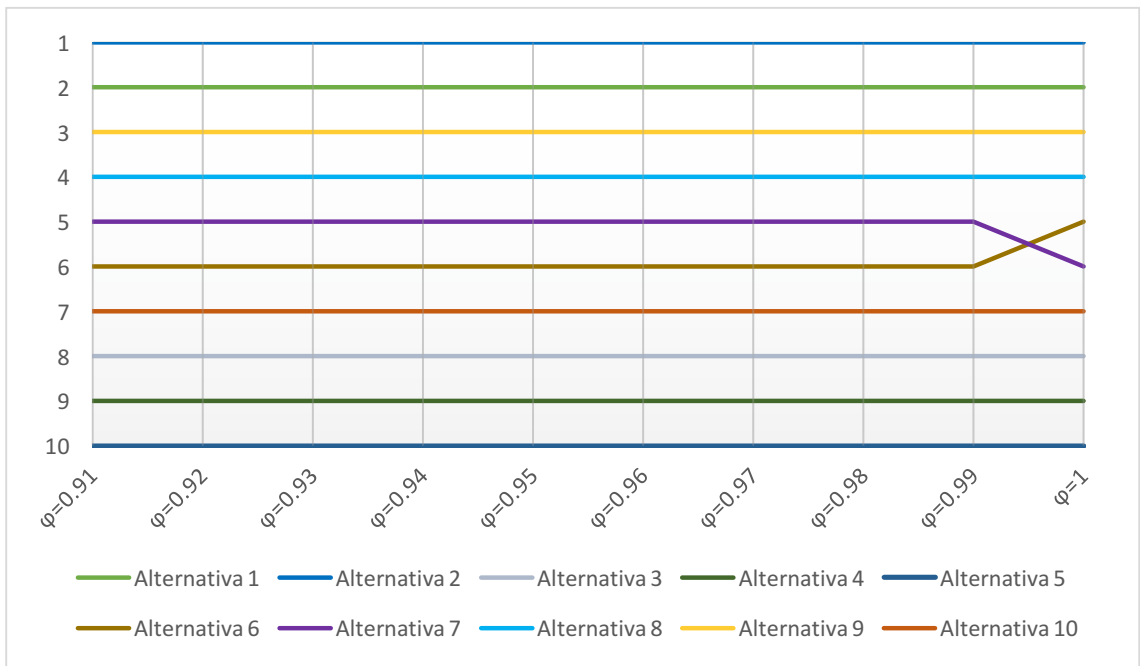


Figura 48 - Variação do peso do critério Geração de Receita entre -9% e 0% (TOPSIS)

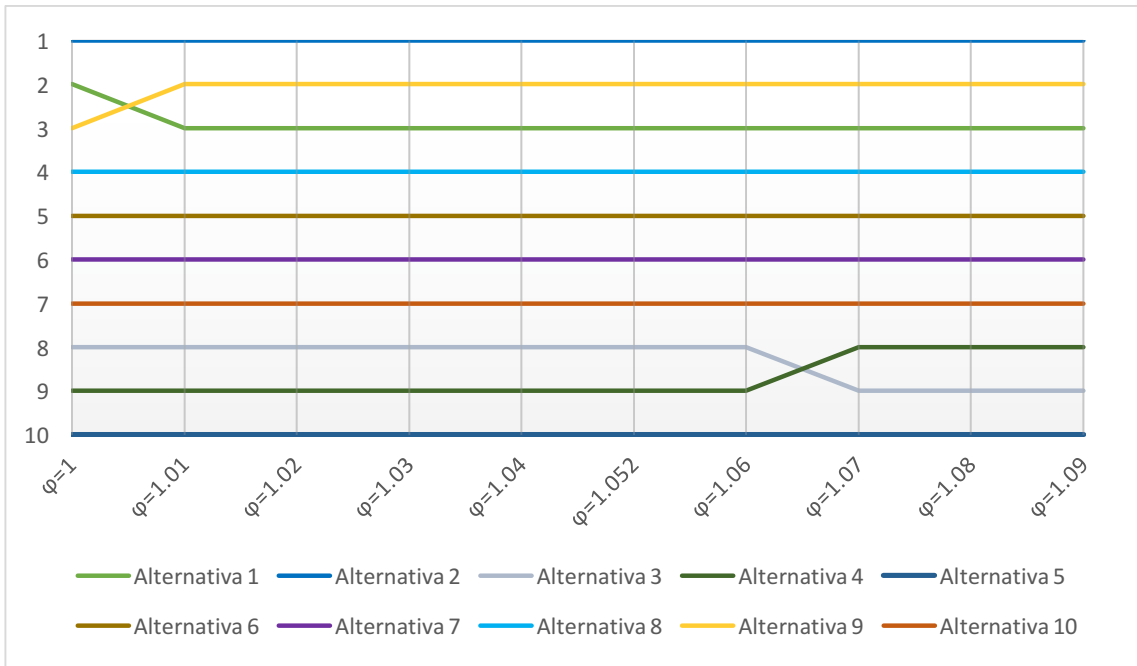


Figura 49 - Variação do peso do critério Geração de Receita entre 0% e 9% (TOPSIS)

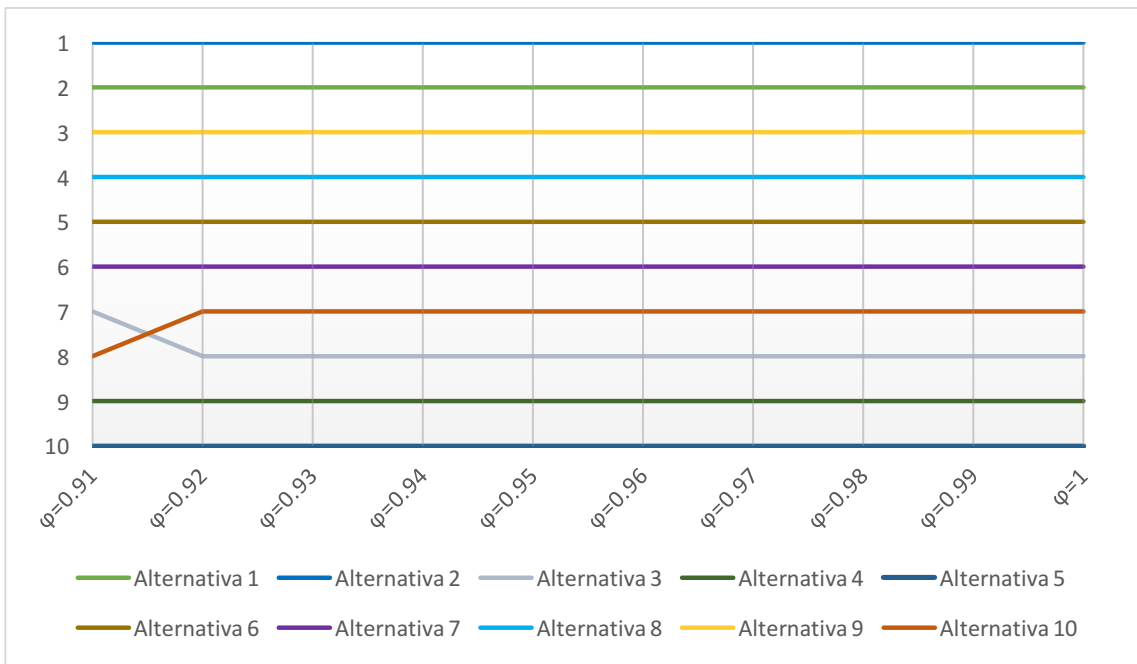


Figura 50 - Variação do peso do critério Grau de Utilização entre -9% e 0% (TOPSIS)

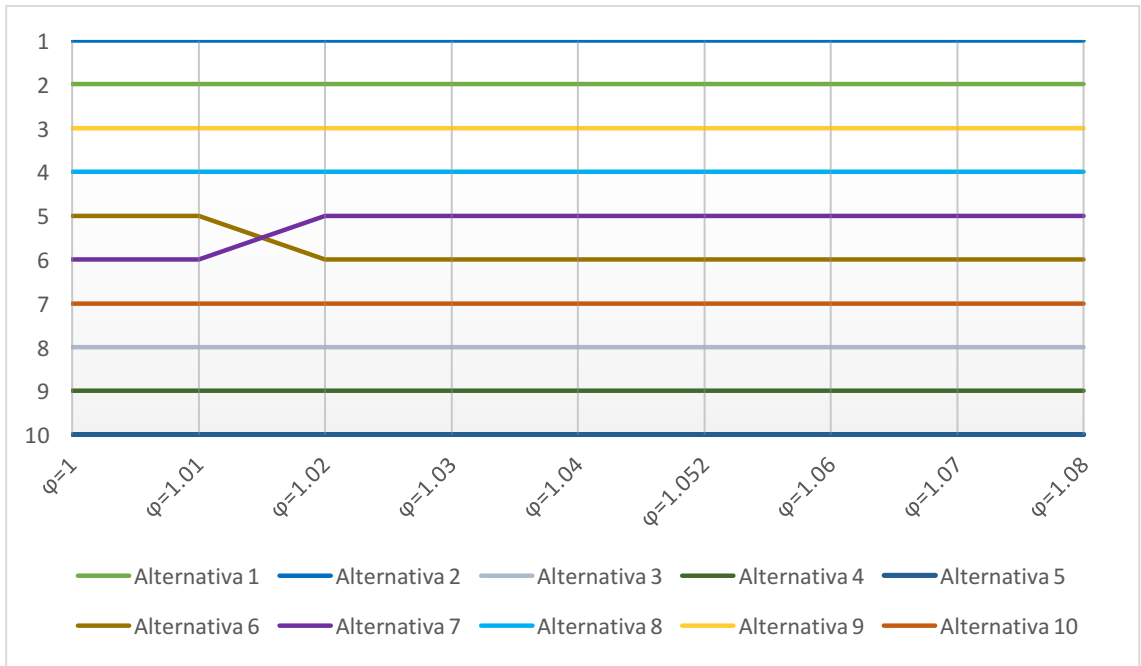


Figura 51 - Variação do peso do critério Grau de Utilização entre 0% e 9% (TOPSIS)

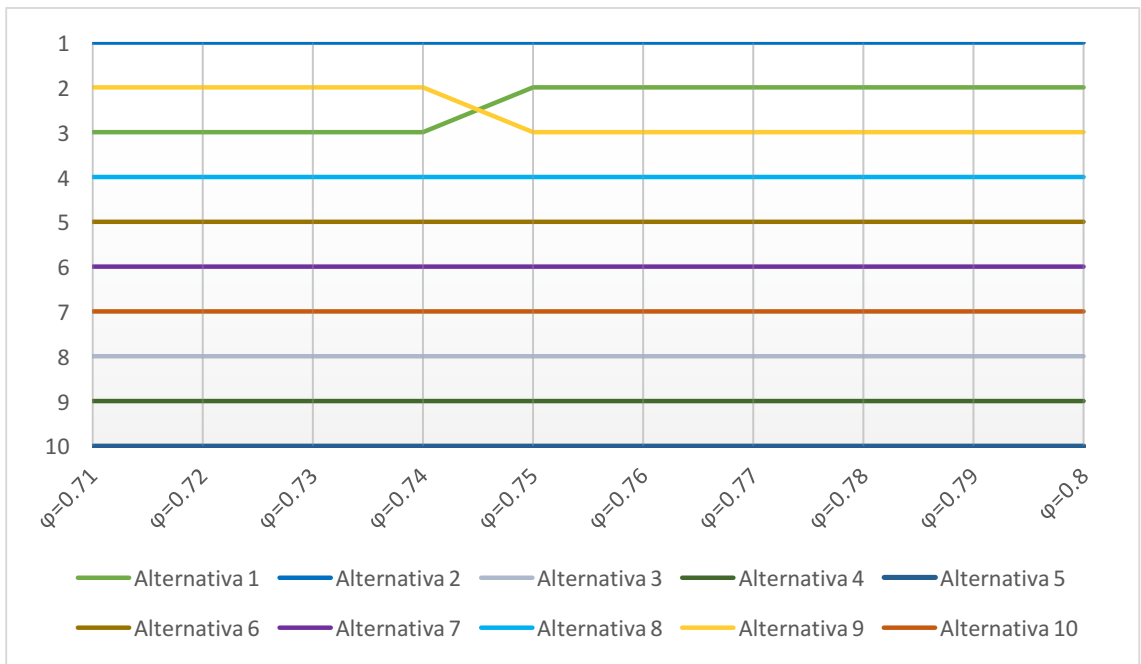


Figura 52 - Variação do peso do critério Criticidade entre -29% e -20% (TOPSIS)

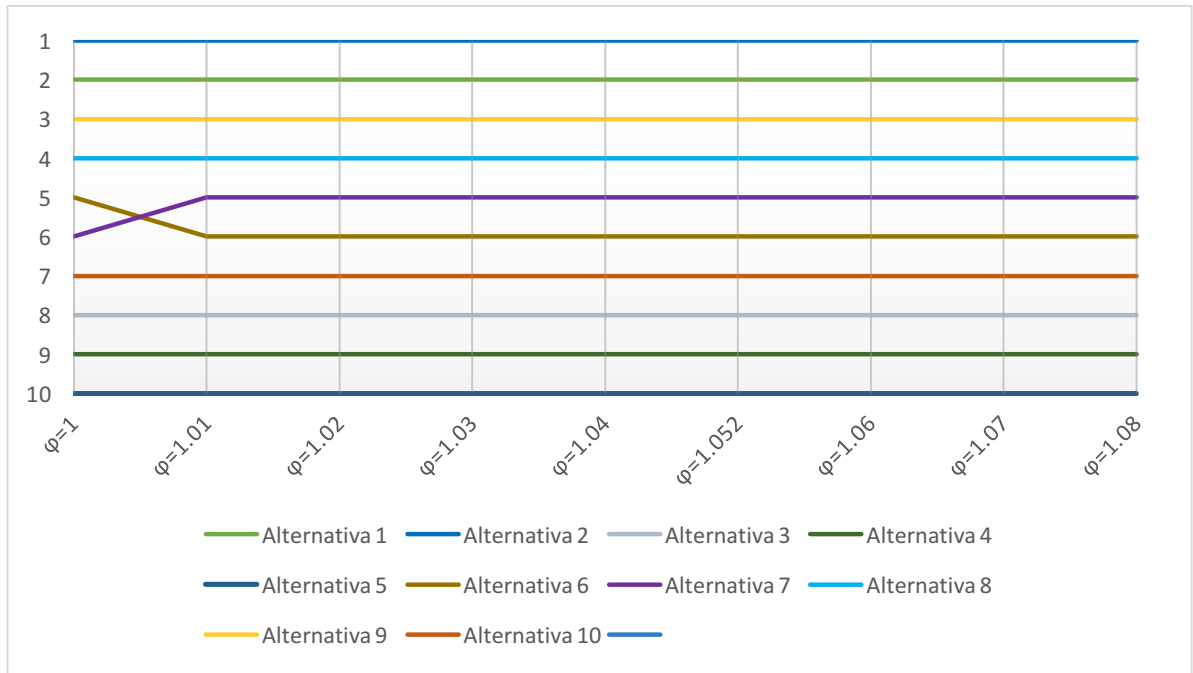


Figura 53 - Variação do peso do critério Criticidade entre 0% e 10% (TOPSIS)

## Anexo 6

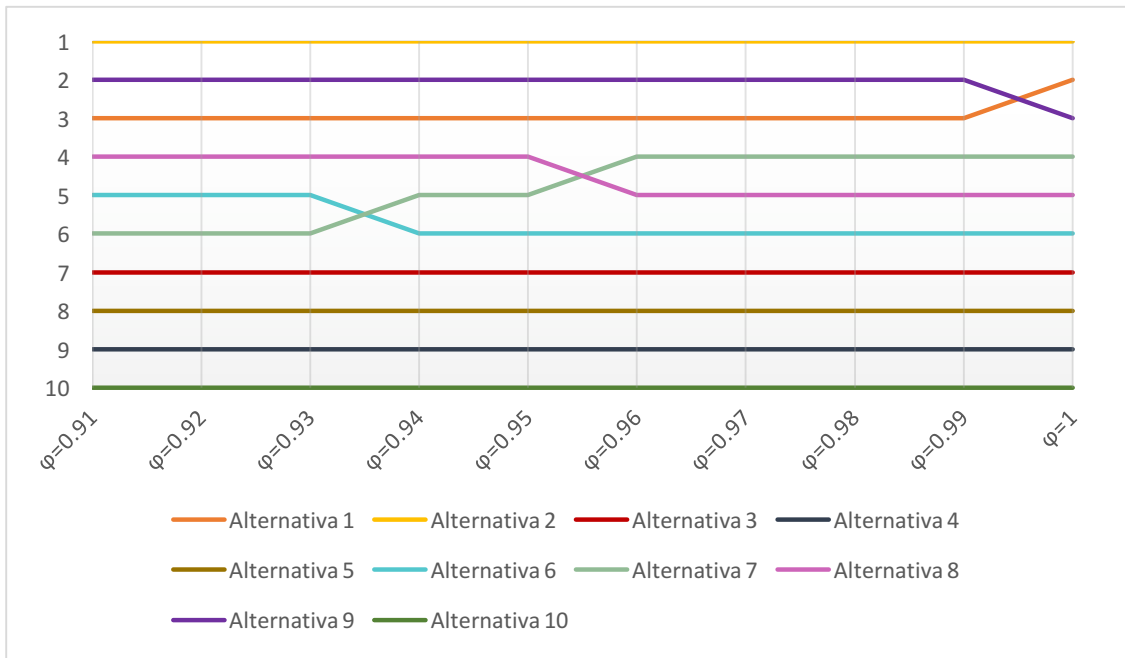


Figura 54 - Variação do peso do critério Avaliação Tecnológica entre -9% e 0% (VIKOR)

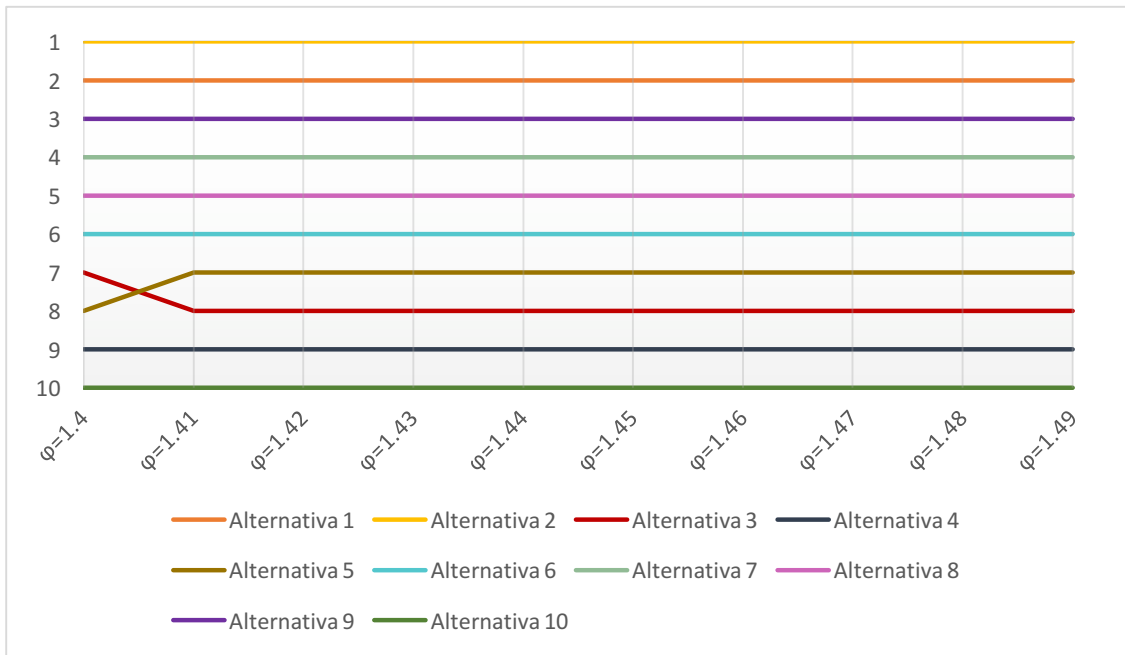


Figura 55 - Variação do peso do critério Avaliação Tecnológica entre 40% e 49% (VIKOR)

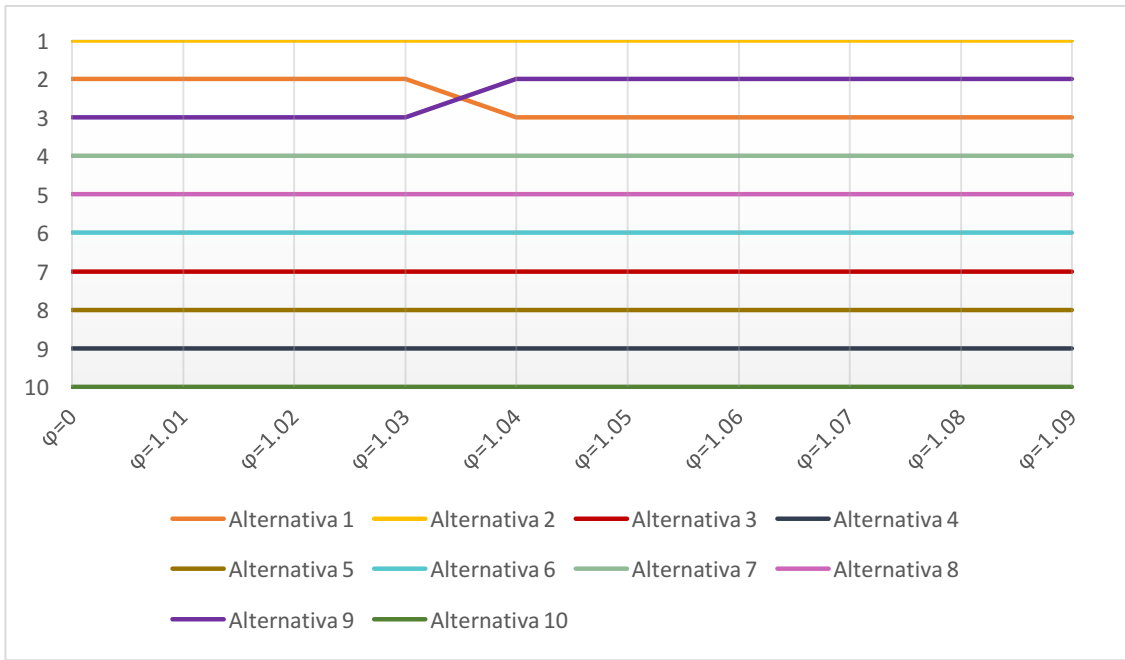


Figura 56 - Variação do peso do critério Esperança Média de Vida entre 0% e 9% (VIKOR)

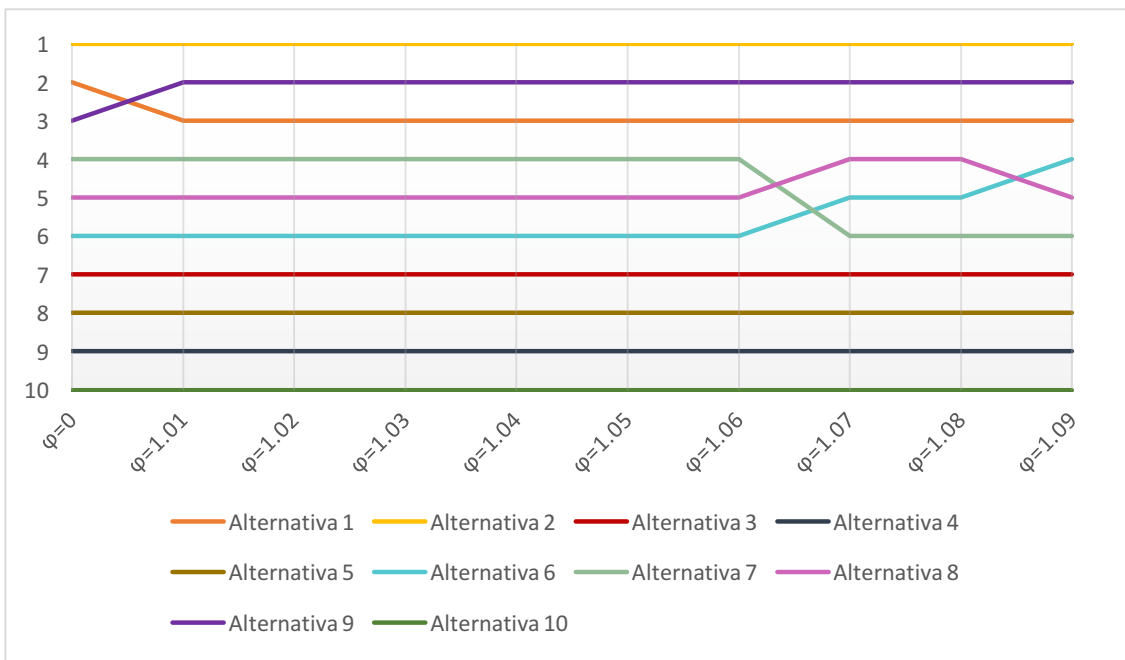


Figura 57 - Variação do peso do critério Geração de Receita entre 0% e 9% (VIKOR)

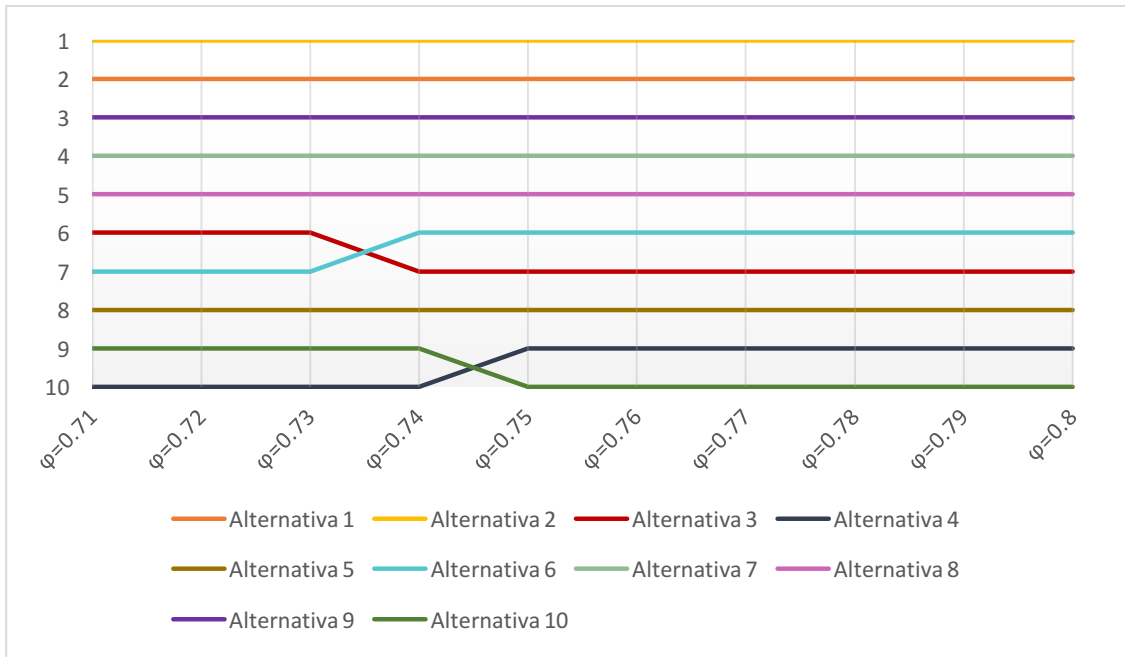


Figura 58 - Variação do peso do critério Geração de Receita entre -29% e -20% (VIKOR)

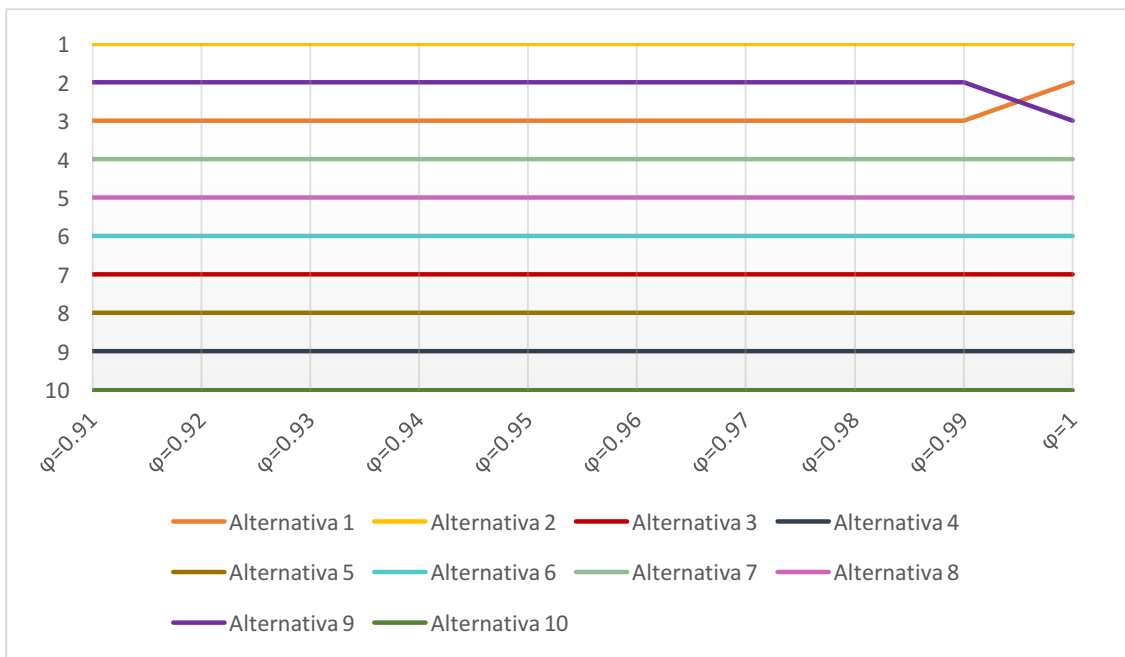


Figura 59 - Variação do peso do critério Grau de Utilização entre -9% e 0% (VIKOR)

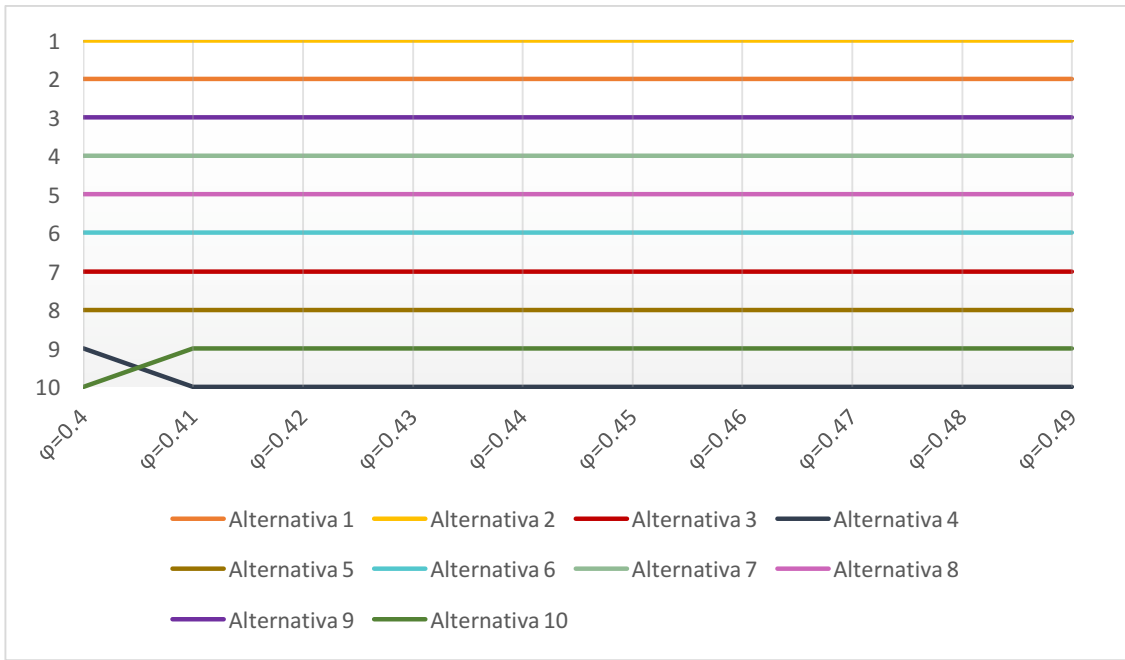


Figura 60 - Variação do peso do critério Grau de Utilização entre -40% e -49% (VIKOR)

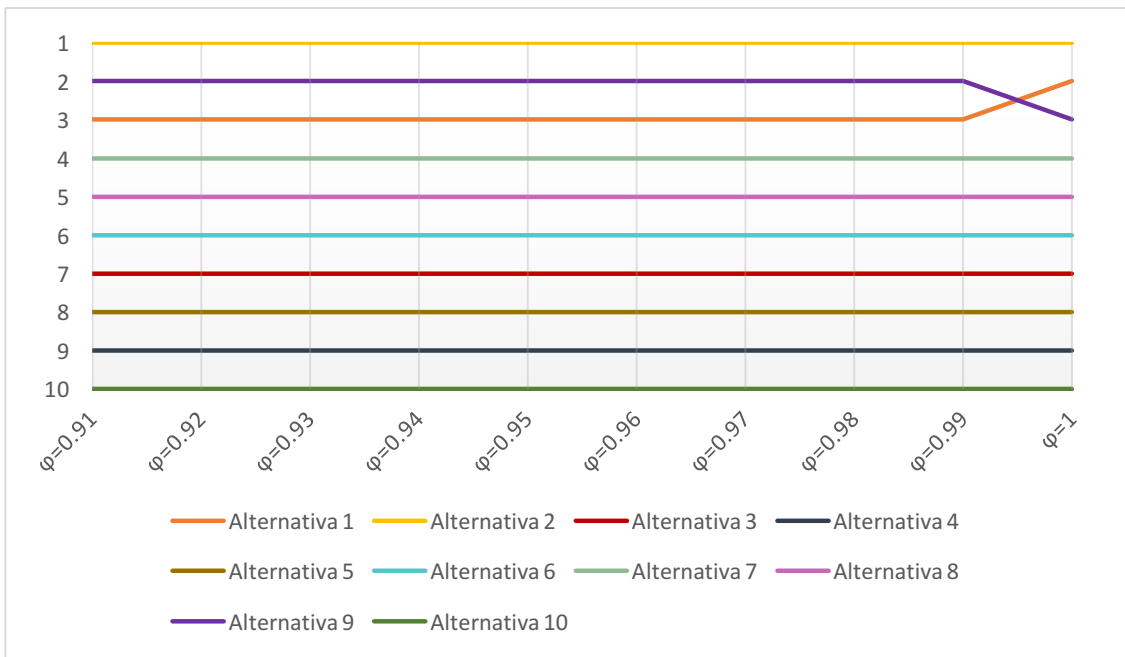


Figura 61 - Variação do peso do critério Críticidade entre -9% e -0% (VIKOR)

## Anexo 7

Para proceder à análise custo-benefício é necessário determinar os preços relativos de cada equipamento. O preço relativo de cada alternativa é determinado através do custo total das alternativas inseridas dentro de um mesmo tipo de equipamento. Assim, para as tomografias computadorizadas consideradas os preços relativos são:

$$P_{relativoa_1} = \frac{900\,000}{900\,000 + 550\,000} = 0.62 \quad P_{relativoa_3} = \frac{550\,000}{900\,000 + 550\,000} = 0.38$$

Já no caso das ressonâncias magnéticas, os preços relativos são dados por:

$$P_{relativoa_2} = \frac{1\,500\,000}{1\,500\,000 + 1\,200\,000} = 0.56 \quad P_{relativoa_9} = \frac{1\,200\,000}{1\,500\,000 + 1\,200\,000} = 0.44$$

As alternativas  $a_6$  e  $a_8$  são do tipo de equipamento mamografia:

$$P_{relativoa_6} = \frac{95\,000}{95\,000 + 65\,000} = 0.59 \quad P_{relativoa_8} = \frac{65\,000}{95\,000 + 65\,000} = 0.41$$

Os equipamentos de ecografia, dados por  $a_5$  e  $a_{10}$ , tem preços relativos dados por:

$$P_{relativoa_5} = \frac{60\,000}{60\,000 + 80\,000} = 0.43 \quad P_{relativoa_{10}} = \frac{80\,000}{60\,000 + 80\,000} = 0.57$$

Por último, de entre as alternativas consideradas, constam dois equipamentos de radiografia convencional, cujos preços relativos são:

$$P_{relativoa_4} = \frac{100\,000}{100\,000 + 150\,000} = 0.4 \quad P_{relativoa_7} = \frac{150\,000}{100\,000 + 150\,000} = 0.6$$

Determinados os preços relativos, é possível determinar o rácio custo-benefício que para cada alternativa é dado por:

$$AC_{a_1} = \frac{0.1716}{0.62} = 0.277$$

$$AC_{a_2} = \frac{0}{0.56} = 0$$

$$AC_{a_3} = \frac{0.751}{0.38} = 1.98$$

$$AC_{a_4} = \frac{0.9447}{0.4} = 2.36$$

$$AC_{a_5} = \frac{0.7799}{0.43} = 1.81$$

$$AC_{a_6} = \frac{0.6935}{0.59} = 1.17$$

$$AC_{a_7} = \frac{0.6313}{0.6} = 1.05$$

$$AC_{a_8} = \frac{0.6786}{0.41} = 1.66$$

$$AC_{a_9} = \frac{0.172}{0.44} = 0.39$$

$$AC_{a_{10}} = \frac{0.9931}{0.57} = 1.74$$



