

$$\left\{ \begin{array}{l} RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^{n-1}} * \left(CA + \sum_{j=0}^n \frac{(t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} \right) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{array} \right.$$

Hugo David Nogueira Raposo

MODELOS DE OPTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE SUBSTITUIÇÃO DE AUTOCARROS DE TRANSPORTE URBANO COM INDEXAÇÃO À FROTA DE RESERVA

Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica, Ramo de Gestão e Robótica Industrial, orientada por Professor Doutor José Manuel Torres Farinha e Professor Doutor Joaquim Norberto Pires e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Agosto de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Modelos de Optimização do Tempo de Substituição de Autocarros de Transporte Urbano com Indexação à Frota de Reserva

Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica
no Ramo de Gestão e Robótica Industrial

Hugo David Nogueira Raposo

Orientadores Científicos:

Professor Doutor José Manuel Torres Farinha, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Professor Doutor Joaquim Norberto Pires, Universidade de Coimbra, Portugal

Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

Coimbra, Agosto 2017

Ao meu filho Bernardo Raposo, à minha mulher Paula Gonçalves.

“Bendita perseverança a do burrico de nora! - Sempre ao mesmo passo.
Sempre as mesmas voltas. - Um dia e outro; todos iguais.
Sem isso, não haveria maturidade nos frutos, nem louçania no horto, nem teria
aromas o jardim. Leva este pensamento à tua vida interior.

(Caminho, 998)”

São Josemaria Escrivá

Agradecimentos

Ao concluir esta dissertação que resultou de cinco anos de trabalho árduo, não posso deixar de expressar a minha profunda gratidão para com todos aqueles que de uma forma ou de outra me ajudaram a que o trabalho fosse concluído.

Em primeiro lugar, ao Professor José Manuel Torres Farinha pela honra que me deu ao aceitar-me como seu aluno de doutoramento, pelos ensinamentos que me deu, que me fizeram crescer como aluno, investigador e como engenheiro. Agradeço ainda o seu grande apoio, incentivo, colaboração e rigor colocados na orientação da presente tese. Agradeço também o facto de me ter incluído na sua equipa de investigação, a equipa do CEMMPRE, bem como a possibilidade de beber do seu vasto conhecimento intelectual, em particular na área da manutenção.

Em segundo lugar, ao Professor Joaquim Norberto Pires por aceitar ser meu co-orientador e de ser o elo de ligação à Universidade de Coimbra, como todo o apoio, conhecimento e colaboração na co-orientação deste trabalho.

Igualmente, quero expressar a minha gratidão ao Professor Doutor Luís Andrade Ferreira pela capacidade crítica, pela colaboração, pelos conhecimentos outorgados e pelo apoio incondicional, o tempo dispensado, que muito contribuiu para a minha formação académica e científica.

Ao Professor Doutor Filipe Didelet, quero expressar o meu agradecimento pela colaboração, pelos conhecimentos outorgados, o seu saber, os seus conselhos e o modo como me incentivou. Agradeço ainda pelo acesso ao seu vasto conhecimento na área da manutenção, nomeadamente no sector dos transportes.

Ao Professor Doutor Inácio Fonseca, quero expressar o meu agradecimento pela sua colaboração, a sua simpatia, o seu saber, os seus conselhos e o modo como me incentivou.

Ao Professor Doutor Diego Galar, quero expressar o meu agradecimento pela sua colaboração, o seu saber e pelo seu conhecimento e respeito internacional na área da manutenção.

Ao Professor Doutor Jorge André, pelo exemplo de abnegação, rigor, competência, trabalho e energia. Agradeço, simultaneamente, pelo acesso ao seu vasto conhecimento intelectual, nomeadamente na Matemática Aplicada à Engenharia. Por ele nutro uma enorme admiração.

Ao colega de doutoramento e amigo Ruben Oliveira pela amizade, solidariedade, inteligência, incentivo, sugestões e aconselhamento e pela sua abertura na partilha de metodologias de investigação e conhecimentos que muito ajudaram a enriquecer esta investigação.

Ao Eng.º Artur Machado de Campos Rangel quero expressar o meu agradecimento pelo seu incentivo, o seu saber, a sua experiência, pelo seu conhecimento e respeito na área da manutenção industrial e transportes.

À UC e ao CEMMPRE, nas pessoas do Professor Doutor Altino Loureiro e Professor Bruno Trindade pela disponibilização de importantes meios técnicos para a realização deste estudo, que permitiram a validação do conteúdo desta investigação.

Ao colega e amigo dos SMTUC, Técnico Superior Luís Miguel Afonso Antunes Pato pela amizade, nobreza, frutuosa cooperação, sugestões, aconselhamento e apoio técnico durante a realização desta tese.

Ao Dr. Jaime Silva Pereira, pela amizade, pelos conhecimentos outorgados e pelo apoio incondicional, que muito contribuiu para a minha formação e realização deste trabalho.

À Câmara Municipal de Coimbra, aos SMTUC - Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra e especialmente ao Conselho de Administração, Dra. Rosa Reis Marques, Dr. Jorge Alves e Dr. Francisco Queiroz, bem como ao chefe de Divisão do Equipamento e Manutenção o Eng.º Jorge Falcão, e a todos os restantes trabalhadores, pela cultura cívica, pela partilha de dados e de meios técnicos, pela competência e profissionalismo, pela disponibilidade que possibilitou que a tese também se realizasse no contexto industrial.

À Empresa Arriva Portugal - Transportes, Lda. e especialmente ao Sr. Manuel Oliveira, administrador, e ao Eng.º Carlos Costa, pela sua dimensão humana, franqueza, apoio, disponibilidade, empenho e competência, e na hospitalidade e amabilidade como nos acolheram nas nossas visitas a Guimarães.

À STCP – Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, S.A., especialmente ao Eng.º Alfredo Jorge Silva Pinheiro, Eng.º Pedro Castro e Eng.º António Reis, pela colaboração e troca de conhecimentos referentes à frota de autocarros.

À CARRIS – Transportes de Lisboa, especialmente ao Eng.º Freire de Fonseca, Eng.º Alberto Lages, Eng.º Manuel Pombo, Eng.º Manuel Enguiço e Eng.º Norberto Silva pela colaboração e troca de conhecimentos referentes à frota de autocarros.

Aos TUB – Transportes Urbanos de Braga, especialmente aos Administradores Professor Doutor José António Baptista Costa e Eng.º Teotónio Luís Vieira de Andrade dos Santos, e ao Eng.º Luís Gomes do Vale e Eng.º Francisco Manuel Vilaça pela colaboração e troca de conhecimentos referentes à frota de autocarros.

Quero também agradecer aos colegas do Departamento de Manutenção dos SMTUC, STCP, da CARRIS, da ARRIBA e dos TUB pelo acolhimento e pelo tempo dispensado.

À minha família quero agradecer, nomeadamente ao meu pai David Aristides Rodrigues Raposo, a minha mãe Ana Isabel Almeida Nogueira Raposo, ao meu irmão Doutor Eng.º Jorge Rafael Nogueira Raposo e a minha cunhada Dr. Ana Catarina Pais Viegas Raposo pois estiveram sempre comigo e me apoiaram, bem como aos amigos, pois sem esse apoio e encorajamento não seria possível concluir esta tese. O meu muito obrigado.

Resumo

No contexto actual em que os utilizadores dos transportes colectivos são cada vez mais exigentes relativamente à qualidade dos serviços prestados, a manutenção destaca-se como um factor de competitividade. O Custo do Ciclo de Vida (LCC – Life Cycle Cost) de um autocarro de transporte urbano é intrinsecamente dependente da qualidade da gestão da sua manutenção, o que se reflecte na sua fiabilidade e disponibilidade. Há ainda outros aspectos que devem ser levados em consideração, tais como os custos de combustível, e as taxas de inflação e capitalização.

O tempo de substituição ou renovação de um autocarro pode ser avaliado através de métodos, tais como de “vida económica” e ou da “vida útil”. Estes modelos são fortemente discutidos ao longo da dissertação, utilizando dados reais de uma empresa de autocarros urbanos de passageiros para a sua validação.

A dissertação remete ainda para uma abordagem à manutenção de condição baseada em óleos de motores de autocarros urbanos, na qual se faz o acompanhamento da evolução da sua degradação, com o objectivo de avaliar o potencial impacto de uma política de manutenção condicionada na frota de reserva. Esta abordagem, usualmente, deve levar a intervalos de manutenção mais alargados, quando comparados com os intervalos sistemáticos que seriam utilizados por defeito. Por consequência, os custos de manutenção são reduzidos e as vidas económica e útil são incrementadas. A conjugação dos aspectos precedentes tem implicações no dimensionamento da frota de reserva, tal como é demonstrado ao longo da dissertação, o que implica que a vertente manutenção e, em particular, a concernente à análise de óleos, deve ser considerada numa perspectiva estratégica nas empresas de transporte rodoviário de passageiros.

A determinação do momento considerado mais racional para a substituição de um autocarro de passageiros que, quando enquadrado numa frota, tem implicações na determinação da dimensão da respectiva frota de reserva, implica o equacionamento de variáveis económicas que se podem dividir em endógenas e exógenas: as primeiras referem-se aos custos de operação e de manutenção, bem como à desvalorização dos activos; as segundas, aos imponderáveis de mercado, tais como, as taxas de inflação e de capitalização, bem como aos custos de energia, designadamente dos combustíveis. A dissertação apresenta ainda uma visão geral dos modelos

econométricos de substituição através de um modelo global, com ênfase na disponibilidade e nos custos de manutenção.

A dissertação discute também as relações entre alguns indicadores técnicos (KPI – Key Performance Indicators) da manutenção, especificamente, o MTTR (Mean Time Between Repairs), o MTBF (Mean Time Between Failures), a Disponibilidade (D), e a dimensão da frota de reserva. O retorno sobre o Investimento (ROI – Return On Investment), um indicador financeiro para avaliar o desempenho financeiro do equipamento, é usado como uma "ponte" entre as vertentes manutenção e a gestão financeira, mostrando o momento em que o equipamento começa a gerar lucros para a empresa. Analisa ainda modelos para determinar a influência dessas variáveis sobre o tempo de retirada de funcionamento e o tamanho da frota de reserva, usando a análise de óleos como exemplo.

A dissertação apresenta ainda uma síntese enquadradora das variáveis precedentes, através de um modelo global, demonstrando a sua pertinência na análise do dimensionamento da frota de reserva e do tempo de cessão dos autocarros.

Finalmente é apresentado um Modelo Integrado de Avaliação de Frota de Reserva (MIAFRA), que poderá ser integrado num sistema de informação para manutenção, através da adição de novos módulos de manutenção condicionada, preditiva, bem como os modelos de substituição referidos, permitindo, deste modo, alargar o potencial dos actuais sistemas de informação para uma perspectiva de gestão global do ciclo de vida dos equipamentos.

Palavras-chave: Substituição de Equipamentos; LCC; Frota de reserva; Manutenção Condicionada; Manutenção Preditiva.

Abstract

In the nowadays context in which public transport users are increasingly demanding about the quality of services provided, maintenance stands out as a competitiveness factor. The Life Cycle Cost (LCC) of an urban transport bus is intrinsically dependent on the quality of the management of its maintenance, which is reflected in its reliability and availability. There are still other aspects that need to be taken into account, such as fuel costs, inflation and real discount rates.

The bus replacement time or renewal may be assessed by methods such as "economic life" or "useful life". These models are strongly discussed throughout the dissertation, using real data from a city bus company for its validation.

The dissertation also refers to an approach about the conditioning maintenance based on oil analysis of urban bus engines, in which the evolution of its degradation is monitored, in order to evaluate the potential impact of a conditioning maintenance policy on the reserve fleet. This approach should, usually, lead to enlarge the maintenance intervals when compared to the systematic ones that would be used by default. As a result, the maintenance costs are reduced and economic and useful lives are increased. The combination of the foregoing aspects has implications for the dimensioning of the reserve fleet, as demonstrated throughout the dissertation, which implies that maintenance and, in particular, oil analysis, which should be considered within a strategic perspective in the companies of road passengers transport.

The determination of the time considered the most rational for the replacement of a passenger bus, when framed in a fleet, has implications in determining the size of the respective reserve fleet, implying to equation the economic variables, that can be divided into endogenous and exogenous: the first ones relates to operating and maintenance costs as well as the assets devaluation; the second ones to the imponderables of the market, such as inflation and real discount rates, as well as energy costs, namely the fuel. The dissertation also presents an overview of the econometric models for replacement through a global model, with emphasis on availability and maintenance costs.

The dissertation also discusses the relationships between some maintenance Key Performance Indicators (KPI), specifically the MTTR (Mean Time Between Repairs), the Mean Time

Between Failures (MTBF), the Availability (D), and the Reserve fleet. The Return On Investment (ROI) is a financial indicator to evaluate the financial performance of the equipment that is used as a "bridge" between the maintenance and the financial management fields, showing the time when the equipment begins to generate profits to the company. It also analyzes models to evaluate the influence of these variables on the withdrawal time and in the reserve fleet size, using the oil analysis as an example.

The dissertation also presents a framework synthesis of the preceding variables, through a global model, demonstrating its relevance to the analysis of the reserve fleet size and the withdrawal buses time.

Finally, an Integrated Reserve Fleet Assessment Model (MIAFRA) is presented, which can be integrated into a maintenance information system, through the addition of new conditioning and predictive maintenance modules, as well as the mentioned replacement models, thereby extending the potential of the existing information systems to a global equipment lifecycle management perspective.

Key-words: Equipment Replacement; LCC; Reserve fleet; Conditioned Maintenance; Predictive Maintenance.

Índice

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
Simbologia e Acrónimos	xxi
Simbologia.....	xxi
Acrónimos.....	xxiii
Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Introdução	1
1.2. Estrutura da Dissertação.....	7
Capítulo 2. Estado da Arte	9
Capítulo 3. Abordagem Global	27
3.1. Modelos Económicos de Substituição	28
3.1.1. Método Linear de Depreciação.....	28
3.1.2. Método de Soma dos Dígitos	29
3.1.3. Método Exponencial	29
3.1.4. Método da Renda Anual Uniforme	31
3.1.5. Método de Minimização do Custo Médio Total	32
3.1.6. Método de MCMT com Redução do Valor Presente	33
3.1.7. Modelo de “vida útil”	33
3.1.8. Outros Modelos Matemáticos	36
3.1.8.1 Método do alisamento exponencial	36
3.1.8.2 Distribuição t-Student	37
3.1.9. Indicadores de Desempenho	40
3.2. Novos Modelos Económicos de Substituição	42
3.2.1. Novos Modelos Económicos de Substituição – Indicador Financeiro.....	42
3.2.2. Novos Modelos Económicos de Substituição – Indicador Desempenho	44
3.3. Frota de Reserva	46
3.4. Dimensão da Frota de Reserva	48
Capítulo 4. Modelos de Substituição de Autocarros	53
4.1. Modelos de Substituição – Influência das variáveis endógenas e exógenas.....	54
4.1.1. Modelos de substituição – Taxa Aparente Constante	54
4.1.1.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (RAU)	54
4.1.1.2 Aplicação do MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP).....	56
4.1.2. Modelos de substituição – Custos de Manutenção e Operação Teóricos.....	61
4.1.2.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (RAU)	61
4.1.2.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT).....	62
4.2. Influência da Taxa Aparente no Tempo de Substituição	65
4.3. Influência do Custo do Combustível no Tempo de Substituição	69
Capítulo 5. Dimensionamento da Frota de Reserva	75
5.1. Aplicação do Modelo de Acompanhamento da Degradação dos Óleos	76
5.1.1. Modelo aplicado a uma viatura	80
5.2. Influência da Condição dos Óleos nos Custos de Manutenção	88

5.3.	Manutenção Preditiva <i>versus</i> Ciclo Económico de Substituição	90
5.4.	MTRR <i>versus</i> Ciclo Económico de Substituição.....	93
5.5.	Manutenção Preditiva <i>versus</i> Frota de Reserva	98
Capítulo 6.	Conclusões	111
Capítulo 7.	Desenvolvimentos Futuros	113
	Referências Bibliográficas	115
Anexo A – Modelos de Substituição de Autocarros – Dados de Análise		123
A.1.	Caracterização dos Autocarros	123
A.2.	Dados Históricos dos Autocarros	124
A.3.	Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (MRAU).....	128
A.4.	Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT).....	139
A.5.	Aplicação do MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP).....	151
A.6.	Aplicação do Método de “Vida Útil”	163
Anexo B – Análises de Óleos		184
B.1.	Lubrificantes.....	184
B.2.	Análise aos Lubrificantes.....	189
B.3.	Modelação da degradação dos óleos.....	191
ANEXO C - Artigos Publicados e Aceites para Publicação		198
C.1	Artigo publicado.....	198
C.2	Artigo aceite para publicação	199
C.3	Artigo aceite para publicação	200

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 – Vida útil versus Custos Manutenção</i>	34
<i>Figura 3.2 – Vida útil versus Custos Manutenção Acumulados</i>	35
<i>Figura 4.1 - RAU taxa aparente constante – Autocarro X1</i>	55
<i>Figura 4.2 – RAU taxa aparente constante – Autocarro X2</i>	56
<i>Figura 4.3 – MCMT- RVP taxa aparente constante – X1</i>	57
<i>Figura 4.4 – MCMT- RVP taxa aparente constante – X2</i>	58
<i>Figura 4.5 – MCMT- RVP – ROI + (C' _n + C'' _n)</i>	59
<i>Figura 4.6 – MCMT- RVP – ROI e Vida Útil com Custo Acumulado</i>	60
<i>Figura 4.7 – RAU - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	62
<i>Figura 4.8 – MCMT - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	63
<i>Figura 4.9 – MCMT- RVP - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	64
<i>Figura 4.10 – Variação da Taxa de Inflação entre 1993 e 2014</i>	65
<i>Figura 4.11 – Variação da Taxa de Capitalização entre 1993 e 2014</i>	65
<i>Figura 4.12 – Variação da Taxa Aparente entre 1993 e 2014</i>	66
<i>Figura 4.13 – Decréscimo da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	67
<i>Figura 4.14 – Aumento da Taxa Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	68
<i>Figura 4.15 – Influência da variação da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	68
<i>Figura 4.16 – Variação do custo de Combustível entre 2003 e 2014</i>	69
<i>Figura 4.17 – Custo de Operação Autocarro versus Preço de Combustível</i>	70
<i>Figura 4.18 – Incremento do Preço de Gasóleo - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	71
<i>Figura 4.19 – Diminuição do Preço de gasóleo – Renda Anual Uniforme (X1)</i>	72
<i>Figura 4.20 – Influência do preço de gasóleo na Renda Anual Uniforme (X1)</i>	73
<i>Figura 5.1 – Análises aos óleos</i>	79
<i>Figura 5.2 – Base de dados da Viatura YY1</i>	80
<i>Figura 5.3 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – Fuligem (%)</i>	81
<i>Figura 5.4 – Gráfico da tabela referente ao alisamento exponencial – Teor de Fe (ppm)</i>	83
<i>Figura 5.5 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – teor de F_e (ppm)</i>	86
<i>Figura 5.6 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – teor de N_a (ppm)</i>	87
<i>Figura 5.7 - RAU – Manutenção Preditiva – Autocarro X1</i>	91
<i>Figura 5.8 - Renda Anual Uniforme – Manutenção Correctiva – Autocarro X1</i>	92
<i>Figura 5.9 - Renda Anual Uniforme – Manutenção Correctiva – Autocarro X1</i>	92
<i>Figura 5.10 – Influência do MTTR na RAU</i>	95
<i>Figura 5.11 – Influência do MTTR na RAU+ROI</i>	96
<i>Figura 5.12 – Influência do MTTR=5 dias na RAU+ROI</i>	97
<i>Figura 5.13 – Influência do MTTR=5 dias na RAU +> ROI</i>	98
<i>Figura 5.14 – MTTR e MTBF versus Frota de Reserva</i>	99
<i>Figura 5.15 – Disponibilidade versus Frota Reserva</i>	100
<i>Figura 5.16 – Manutenção Preditiva versus MTTR/MTBF</i>	100
<i>Figura 5.17 – Gráfico da disponibilidade versus MTTR -> MTBF</i>	101
<i>Figura 5.18 – Gráfico da disponibilidade versus MTTR -> MTBF</i>	101
<i>Figura 5.19 – Gráfico da disponibilidade versus MTBF -> MTTR</i>	103
<i>Figura 5.20 – Mapa radar da disponibilidade versus necessidade de autocarros</i>	104
<i>Figura 5.21 – Gráfico MTTR versus Frota de Reserva</i>	105

<i>Figura 5.22 – Gráfico MTTR versus Frota de Reserva – Empresa em estudo</i>	106
<i>Figura 5.23 – Mapa radar da disponibilidade versus necessidade + frota de reserva</i>	107
<i>Figura 5.24 – Gráfico Frota de Autocarros versus Frota de Reserva</i>	108
<i>Figura 5.25 - Modelo Integrado de Avaliação da Frota de Reserva</i>	110
<i>Figura A.1 – Intervalos periodicos de Revisão das Viaturas</i>	126
<i>Figura A.2 – Método linear de depreciação</i>	127
<i>Figura A.3 – Método da soma dos dígitos</i>	127
<i>Figura A.4 – Método exponencial</i>	128
<i>Figura A.5 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X1</i>	131
<i>Figura A.6 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X2</i>	132
<i>Figura A.7 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X3</i>	133
<i>Figura A.8 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y1</i>	134
<i>Figura A.9 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y2</i>	135
<i>Figura A.10 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX1</i>	136
<i>Figura A.11 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX2</i>	137
<i>Figura A.12 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX3</i>	137
<i>Figura A.13 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY1</i>	138
<i>Figura A.14 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY2</i>	139
<i>Figura A.15 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X1</i>	142
<i>Figura A.16 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X2</i>	143
<i>Figura A.17 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X3</i>	144
<i>Figura A.18 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro Y1</i>	145
<i>Figura A.19 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro Y2</i>	146
<i>Figura A.20 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX1</i>	148
<i>Figura A.21 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX2</i>	148
<i>Figura A.22 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX3</i>	149
<i>Figura A.23 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro YY1</i>	150
<i>Figura A.24 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro YY2</i>	150
<i>Figura A.25 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X1</i>	154
<i>Figura A.26 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X2</i>	155
<i>Figura A.27 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X3</i>	156
<i>Figura A.28 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro Y1</i>	157
<i>Figura A.29 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro Y2</i>	158
<i>Figura A.30 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XX1</i>	159
<i>Figura A.31 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XX2</i>	160
<i>Figura A.32 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XX3</i>	160
<i>Figura A.33 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro YY1</i>	161
<i>Figura A.34 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro YY2</i>	162
<i>Figura A.35 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X1</i>	163
<i>Figura A.36 – Método de Vida Útil – Autocarro X1</i>	164
<i>Figura A.37 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X1</i>	165
<i>Figura A.38 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X2</i>	165
<i>Figura A.39 – Método de Vida Útil – Autocarro X2</i>	166
<i>Figura A.40 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X2</i>	167
<i>Figura A.41 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X3</i>	167
<i>Figura A.42 – Método de Vida Útil – Autocarro X3</i>	168
<i>Figura A.43 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X3</i>	169
<i>Figura A.44 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro Y1</i>	170

<i>Figura A.45 – Método de Vida Útil – Autocarro Y1</i>	171
<i>Figura A.46 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro Y1</i>	171
<i>Figura A.47 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro Y2</i>	172
<i>Figura A.48 – Método de Vida Útil – Autocarro Y2</i>	173
<i>Figura A.49 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro Y2</i>	173
<i>Figura A.50 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XX1</i>	174
<i>Figura A.51 – Método de Vida Útil – Autocarro XX1</i>	175
<i>Figura A.52 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XX1</i>	175
<i>Figura A.53 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XX2</i>	176
<i>Figura A.54 – Método de Vida Útil – Autocarro XX2</i>	177
<i>Figura A.55 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XX2</i>	177
<i>Figura A.56 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XX3</i>	178
<i>Figura A.57 – Método de Vida Útil – Autocarro XX3</i>	179
<i>Figura A.58 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XX3</i>	179
<i>Figura A.59 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro YY1</i>	180
<i>Figura A.60 – Método de Vida Útil – Autocarro YY1</i>	180
<i>Figura A.61 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro YY1</i>	181
<i>Figura A.62 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro YY2</i>	181
<i>Figura A.63 – Método de Vida Útil – Autocarro YY2</i>	182
<i>Figura A.64 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro YY2</i>	182
<i>Figura B.1 – Base de dados no Excel</i>	192
<i>Figura B.2 – Base de dados no Excel - Viatura</i>	193
<i>Figura B.3 – Gráfico da tabela alisamento exponencial</i>	195

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 – Indicadores de exploração de frotas, segundo a sua dimensão</i>	48
<i>Tabela 4.1 – RAU taxa aparente constante – X1</i>	54
<i>Tabela 4.2 – RAU taxa aparente constante – X2</i>	55
<i>Tabela 4.3 – MCMT-RVP taxa aparente constante – X1</i>	57
<i>Tabela 4.4 – MCMT-RVP taxa aparente constante – X2</i>	58
<i>Tabela 4.5 – MCMT-RVP – ROI + (C' n + C'' n)</i>	59
<i>Tabela 4.6 – MCMT-RVP – ROI e Vida Útil com Custo Acumulado</i>	60
<i>Tabela 4.7 – RAU - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	61
<i>Tabela 4.8 – MCMT - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	63
<i>Tabela 4.9 – MCMT-RVP - Custos teóricos de manutenção e operação – X1</i>	64
<i>Tabela 4.10 – Decréscimo da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	66
<i>Tabela 4.11 – Aumento da Taxa Aparente – Renda Anual Uniforme (Bus X1)</i>	67
<i>Tabela 4.12 – Incremento do Preço de Gasóleo - Renda Anual Uniforme (X1)</i>	71
<i>Tabela 4.13 – Diminuição do Preço de gasóleo – Renda Anual Uniforme (X1)</i>	72
<i>Tabela 5.1 – Principais características do Lubrificante I</i>	77
<i>Tabela 5.2 – Principais características do Lubrificante II</i>	77
<i>Tabela 5.3 – Principais características do Lubrificante III</i>	78
<i>Tabela 5.4 – Tabela dos intervalos periódicos de muda de óleos das viaturas</i>	78
<i>Tabela 5.5 – Aplicação do alisamento exponencial – Fuligem (%)</i>	81
<i>Tabela 5.6 – Aplicação da distribuição t-Student para estimar a média – Fuligem</i>	82
<i>Tabela 5.7 – Aplicação do Teste Hipóteses t- Student - Fuligem</i>	82
<i>Tabela 5.8 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Fe (ppm)</i>	83
<i>Tabela 5.9 – Aplicação do Teste Hipóteses t-Student –Teor de Ferro – Fe (ppm)</i>	84
<i>Tabela 5.10 – Aplicação do Teste Hipóteses t-Student - Fe</i>	85
<i>Tabela 5.11 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Fe (ppm)</i>	85
<i>Tabela 5.12 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Na (ppm)</i>	86
<i>Tabela 5.13 – Intervalos de Manutenção (Marca) / Indisponibilização do Autocarro</i>	88
<i>Tabela 5.14 – Intervalos de Manutenção (Marca/fornecedores) / Custo da muda de óleos</i> ...	88
<i>Tabela 5.15 – Diminuição dos Intervalos / Indisponibilização do Autocarro</i>	88
<i>Tabela 5.16 – Diminuição dos Intervalos / Custo da muda de óleos</i>	89
<i>Tabela 5.17 – Aumento dos Intervalos / Indisponibilização do Autocarro</i>	89
<i>Tabela 5.18 – Aumento dos Intervalos / Custo da muda de óleos</i>	89
<i>Tabela 5.19 – RAU – Manutenção Preditiva – Autocarro X1</i>	90
<i>Tabela 5.20 – Renda Anual Uniforme – Manutenção Correctiva – Autocarro X1</i>	91
<i>Tabela 5.21 – Influência do MTTR na RAU</i>	94
<i>Tabela 5.22 - MTTR na RAU+ROI</i>	95
<i>Tabela 5.23 – Influência do MTTR=5 dias na RAU+ROI</i>	96
<i>Tabela 5.24 – Influência do MTTR=5 dias na RAU +> ROI</i>	97
<i>Tabela 5.25 – Disponibilidade versus MTTR</i>	101
<i>Tabela 5.26 – Disponibilidade versus Tipo de Manutenção/Indicadores</i>	102
<i>Tabela 5.27 – Disponibilidade versus Necessidade</i>	103
<i>Tabela 5.28 – MTTR versus Frota de Reserva</i>	104
<i>Tabela 5.29 – MTTR versus Frota de Reserva – Empresa em estudo</i>	106
<i>Tabela 5.30 – Frota de Autocarros versus Frota de Reserva</i>	108

<i>Tabela A.1 – Tabela de Caracterização dos Autocarros</i>	124
<i>Tabela A.2 – Tabela de Km/ano percorridos pelos Autocarros</i>	124
<i>Tabela A.3 – Tabela de Litros de Combustível consumidos/ano pelos Autocarros</i>	124
<i>Tabela A.4 – Tabela de Custos de Operação</i>	125
<i>Tabela A.5 – Tabela de Custos de Manutenção</i>	125
<i>Tabela A.6 – Intervalos e programação da manutenção preventiva sistemática</i>	125
<i>Tabela A.7 – Método linear de depreciação</i>	126
<i>Tabela A.8 – Método da soma dos dígitos</i>	127
<i>Tabela A.9 – Método exponencial</i>	128
<i>Tabela A.10 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Linear)</i>	129
<i>Tabela A.11 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Soma de Dígitos)</i>	129
<i>Tabela A.12 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Exponencial)</i>	130
<i>Tabela A.13 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro X1</i>	130
<i>Tabela A.14 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro X2</i>	131
<i>Tabela A.15 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro X3</i>	132
<i>Tabela A.16 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y1</i>	134
<i>Tabela A.17 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y2</i>	134
<i>Tabela A.18 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX1</i>	135
<i>Tabela A.19 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX2</i>	136
<i>Tabela A.20 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX3</i>	136
<i>Tabela A.21 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY1</i>	138
<i>Tabela A.22 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY2</i>	138
<i>Tabela A.23 – Minimização do Custo Médio Total – Método Linear</i>	140
<i>Tabela A.24 – Minimização do Custo Médio Total – Método Soma de Dígitos</i>	140
<i>Tabela A.25 – Minimização do Custo Médio Total – Método Exponencial</i>	140
<i>Tabela A.26 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X1</i>	141
<i>Tabela A.27 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X2</i>	142
<i>Tabela A.28 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X3</i>	143
<i>Tabela A.29 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro Y1</i>	145
<i>Tabela A.30 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro Y2</i>	146
<i>Tabela A.31 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XX1</i>	147
<i>Tabela A.32 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XX2</i>	147
<i>Tabela A.33 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XX3</i>	147
<i>Tabela A.34 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro YY1</i>	149
<i>Tabela A.35 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro YY2</i>	150
<i>Tabela A.36 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Linear de Depreciação</i>	152
<i>Tabela A.37 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Soma de Dígitos</i>	152
<i>Tabela A.38 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Exponencial</i>	153
<i>Tabela A.39 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X1</i>	153
<i>Tabela A.40 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X2</i>	154
<i>Tabela A.41 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X3</i>	155
<i>Tabela A.42 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro Y1</i>	156
<i>Tabela A.43 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro Y2</i>	157
<i>Tabela A.44 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XX1</i>	158
<i>Tabela A.45 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XX2</i>	159
<i>Tabela A.46 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XX3</i>	159
<i>Tabela A.47 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro YY1</i>	161
<i>Tabela A.48 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro YY2</i>	161

<i>Tabela A.49 – Método de Vida Útil - Autocarro X1</i>	163
<i>Tabela A.50 – Método de Vida Útil - Autocarro X2</i>	166
<i>Tabela A.51 – Método de Vida Útil - Autocarro X3</i>	168
<i>Tabela A.52 – Método de Vida Útil - Autocarro Y1</i>	169
<i>Tabela A.53 – Método de Vida Útil - Autocarro Y2</i>	172
<i>Tabela A.54 – Método de Vida Útil - Autocarro XX1</i>	174
<i>Tabela A.55 – Método de Vida Útil - Autocarro XX2</i>	176
<i>Tabela A.56 – Método de Vida Útil - Autocarro XX3</i>	178
<i>Tabela A.57 – Método de Vida Útil - Autocarro YY1</i>	180
<i>Tabela A.58 – Método de Vida Útil - Autocarro YY2</i>	181
<i>Tabela B.1 – Aplicação do alisamento exponencial</i>	195
<i>Tabela B.2 – Aplicação da distribuição t-Student para estimar a média</i>	196
<i>Tabela B.3 – Aplicação do teste hipóteses na distribuição t- Student</i>	197

SIMBOLOGIA E ACRÓNIMOS

Simbologia

C'_n – Variável auxiliar

C''_n – Variável auxiliar

CA – Valor de aquisição do Equipamento

CE – Custos de Exploração

CF – Cash Flow

CF_j – Cash Flow no ano $j= 1,2,3,\dots,n$

CM – Custos de Manutenção

CM_j – Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3,\dots,n$

CM^*_j – Custos de manutenção de um equipamento novo no ano $j= 1,2,3,\dots,n$

$C_n(MCMT)$ – Minimização do Custo Médio Total

$C_n(MCMT-RVP)$ – MCMT com Redução ao Valor Presente

CO – Custos de Operação

CO_j – Custos de operação no ano $j= 1,2,3,\dots,n$

D – Disponibilidade

d – Número de dias por ano

d_i – Quota anual de depreciação

FR – Frota de Reserva

i – Taxa de capitalização

i_A – Taxa aparente

IP – Intervalo médio entre passagens

j – Número de anos $j=1,2,3,\dots,n$

k – nº de dias do ano

l – Número de anos $l=1,2,3\dots n$

m – nº de autocarros da frota

n – Tamanho da amostra

N – Tempo de vida corresponde a VC_n

NV – Número de Veículos

RAU_n – Renda Anual Uniforme

S – Desvio padrão da amostra

S^2 – Variância amostral

S_t – Valor previsto para o período actual;

S_{t+1} – Previsão para o instante seguinte;

t – Número de intervalos considerados para o cálculo do MTTR

t – Student da tabela unilateral ou bilateral

T – Tempo de rotação

TBF_i – Time Between Failure

TS – Tempo suporte

TTR_i – Time To Repair

t_α – Valor da distribuição

$t_{\alpha/2}$ – Valor da distribuição

VC_n – Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo

V_n – Valor do equipamento, num período $n=1,2,3\dots n$

VO – Velocidade de operação

VPL_n – Valor Presente Líquido

W – Extensão da linha

WT – Tempo Médio de Espera

\bar{X} – Média da amostra

X_t – Valor real registado no período actual;

α – Parâmetro de alisamento.

θ – Taxa de inflação

μ_0 – Média da população

σ – Desvio padrão da População

ν – Grau de liberdade

Acrónimos

ABC – Activity-Based Costing

CAPEx – Despesas de capital

CBM – Condition Based Maintenance

EEO – Espectrómetro de Emissão Óptica

EHPDO – Extra High Performance Diesel Oil

FTA – Federal Transit Administration

KPI – Key Performance Indicators

LCC – Life Cycle Costing

LVO – Low Viscosity Oils

MIAFRA – Modelo Integrado de Avaliação de Frota de Reserva

MMCMT – Método da Minimização do Custo Médio Total

MMCMT-RVP – Método MCMT com Redução ao Valor Presente

MRAU – Método da Renda Anual Uniforme

MTBF – Mean Time Between Failure

MTTR – Mean Time To Repair

MTW – Mean Waiting Time

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OPEx – Despesas operacionais

PEN – Processo Estocástico Neuronal

PLP – Power Law Process

ROI – Return On Investment

ROR – Rate Of Return

SMTUC – Serviços Municipais de Transportes Urbanos de Coimbra

STCP – Serviços de Transportes Colectivos do Porto

SVM – Support Vector Machine

TAN – Total Acid Number

TBF – Time Between Failure

TBN – Total Base Number

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

TTR – Time To Repair

TUB – Transportes Urbanos de Braga

UHPDO – Ultra High Performance Diesel Oil

VAL – Valor Actual Líquido

VPL – Valor Presente Líquido

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A qualidade de vida das pessoas é frequentemente associada à possibilidade de terem acesso aos bens e serviços que desejam, tendo para tal, em princípio, necessidade de se deslocarem. A garantia da acessibilidade constitui o objectivo final da política de transporte de passageiros, sendo o transporte não um fim em si, mas um meio para se alcançar aquela, resultando que a respectiva procura de transporte seja uma procura derivada.

Na economia globalizada actual, a sobrevivência destas empresas ou, de forma mais geral, das organizações, depende da sua capacidade em inovar. Para tal, procuram incessantemente novas ferramentas que possam contribuir para a sua melhoria contínua.

Aos seus problemas tradicionais vieram juntar-se, agora, as economias de energia, a conservação do meio ambiente, a renovação ou substituição dos equipamentos, a fiabilidade, a manutibilidade, a eficácia, a optimização dos processos industriais, a sua própria qualidade e a valorização dos seus técnicos. Verifica-se uma importância crescente da manutenção como um dos vectores fundamentais da economia das empresas.

Os transportes públicos em geral e, em especial os autocarros urbanos de transporte de passageiros representam, para além do seu papel indispensável para uma parte significativa da população, uma importante alternativa à utilização do transporte individual. Por este motivo, é essencial apostar na qualidade do serviço prestado pela rede de transportes colectivos, de forma a torná-los atractivos para os seus utilizadores.

Na gestão de organizações do sector de transporte, factores, como a determinação do momento óptimo para a substituição de autocarros, apresentam reflexos tanto na eficiência da utilização de tais activos, como nos custos destas empresas.

É um facto que o processo de gestão de frotas não vem sendo entendido como um factor estratégico. No entanto, a maioria das empresas analisa esse factor isoladamente, não distinguindo os benefícios que uma gestão eficiente da frota pode acarretar no seu desempenho global, tais como, a melhoria na produção e a pontualidade nos serviços. Dentro da gestão de

frotas, destaca-se o problema da substituição de autocarros e a sua importância na gestão global da empresa de transporte. Saber o momento certo para a renovação da frota evitará gastos excessivos e eventuais prejuízos, podendo reflectir-se em todo o processo de administração da empresa.

Saber o momento ideal de substituição dos autocarros pode trazer, além de uma redução de custos, uma melhoria na prestação de serviços da empresa e, conseqüentemente, da satisfação dos utentes. É neste contexto que surge o objectivo geral desta dissertação, que é procurar dar contributos, através de uma metodologia integrada de avaliação do momento mais racional para substituir um autocarro de transporte urbano de passageiros com indexação à frota de reserva, tendo em consideração uma determinada política de manutenção, designadamente de condição com predição.

Todo o equipamento, ou activo físico, está sujeito a um processo de deterioração, especialmente se estiver em actividade ou funcionamento para o qual foi concebido. Para que a produtividade da empresa, constituída por uma diversidade enorme de activos físicos, tenha resultados positivos, é necessário que todos eles sejam mantidos nas melhores condições de funcionamento. Assim, todos esses equipamentos deverão ser alvo, ao longo da sua vida útil, de intervenções de manutenção, as quais incluem: substituição de peças e órgãos; mudanças de óleo; lubrificações; limpezas; pinturas; e correcções de defeitos resultantes, quer do seu fabrico quer da actividade que estiverem a realizar.

A manutenção, que tradicionalmente era reputada de tarefa secundária e dispendiosa, alvo de reduções financeiras fortes em tempo de crise ou em situações económicas difíceis, passou a ser considerada como factor determinante na economia das empresas, capaz de alterar radicalmente os índices de produtividade, a competitividade e o aumento de produção por colaborador. A gestão de activos físicos corresponde a uma vertente fundamental para esse objectivo. Garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos é um objectivo primordial de qualquer serviço de manutenção, e este facto é determinante para que as empresas consigam responder aos desafios concorrenciais em que estão envolvidas.

Neste sentido, nos dias de hoje, as empresas têm de preocupar-se com a gestão da manutenção dos seus equipamentos, a fim de garantirem a qualidade, quer dos produtos que produzem quer dos serviços que oferecem. Essa qualidade só poderá ser atingida se os equipamentos utilizados

estiverem nas melhores condições de funcionamento, de forma a produzirem dentro das especificações pretendidas pelos clientes.

Adicionalmente, e mais uma vez enfrentando a concorrência, as empresas têm de lutar pelos mais baixos custos de produção possíveis, mantendo a qualidade a que se propõem, de forma a conseguirem introduzir no mercado os seus produtos ou serviços a um preço competitivo. Uma boa prática de gestão da manutenção ajudará a empresa a manter os seus equipamentos com o mais elevado desempenho, conseguindo, assim, os mais altos índices produtivos. Uma manutenção deficiente nestes veículos poderá levar a avarias durante o transporte de passageiros, implicando a necessidade de a empresa recorrer a serviços de desempanagem e reboque, com evidentes perdas, quer ao nível da qualidade do serviço prestado quer ao nível económico.

A eficiente gestão da frota de uma empresa de transportes, especialmente em termos de manutenção e substituição de autocarros, figura entre os principais aspectos capazes de assegurar uma posição consolidada neste mercado. Em empresas do sector de transporte urbano, o uso eficiente dos activos está vinculado a uma política bem estruturada de avaliação e substituição da frota.

Sendo assim, na vertente financeira, o principal objectivo de uma empresa incide na criação de valor aos seus proprietários e gestores. Para a obtenção deste objectivo, os gestores precisam de ser capazes de planear, medir e controlar, de forma eficaz, as várias circunstâncias económicas que têm impacto na gestão da empresa e, por consequência, alteram o seu valor de mercado.

Neste sentido, a dissertação também avalia, sob o ponto de vista estritamente económico, no que concerne às variáveis exógenas, a influência do custo do dinheiro - nomeadamente no que respeita às taxas de inflação, ao custo do dinheiro, e aos custos associados aos combustíveis, cujos preços têm tido alterações consideráveis, positivas e negativas, ao longo dos anos - apresentando modelos de análise que permitam determinar a influência daquelas variáveis no tempo de cessão e na dimensão da frota de reserva.

Neste contexto, o valor do dinheiro está directamente ligado ao tempo, de forma que é correcto afirmar que quanto mais elevado for o tempo de posse de um activo físico, maior será a acção de agentes externos, ou ainda, as influências dos factores macroeconómicos em relação ao poder aquisitivo da moeda específica.

A inflação contida em qualquer sistema de economia capitalista é um factor determinante na relação entre o dinheiro e o tempo, pois determinada quantia em dinheiro no mês de Março de um ano não possui o mesmo valor aquisitivo no mês de Março do ano seguinte; existe a necessidade de se levar em consideração as taxas de inflação a que o capital está sujeito, no intervalo de tempo decorrido.

A variação dos preços do petróleo nos mercados internacionais influencia de forma decisiva os custos de transporte, pois, em praticamente todos os meios de transporte, o combustível gasto tem um preço directamente ligado ao preço do barril de crude. O preço do petróleo e, por consequência, o preço dos combustíveis, é muito variável e condicionado por vários factores externos a nível mundial. Logo, o custo de transporte pode variar bastante conforme os preços dos combustíveis.

Nesta dissertação procura-se relacionar o problema da substituição de autocarros com a eficiência da manutenção e com as políticas de manutenção estabelecidas e, também, integrar o problema no contexto de uma abordagem à gestão da frota de reserva.

Na modelação dos factores ou variáveis envolvidas no processo de decisão, nomeadamente os custos de operação e de manutenção, realça-se a análise aos custos de manutenção. Relativamente a estes, desenvolve-se um procedimento estruturado para avaliar a influência de uma política de manutenção condicionada/preditiva e no ciclo de vida dos autocarros. Ainda no contexto da modelação destes custos, desenvolvem-se dois outros procedimentos: a influência das políticas de manutenção no tempo mais racional para a substituição de autocarros; e a frota de reserva.

Considera-se frota de reserva o número de viaturas prontas a realizar o serviço para o qual são destinadas, isto é, as viaturas não estariam nem imobilizadas por avaria, nem em manutenção preventiva dando, deste modo, a possibilidade de executar manutenções preventivas às restantes viaturas, aumentando a disponibilidade e fiabilidade da frota operacional.

Nesta dissertação é ainda apresentada uma abordagem à influência da análise de óleos lubrificantes de motores Diesel no tempo de substituição de autocarros urbanos de passageiros. Trata-se de decidir sobre as oportunidades das intervenções nos equipamentos a partir do conhecimento do seu estado real, isto é, em vez de se realizarem os trabalhos de manutenção planeada em intervalos fixos, realizam-se com intervalos variáveis, determinados pela condição do equipamento.

As mudanças de óleos em intervalos variáveis implicam custos que também serão variáveis e, por conseguinte, serão repercutidos no Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost - LCC) e, em última instância, no tempo de substituição dos autocarros. É nesta perspectiva que a identificação do momento óptimo de substituição ou renovação total de um activo é um factor determinante na competitividade das organizações, através da redução de custos que daí pode advir, o que está indexado à política de manutenção utilizada.

A tese enfatiza ainda as relações entre alguns indicadores-chave de desempenho da manutenção, especificamente, o tempo médio de reparação (Mean Time To Repair - MTTR), o tempo médio entre falhas (Mean Time Between Failures - MTBF) e a disponibilidade (D), com o tempo mais racional para a substituição de equipamentos e para a dimensão da frota de reserva.

A fim de medir o seu desempenho, a maioria das organizações modernas formula e avalia os seus indicadores de desempenho como, por exemplo, a disponibilidade, o custo da manutenção e o retorno do investimento (Return On Investment - ROI), que são considerados indicadores representativos para o suporte à decisão nas organizações. No caso da manutenção, os indicadores de desempenho são identificados com base nos objectivos definidos e, efectivamente, são utilizados para garantir que os resultados estejam em conformidade com os requisitos de desempenho da produção, ou seja, os indicadores são elementos-chave, importantes na gestão da manutenção. Desta forma, nesta dissertação é também demonstrada a importância da utilização destes indicadores de desempenho na decisão do momento mais racional de substituição do equipamento e na optimização da dimensão da frota de reserva.

Para que haja um controlo efectivo e uma monitorização eficaz, é indispensável utilizar os indicadores de desempenho e económicos para que as decisões dos gestores sejam bem suportadas e, por fim, obter-se uma gestão eficaz da frota, incluindo a de reserva.

Seguidamente, define-se a estrutura da tese, elencando cada capítulo e descrevendo resumidamente o seu conteúdo, de forma a dar uma visão global dos temas neles abordados.

1.2. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Este capítulo apresenta uma introdução e contextualização da dissertação. Engloba-se também a estrutura do documento com o objectivo de dar uma visão global da dissertação.

Capítulo 2 – Neste capítulo apresenta-se o estado da arte dos conceitos da gestão de activos, substituição de equipamentos, manutenção, transportes e frota de reserva, bem como dos indicadores de desempenho das vertentes tratadas na presente dissertação.

Capítulo 3 – O capítulo expõe uma abordagem aos vários modelos econométricos e de vida útil de substituição de equipamentos, bem como dos modelos matemáticos utilizados, nomeadamente sobre a substituição de equipamentos, a manutenção condicionada/preditiva, os indicadores de desempenho, e a frota de reserva.

Capítulo 4 – Na sequência do capítulo anterior são validados os modelos aí apresentados, designadamente numa empresa de transporte público de passageiros, onde se pode avaliar as grandes diferenças relativamente à gestão de manutenção levada a efeito. Este capítulo apresenta também um estudo sobre a influência de diversas variáveis na determinação do momento considerado mais racional para a substituição de um autocarro de passageiros que, quando enquadrado numa frota, reporta a variáveis económicas endógenas e exógenas.

Capítulo 5 – Neste capítulo é demonstrada a relação entre as abordagens precedentes e a dimensão da frota de reserva no sector do transporte urbano de passageiros. É nesta perspectiva que a dissertação demonstra a relação entre as políticas de manutenção e a frota de reserva, através dos modelos econométricos utilizados. Este capítulo também apresenta o modelo integrado que permite dimensionar a frota de reserva, tendo em consideração os indicadores de manutenção.

Capítulo 6 – Neste capítulo são apresentadas as conclusões e uma breve discussão dos resultados, bem como enunciados os principais contributos aduzidos nesta dissertação.

Capítulo 7 – Finalmente, são apresentados futuros desenvolvimentos que derivam da presente tese; o capítulo termina com uma perspectiva sobre os impactos decorrentes destes modelos a nível das organizações.

CAPÍTULO 2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta o estado da arte relativo ao tema subjacente à presente dissertação, iniciando-se com uma descrição sintética da evolução da manutenção, do seu conceito e da sua gestão ao longo do tempo.

De acordo com a NP EN 13306:2007, Manutenção é a “Combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida”.

O termo “manutenção” tem a sua origem remota no vocabulário militar com o sentido de “manter, nas unidades de combate, os efectivos e o material num nível constante”.

Segundo Farinha (2011), a mecanização associada à Revolução Industrial do Século XIX fez sobressair a necessidade de reparar regularmente às máquinas; contudo, essas intervenções eram deixadas a cargo dos próprios operadores. Só a partir da 1ª Guerra Mundial a indústria foi pressionada a atingir padrões mínimos de produção, levando à constituição de equipas especializadas para reparar as avarias no menor tempo possível. Essas equipas, porém, limitavam-se a fazer manutenção correctiva, permanecendo na dependência da produção.

A manutenção não planeada corresponde a uma política em que as intervenções procuram recuperar o equipamento para que este atinja o estado normal de funcionamento, após a ocorrência da falha.

A manutenção não planeada constitui a forma mais simples e mais primária de intervenção, sendo uma opção de gestão, normalmente muito dispendiosa, quando avaliada economicamente do ponto de vista de funcionamento do sistema e que tem como consequências (Grall *et al.* 2001):

- Uma baixa utilização e a diminuição da vida útil dos equipamentos repercutindo-se, conseqüentemente, na produtividade dos meios de produção, independentemente de se tratar de produtos ou serviços;
- A paragem para manutenção em instantes aleatórios, e muitas vezes inoportunos, com custos indirectos muito elevados.

Nos anos 30 do século XX, a produção em massa nos países industrializados e a conjuntura internacional que antecedeu a 2ª Guerra Mundial, forçavam a produzir cada vez mais. As empresas começaram então a preocupar-se, não só em corrigir as falhas, mas também em evitar o seu aparecimento, o que alargou o âmbito da manutenção que passou a actuar também na prevenção de anomalias.

Na manutenção planeada sistemática, as intervenções obedecem a um programa que se destina a ser executado periodicamente, sendo os intervalos medidos numa determinada unidade de tempo ou noutro parâmetro de uso que traduza o funcionamento do equipamento, também designado por “manutenção preventiva sistemática.

A manutenção planeada sistemática ou manutenção planeada preventiva consiste numa metodologia de prevenção de defeitos que sejam susceptíveis de originar a paragem ou o baixo desempenho dos equipamentos ou sistemas de produção (Clifton 1985). Está associada a sistemas de gestão da manutenção tradicionais, actualmente com suporte em meios informáticos. Não evitam a ocorrência de falhas, mas permitem encurtar os tempos de paragem. Habitualmente, esta prevenção é desenvolvida com base em estudos estatísticos, estado do equipamento, local ou condições de exploração e dados fornecidos pelo fabricante (condições óptimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, etc.). Os índices habitualmente extraídos da base de dados são o MTBF e o MTTR (Ferreira 1998). Embora os processos de degradação dos equipamentos sejam diferentes de caso para caso, e as próprias causas das falhas também sejam diferentes, estes índices são especialmente úteis, nomeadamente em situações onde é reduzido o desvio padrão dos tempos entre ocorrências. Entre as vantagens que estão associadas a este perfil de manutenção, podem enumerar-se as seguintes:

- Diminuição do número total de intervenções correctivas reduzindo, conseqüentemente, os custos que lhes estão associados;
- Forte redução do número de avarias ocorridas em momentos inoportunos, como, por exemplo, períodos nocturnos, fins-de-semana e períodos críticos de produção;
- Aumento significativo dos rácios de utilização / disponibilidade.

A expansão da aviação comercial, a partir dos anos 40, trouxe novos desafios à manutenção. Por um lado, obrigou a desenvolver métodos preventivos, já que a reparação de avarias durante o voo raramente é possível e, por outro, acentuou o problema da segurança de pessoas e bens.

O advento dos computadores fez com que muitas empresas implementassem estratégias de manutenção preventiva sistemática. Esta aproximação, ainda hoje dominante, utiliza tipicamente programas de planeamento da manutenção para controlar as actividades de manutenção baseadas em calendário para despoletar as ordens de trabalho de forma automática.

Para Cabral (2006), a designação de manutenção condicionada surgiu nos anos 70-80 para designar uma nova abordagem à manutenção preventiva, baseada no conhecimento do estado real das máquinas, a partir da implementação de um sistema de controlo da condição.

Trata-se de decidir as oportunidades das intervenções nos equipamentos a partir do conhecimento do seu estado real, isto é, em vez de se realizarem os trabalhos de manutenção planeada a intervalos fixos, como se verifica na manutenção sistemática, realizam-se a intervalos variáveis, determinados pelo estado do equipamento. A manutenção condicionada incide, assim, sobre os equipamentos considerados individualmente, substituindo revisões a intervalos fixos por inspecções a intervalos fixos. As vantagens económicas da manutenção condicionada surgem a partir de ganhos por redução de perdas de produção, devido ao incremento da disponibilidade dos equipamentos e ganhos por redução de custos de manutenção. Contudo, esta metodologia precisa ser equacionada tendo em consideração os custos adicionais da recolha de dados, quer de forma manual quer automática.

Existe uma série de técnicas de controlo da condição das máquinas e equipamentos com aplicação na manutenção, de que se destacam: análise de vibrações; termografia; análise de parâmetros de rendimento; inspecção visual; medições ultrassónicas; e análise de lubrificantes de serviço.

Em meados dos anos 80, os avanços tecnológicos na instrumentação e o surgimento do computador pessoal possibilitaram a capacidade de prever os problemas nas máquinas medindo a sua condição através de sensores de vibrações, temperatura e ultra-sons. Esta tecnologia é frequentemente referida como manutenção de condição com predição. Outra estratégia de manutenção mais avançada designada por Manutenção Proactiva permite prolongar os ciclos de avaria das máquinas através da remoção sistemática das fontes de falha.

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), um dos principais objectivos da gestão da manutenção moderna é maximizar a disponibilidade dos equipamentos, ao mesmo tempo que baixa o custo e eleva a qualidade, mantendo a segurança e preservando o meio ambiente.

Por volta do ano 2000, os processos industriais ganharam novos desafios de produtividade e de qualidade com a tendência da globalização da economia. O grande investimento nos activos fixos, juntamente com o aumento nos custos, inicia-se com um processo de elevadas expectativas em relação à manutenção. Tais expectativas encontram-se nas funções e resultados da manutenção, nas novas interpretações dos processos de falhas de equipamentos e nas novas técnicas de análise e implementação da manutenção, criando assim alternativas que possam maximizar a vida útil dos activos físicos.

A partir de 2000 a manutenção insere-se nos sistemas integrados de gestão tendo em consideração a melhoria da manutibilidade e engenharia da manutenção, usando tecnologia avançada de sistemas interligados, investimentos otimizados, e produtos inteligentes.

Conforme Moubray (2000), a manutenção tem evoluído mais do que outras funções de gestão, devido ao aumento do número, da complexidade e da diversidade de instalações, equipamentos e sistemas produtivos.

Se antes o objectivo da manutenção era de restaurar as condições originais de um determinado equipamento ou sistema, segundo Kardec e Carvalho (2002), actualmente a manutenção garante a disponibilidade de funcionamento dos equipamentos e sistemas de maneira a atender ao processo produtivo a um custo adequado, com segurança, fiabilidade e preservação do meio ambiente.

A visão apresentada por Farinha (2011), na qual refere que “com a evolução dos vários conceitos de manutenção, e com o desenvolvimento de novas abordagens e metodologias aplicadas a outras vertentes de gestão, designadamente na área da qualidade e da produção, a actividade manutenção passou a entrosar-se, a incluir e a adequar esses novos conceitos”, sendo de elevada importância para as organizações.

Para Simões (2011), muitos anos decorridos após o aparecimento do primeiro sistema de informação para gestão da manutenção, permanecem por resolver alguns problemas básicos, agora com novas fronteiras. O conceito começou na simples manutenção, passou através da terotecnologia (Husband 1988), da manutenção produtiva total, da terologia (Farinha 1997), até

chegar à manutenção centrada na fiabilidade (Moubray 2004). A terologia é definida como a utilização combinada de técnicas de investigação operacional, de gestão de informação e de engenharia, com o objectivo de acompanhar o ciclo de vida dos equipamentos. Inclui a definição das especificações referentes à sua aquisição, instalação e recepção, assim como à gestão e ao controlo da sua manutenção, modificação e substituição e, ainda, o seu acompanhamento em serviço.

A manutenção dos autocarros de transporte de passageiros é uma actividade estratégica para a garantia do cumprimento do seu ciclo de vida, o que implica combinar acções de gestão, técnicas e económicas, no sentido de obter uma elevada disponibilidade a custos racionais, (Aoudia e Belmokhtar 2008), (Assis 2010), (Assis e Julião 2009), (Bescherer 2005) (Lindholm and Suomala 2004) e (Korpi and Ala-Risku 2008).

Aoudia e Belmokhtar (2008) referem que a má gestão da manutenção contribui para um custo financeiro significativo. A base teórica deste assunto mostra que o LCC de um activo representa a soma de todo o capital despendido para suportar o activo, desde o projecto e fabrico, através da operação até ao final da sua vida útil ($CAPEx + OPEx - Despesas\ de\ capital + Despesas\ operacionais$), (Assis e Julião 2009).

O custo do ciclo de vida de um activo corresponde à soma de todos os capitais despendidos no suporte desse activo desde a sua concepção e fabricação, passando pela operação até ao fim da sua vida útil, (Assis 2010).

O custo do ciclo de vida de um Activo (LCC) pode ser significativamente superior ao valor do investimento inicial e, em muitos casos, é definido logo na fase de projecto (Assis e Julião 2009).

Bescherer (2005) vai mais longe e reforça essa ideia, ressaltando que 70 a 90% desses custos de LCC totais são definidos na fase de projecto e fabrico.

Os custos iniciais de investimento, usualmente, são os mais utilizados como critério primário e, às vezes, o único na decisão de compra. Apesar dos óbvios benefícios a longo prazo da análise do LCC, a sua adopção tem sido relativamente lenta. Possíveis motivos para isso incluem a falta de directrizes padrão ou formais e a ausência de dados anteriores fiáveis. A quantidade de estudos de casos cruzados no campo do custeio do ciclo de vida é extremamente baixa e a maioria deles está limitada a uma indústria única (Lindholm e Suomala 2004).

Korpi e Ala-Risku (2008) fornecem uma visão geral do uso do LCC e da sua viabilidade de implementação, através de um resumo dos trabalhos e da sua aplicação.

A análise do custo do ciclo de vida é uma previsão do futuro e, como tal, geralmente são usados diferentes métodos para fazer as estimativas de custo, tais como, o Activity-Based Costing (ABC), (Durairaj *et al.* 2002), (Emblemsvag 2001).

Para apoiar a análise de custo de ciclo de vida existem normas e documentos afins, tais como, as referidas em (ASTM International 2002), as PAS 55:2008, e as ISO5500X. As normas sobre gestão de activos que sucederam às PAS 55, (PAS 55:2008), isto é, as ISO 5500X (ISO 55000:2014, ISO55001:2014 e ISO55002:2014), são boas fontes enquanto linhas orientadoras para a gestão de activos, podendo ser aplicadas em qualquer sector.

Assis (2010) ilustra como, ao longo do ciclo de vida de um equipamento, o domínio dos conceitos e de algumas ferramentas de cálculo financeiro se tornam imprescindíveis para os gestores de manutenção e das organizações.

Porém, continua pouco desenvolvido o estudo sistematizado nesta área, havendo a necessidade de aplicar e criar novos modelos de gestão de equipamentos que possam trazer mais-valias às empresas, no sentido de melhorar a sua produtividade e qualidade de serviço, tendo em consideração a vertente da sustentabilidade ambiental, incluindo as normas de gestão de qualidade, ambiente, segurança, manutenção e energia, (Farinha 2011). Constata-se ainda que muitas empresas mantêm equipamentos em funcionamento, mesmo quando a sua operação já não é economicamente viável, porque não acompanham o seu ciclo económico, (Farinha 2011), o que tem implicações exógenas, designadamente na dimensão da frota de reserva, no caso das frotas de autocarros.

Segundo William *et al.* (2002), os sistemas de produção tradicionais são construídos sobre o princípio da economia de escala. Este autor ilustra ainda um problema de substituição de equipamentos, num contexto de *Lean Thinking*.

Jennifer e Joseph (2005) referem a mudança tecnológica como motivadora para a substituição de equipamentos. Nas referências científicas encontra-se comumente assumido que a tecnologia se desenvolve continuamente de acordo com uma função bem definida.

Natali e Yuri (2007) demonstram que, combinando modelos contínuos e discretos no tempo, o período de substituição do equipamento é menor quando a tecnologia incorporada é maior.

De acordo com Assaf (2005), “a avaliação de um activo é estabelecida pelos benefícios futuros esperados dos fluxos de caixa referidos ao valor presente, mediante uma taxa de desconto que reflecta o risco da decisão”. Por consequência, os métodos que consideram o valor do dinheiro no tempo são os mais indicados.

De acordo com Casarotto (2000), o método do Custo Anual Uniforme Equivalente é adequado nas análises das actividades operacionais da empresa, com investimentos que se possam repetir. Para além disso, a padronização dos resultados dos investimentos para valores anuais equivalentes faz com que a análise desses resultados facilite a tomada de decisão. A utilização deste método tem como objectivo determinar em que ano ocorre o menor custo anual equivalente, o que indica o melhor período de substituição do activo técnico (Casarotto, 2000).

O cálculo do custo anual equivalente é decorrente da utilização do Factor de Recuperação do Capital e é através dele que se podem comparar duas ou mais oportunidades de investimento e determinar qual o momento ideal para a substituição do equipamento, levando em consideração informações, tais como: valor do investimento ou de aquisição; valor de revenda ou valor residual ao final de cada ano; custos operacionais e custo de capital ou a taxa mínima atractiva (Vey e Rosa 2004).

O problema da determinação da vida económica de equipamentos para efeito de substituição visualiza-se em quatro tipos de situações (Motta *et al.* 2002):

- i. Quando o bem já se encontra inadequado para a actividade;
- ii. Quando o bem já atingiu o seu limite de vida útil;
- iii. Quando o bem já se encontra obsoleto, devido ao avanço tecnológico;
- iv. Quando métodos mais eficientes mostrarem ser mais económicos.

Em determinado momento do ciclo de vida do activo importa avaliar se interessa mantê-lo em funcionamento ou substituí-lo. Para o efeito, é preciso atender aos aspectos seguintes (Farinha 2011):

- i. Disponibilidade de novas tecnologias;
- ii. Cumprimento de normas de segurança ou outras obrigatórias;
- iii. Disponibilidade de peças-de-reserva;
- iv. Obsolescência que possa limitar a sua utilização.

Depois de elencados os aspectos relativos ao último ponto do ciclo de vida dos equipamentos, importa caracterizar alguns métodos de cálculo para determinação da altura adequada à sua substituição. Para o efeito, é necessário ter em consideração diversas variáveis, tais como: valor de aquisição; valor de cessão; custos de exploração; custos de manutenção; custos de funcionamento; taxa de inflação; e taxa de capitalização.

Os valores da maioria das variáveis precedentes são obtidos através do histórico, à excepção do valor de cessão. Neste caso, terá que se obter o valor de mercado para cada equipamento concreto, o que se poderá revelar difícil para muitos bens. Como alternativa, podem simular-se vários tipos de desvalorização, tais como os seguintes (Oliveira 1982) (Farinha 2011):

- Método linear de depreciação – o decaimento do valor do equipamento é constante ao longo dos anos;
- Método da soma dos dígitos – a desvalorização anual é não linear;
- Método exponencial – a carga anual de depreciação é decrescente ao longo da vida do equipamento.

Outro método usualmente utilizado é o da “vida útil” que define que esta termina quando os seus custos de manutenção ultrapassam os custos de manutenção mais os de amortização do capital de um equipamento novo equivalente. Segundo Farinha (2011) existem diversos métodos para a determinação do ciclo económico de substituição de equipamentos. Os mais comuns são os seguintes:

- Método da Renda Anual Uniforme (MRAU);
- Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT);
- Método MCMT com redução do valor presente (MCMT-RVP).

Feldens *et al.* (2010) ilustram o uso eficiente dos activos fixos como um dos principais objectivos na gestão de empresas do sector de transporte urbano de passageiros.

Em empresas do sector dos transportes rodoviários, o uso eficiente dos activos está vinculado a uma política bem estruturada de avaliação e substituição da frota. Alguns casos de substituição da frota aplicados ao segmento de autocarros urbanos são reportados em (Pinar e Hartman 2004), (Khasnabis *et al.* 2002), (Di e Hauke 2000), (Scarf e Bouamra 1999), (Francis *et al.* 2000), (Beichelt 2001), (Zohrul 1996) (Wijaya *et al.* 2012) e (Raposo *et al.* 2014).

Beichelt (2001) propõe uma política para intervalos óptimos de substituição de programação de sistemas técnicos apenas com base no parâmetro de custo de manutenção: um sistema é substituído por um novo assim que o custo de manutenção dentro de um ciclo de substituição atingir ou exceder um determinado nível.

Francis *et al.* (2000) estudaram e descrevem uma aplicação industrial de um Processo de Lei de Energia (PLP - Power Law Process) para falhas de motores de autocarros e um modelo teórico de substituição.

Pinar e Hartman (2004) adoptaram um modelo para um problema de substituição da frota de trânsito com vários tipos de autocarros. No entanto, muitos custos foram altamente simplificadas ou não foram baseados em dados reais, e a variabilidade nas características dos veículos, nas utilizações e nas flutuações do mercado não foram estudadas. O custo de substituir, refabricar e reabilitar um autocarro tem sido um foco de pesquisa por (Khasnabis *et al.* 2002), bem como a alocação óptima proposta pela Federal Transit Administration (FTA). Outras linhas de investigação concentraram-se nas análises estatísticas dos dados da frota e nas relações entre idade, utilização e custos, (Di e Hauke 2000).

Raposo *et al.* (2014) apresentam uma nova abordagem aos modelos económicos para a determinação do tempo mais adequado para a substituição de autocarros numa frota urbana de uma empresa. O estudo apresentado permite a avaliação do ciclo de vida do equipamento pelos gestores e, obviamente, é uma ferramenta de suporte à decisão. Foi demonstrado no estudo que existe uma variação do momento ideal para a substituição de um veículo de uma frota, dada pelas análises realizadas pelo modelo da Renda Anual Uniforme.

Uma solução numérica é proposta e ilustrada por Scarf e Bouamra (1999), usando dados de uma determinada frota. Os autores consideraram um modelo de substituição de dois ciclos, com variáveis de decisão baseadas na idade de substituição da frota actual, onde é considerado o tamanho da nova frota. Os valores óptimos para as variáveis de decisão podem ser encontrados através da minimização do custo total descontado por unidade de tempo ou o valor da renda equivalente.

Muitos estudos consideram os parâmetros de fiabilidade e os custos de manutenção para ajudar a avaliar as decisões de substituição mais racionais como, por exemplo: (Zohrul e Kabir 1996), (Wijaya *et al.* 2012), (Raposo *et al.* 2014) e (Raposo *et al.* 2017).

Campos *et al.* (2010) apresentam uma proposta de um modelo genérico de processo estocástico baseado em redes neuronais, denominado Processo Estocástico Neuronal (PEN), que pode ser aplicado a problemas, envolvendo fenómenos de comportamento estocástico e ou com características periódicas. Através das redes neuronais PEN modela-se o comportamento da série histórica desses fenómenos sem necessitar de informações *a priori* sobre a série, gerando-se séries temporais sintéticas, igualmente adaptáveis à série histórica. Alguns casos de utilização de redes neuronais e de modelos estocásticos são reportados em (Campos *et al.* 2010), (Amaya *et al.* 2007), (Figueiredo 2009), (Zhao 2009), (Luna *et al.* 2006), (Müller 2007), (Marco *et al.* 2010), (Araujo e Bezerra 2004), (Huang *et al.* 2008), (Vujanovic *et al.* 2012) e (Gurney 1997).

Existem outras ferramentas que podem vir a contribuir para o desenvolvimento de um novo modelo de optimização de substituição de veículos, tais como, Lógica Fuzzy e o Support Vector Machine (SVM): (Tsoukalas e Uhrig 1996), (Yager e Zadeh 1992), (Campello e Amaral 2001), (Couellan *et al.* 2015), (Chena *et al.* 2015) e (Pooyan *et al.* 2015).

Relativamente à manutenção preditiva, e especificamente à análise de óleos, foram utilizados alguns modelos matemáticos e conceitos, sendo estes referenciados pelos seguintes autores: (Seabra e Graça 1996), (Makridakis *et al.* 1998), (Mobley 2002), (Brown 2003), (Cabral 2006), (André 2008), (Farinha 2011), (Raposo *et al.* 2013), (Macia *et al.* 2013), (Macia *et al.* 2014) e (Macia *et al.* 2015).

Jorge André (2008) justifica a utilidade e a necessidade da matemática em engenharia, analisando as principais cadeiras de matemática dos cursos de engenharia, reflectindo sobre a ligação, real ou desejável, existente entre as cadeiras de matemática e de engenharia. Por fim aponta o interesse em realizar análises estatísticas e detalha essas análises com alguns exemplos.

A manutenção preditiva é, muitas vezes, denominada por monitorização da condição ou manutenção baseada na condição, isto é, avalia o estado real dos equipamentos com recurso a equipamentos específicos, tendo por objectivo ajustar o planeamento da manutenção preventiva, detectar precocemente possíveis falhas, evitar o surgimento de problemas complexos, e proporcionar a tomada de decisões com base em dados reais.

A norma NP EN 13306:2007 define manutenção preditiva como "manutenção condicionada efectuada de acordo com as previsões extrapoladas da análise e da avaliação de parâmetros significativos de degradação do equipamento".

Mobley (2002) define manutenção preditiva como uma regular monitorização do actual estado das condições mecânicas, eficiência de operação, e outros indicadores, de forma a proporcionar dados que assegurem o máximo intervalo entre reparações e que minimizem o número e custo das paragens não agendadas.

Brown (2003) apresenta a manutenção preditiva como uma abordagem que compara a tendência das medições dos parâmetros físicos analisados (vibração, pressão, corrente, temperatura,...) com os limites estabelecidos para esses parâmetros, de forma a detectar, analisar e corrigir problemas antes que levem à falha dos equipamentos.

Segundo Lima e Sales (2008) a adopção da manutenção preditiva detalha os itens físicos para controlo e manutenção da qualidade do produto final que é gerado no equipamento. Já Souza (2011) define que manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam sobre os seus desgastes ou processo de degradação.

Segundo Otani e Machado (2008), manutenção preditiva corresponde às intervenções que permitem garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção correctiva.

Estes pontos de vista e estas definições de manutenção preditiva referidas anteriormente reforçam a importância deste tipo de manutenção nos ciclos de vida dos equipamentos, permitindo, deste modo, um melhor acompanhamento e uma melhor gestão dos equipamentos.

Em relação às análises de óleos, Macián *et al.* (2015) mostram os resultados de um teste de uma frota, cujo principal objectivo era medir a influência dos óleos de baixa viscosidade (LVO – Low Viscosity Oils) sobre o consumo de combustível e as emissões de CO₂ de autocarros urbanos. Para realizar este teste utilizaram 39 autocarros urbanos, classificados em grupos conforme a viscosidade do óleo do motor que utilizam; neste estudo as viaturas percorreram 60.000 km, que correspondem a dois intervalos de muda de óleos. Estes autores têm vindo, ao longo dos anos, a publicar artigos sobre esta temática, baseados em frotas de autocarros.

Raposo e Farinha (2013) apresentam um estudo referente a óleos dos motores de autocarros urbanos, no qual se faz o acompanhamento da evolução da sua degradação, com o objectivo de avaliar o potencial impacto de uma política de manutenção condicionada/preditiva em empresas

gestoras de frotas de autocarros urbanos. Através das análises obtidas nos lubrificantes em serviço, podem colher-se informações preciosas sobre as condições de funcionamento dos motores, as quais são indispensáveis para a optimização do seu funcionamento. Com base nessas informações pode avaliar-se o estado da condição dos motores, determinar o momento mais adequado para a sua substituição e, adicionalmente, obter o diagnóstico do estado do equipamento e da sua evolução. Neste estudo foram determinados os intervalos de tempo correspondentes a um nível requerido de fiabilidade obtendo, conseqüentemente, intervalos mais adequados para as intervenções de manutenção planeada. Com este acompanhamento da degradação dos óleos lubrificantes incrementa-se ainda a segurança do funcionamento dos autocarros, reduzem-se os custos e melhora-se a eficiência energética. No estudo da influência de uma política de manutenção condicionada/preditiva na frota de reserva foram utilizados os KPI considerados mais indicados para esse efeito

Em Cabrita e Cardoso (2013) pode ler-se: “o termo utilizado para os indicadores de performance da manutenção numa Indústria é o acrónimo KPI”. Os KPI podem medir diferentes desempenhos, abrangendo desde o tempo de avaria dos equipamentos até ao processo produtivo. Actualmente, os programas de *software* instalados em muitas empresas podem oferecer algumas dezenas de KPI, mas é preciso ter atenção aos que realmente agregam valor. Neste sentido, importa seleccionar os mais apropriados para alcançar os objectivos pretendidos.

Segundo Cabrita e Cardoso (2013), a norma NP EN 15341:2009, “Manutenção - Indicadores de Desempenho da Manutenção (KPI)”, na sua introdução, “...estabelece os indicadores de desempenho da manutenção, para apoio da gestão de forma a atingir a excelência da manutenção e a utilização dos bens imobilizados de uma maneira competitiva. A maioria destes indicadores aplica-se a todas as instalações industriais e serviços (equipamentos, edifícios, infraestruturas, transporte, entre outros)”.

Relativamente aos indicadores de desempenho da manutenção que são utilizados para medir e avaliar a gestão dos equipamentos e da manutenção, referem-se os seguintes autores: (Ferreira 1998), (Martorell *et al.* 1999), (Ferreira e Silva 2002), (Wireman 2005), (Weber e Thomas 2005), (Kumar 2006), (Parida 2007), (Visser e Kotze 2010) Muchiri *et al.* 2011), (Stenström *et al.* 2013), (Kumar *et al.* 2013) e (Mutingi *et al.* 2016).

A definição de um indicador deve compreender, pelo menos, as seguintes características: nome, tipo (económico, técnico, organizacional, etc.), definição precisa e dados necessários ao seu

cálculo. Por definição, refere-se a fórmula matemática que relaciona o nome do indicador com os dados necessários ao seu cálculo. Os indicadores de manutenção devem ser avaliados para os objectos em análise, num dado intervalo de tempo, podendo a análise dos resultados focar-se nos valores absolutos desse indicador ou na tendência que ele demonstra (Martorell *et. al.* 1999).

Juntamente com a definição dos indicadores, deve ser estabelecida uma hierarquia para os mesmos.

Utilizados correctamente, os indicadores de desempenho devem realçar oportunidades de melhoria nas empresas e ser, posteriormente, objecto de análises mais profundas para descobrir a razão de ser do seu valor. Podem mesmo apontar directamente à solução do problema (Wireman 2005).

Ao contrário do caso de outras funções, como a produção, a medição do desempenho da manutenção ainda se encontra muito incipiente. Muitas ferramentas e técnicas foram desenvolvidas e aplicadas noutros campos e áreas, mas a aplicação dessas ferramentas à função manutenção ainda precisa ser incrementada, apesar da sua correcta utilização poder ajudar a uma gestão mais eficiente da manutenção, dado o seu grande crescimento técnico e complexidade tecnológica (Parida e Chattopadhyay 2007).

Para saber o que medir é necessário esquematizar todo o processo de manutenção dentro da organização e todas as suas inter-relações. É essencial perceber todo o processo em detalhe, antes de iniciar qualquer estudo para o desenvolvimento de um sistema de medição de desempenho da manutenção em organizações com alguma complexidade, para que essa implementação se consiga fazer com a menor dificuldade possível (Parida e Kumar 2006). Não é demais voltar a referir que a taxa de insucesso na implementação destes sistemas é muito elevada (70%) (Bourne *et. al.* 2002) e (Bourne 2005), dentro das poucas tentativas de implementação que são tentadas.

O objectivo fundamental dos gestores é maximizar o lucro das organizações e, para o conseguir, a contribuição da manutenção é cada vez mais importante. Assim, é necessária uma abordagem diferente para consciencializar a gestão de topo da necessidade de estar envolvida no processo de melhoria da manutenção (Aoudia *et al.* 2008).

Um sistema de gestão do desempenho actua como um sistema de alerta rápido (Parida e Kumar 2006) e pode promover um sistema de gestão para a manutenção do conhecimento dentro da empresa, que é certamente uma das principais preocupações da gestão de topo.

À medida que a subjectividade cresce, com a integração crescente da informação em indicadores de mais alto nível (Kumar, 2006), deve ter-se muito cuidado na elaboração dos relatórios executivos. O suporte activo da gestão de topo ao sistema de medição de desempenho da manutenção é conseguido utilizando informação útil e exacta no momento certo.

Também as já referidas questões ambientais, de segurança e de saúde, com a enorme carga legislativa que têm, atribui aos gestores de manutenção uma responsabilidade única na gestão do risco das instalações, pois as acções ou omissões da manutenção contribuem para o nível de risco a que a organização, os seus trabalhadores e as comunidades vizinhas estão expostos (Mather 2005), sendo matérias de seguimento atento pela gestão de topo, pelas suas consequências directas.

Na perspectiva do gestor da manutenção, os recursos têm custos, são finitos e, normalmente abaixo do nível que deveriam ter, e é por isso que têm de ser aplicados onde, de facto, são importantes. O grau de importância de cada máquina, operação ou processo deve estar claro a todos os níveis: operacional; controlo; e de gestão; e deve derivar da estratégia da empresa.

As paragens de produção, avarias, falhas de energia, falta de mão-de-obra, ruptura de materiais em stock, pedidos de intervenção e outras, afectam a produção fazendo com que o processo de planeamento da manutenção seja dinâmico. As limitadas capacidades existentes têm de ser partilhadas por todos os sistemas que delas necessitam a toda a hora e esta competição pode resultar em tempos de espera para alguns desses sistemas. A manutenção tem que atingir os seus objectivos definidos através dos objectivos da produção e, simultaneamente, gerir os constrangimentos operacionais com a produção (Gits 1994).

A medição de desempenho ajuda a mostrar e a decidir de entre os *trade-off* existentes em todos os aspectos do desempenho. Nem todos os indicadores de desempenho terão importância igual para todas as operações e terão uma relação de ganhos e perdas ou outros (Slack e Lewis 2008).

A tendência na utilização de sistemas de medição de desempenho em manutenção mostra que os sistemas mais complexos estão a ser abandonados a favor dos modelos mais simples. Demonstra, também, que o uso dos sistemas padrão de gestão são um caminho para a não

implementação desses sistemas, pois é necessário um grande conhecimento do processo de manutenção em causa bem como do seu posicionamento estratégico em cada organização (Kumar 2006).

Para que a implementação de um sistema seja bem-sucedida é imperativo obter apoio da gestão de topo, que só existirá quando lhe for mostrada a importância da manutenção.

Com a selecção de indicadores de desempenho apropriados a cada área, é possível detectar desvios em estádios iniciais, identificando as origens desses desvios, e conseguir assim resoluções de problemas e melhorias contínuas mais económicas (Alsyouf 2006).

Apresentam-se, de seguida, alguns exemplos de indicadores que podem ser usados na gestão da manutenção de algumas organizações:

- Indicadores de actividade
 - Número de intervenções por tipo de manutenção;
 - Grau de cumprimento dos planos de manutenção preventiva;
 - Percentagem de Manutenção Preventiva *versus* Correctiva.
- Indicadores de eficácia
 - Fiabilidade (MTBF);
 - Manutibilidade (MTTR);
 - Disponibilidade.
- Indicadores financeiros
 - Custo de reparação de avarias;
 - Custo de manutenção por equipamento/autocarro;
 - Custo/Km ou Hora do equipamento/autocarro;
 - Custo da manutenção subcontratada.
 - ROI do equipamento/autocarro.

Stenström *et al.* (2013) analisam criticamente os indicadores padronizados, de forma a encontrarem os indicadores essenciais para orientar os valores da manutenção e para estimar o Valor Presente Líquido (VPL). A terminologia que contém as orientações de desempenho e indicadores da manutenção é pouco publicada, não sendo descrita detalhadamente, nomeadamente na gestão de activos.

Kumar *et al.* (2013) fornecem uma visão geral da investigação e desenvolvimento da medição do desempenho de manutenção. Eles consideram os vários problemas de medição e comentam a falta de estrutura e referências para a medição do desempenho da manutenção. O foco principal é determinar como o valor pode ser criado para as organizações, medindo o desempenho da manutenção, examinando estratégias de manutenção, como manutenção baseada na condição, manutenção centrada na fiabilidade, etc. Por outras palavras, tem como objectivo encontrar estruturas ou modelos que podem ser usados para avaliar diferentes estratégias de manutenção e determinar o valor dessas estruturas para uma organização.

Segundo Ferreira (1998), aumentar a disponibilidade é um objectivo clássico dos serviços de manutenção, o que implica o aumento da fiabilidade dos equipamentos (MTBF) e a diminuição dos tempos de intervenção (MTTR).

Para Ferreira (2013), aumentar a disponibilidade consiste em reduzir o número de paragens por avaria e os tempos de reparação e inspecção: daqui se conclui que não é suficiente possuir equipamentos fiáveis para se obterem elevados índices de disponibilidade, mas que é também necessário garantir a máxima celeridade nas operações de reparação, manutenção e inspecção.

Para melhorar a disponibilidade e a segurança operacional dos equipamentos, todas as avarias ditas de consequências catastróficas devem ser eliminadas, assim como a vida útil dos componentes deve ser aumentada, porque cada vez que se dá uma paragem por avaria ou substituição de componentes, verifica-se uma paragem importante dos equipamentos e ou uma perda de segurança operacional. Os factores decisivos para evitar que tal possa acontecer baseiam-se num projecto correcto dos equipamentos e das instalações, e numa manutenção efectiva e eficaz, após a sua entrada em funcionamento (Ferreira e Silva 2002).

Os indicadores dos critérios de qualidade mais valorizados em importância atribuída pelo cliente habitual dos transportes, são a fiabilidade dos equipamentos e a disponibilidade destes, já que as avarias dos mesmos dão origem a aumentos do tempo de espera, originando falhas de pontualidade e incumprimento dos horários, os quais são factores decisivos para a escolha do meio de transporte a tomar pelo cliente final.

O prestador do serviço deve conferir particular atenção à dimensão da sua frota, devendo o quantitativo suprir as necessidades. No entanto, quanto maior for a dimensão da frota, maiores serão os investimentos com a sua aquisição e manutenção. Assim, e de acordo com os princípios

de racionalização dos investimentos e de minimização dos custos, as acções tomadas deverão ser direccionadas ao aumento da disponibilidade dos autocarros.

Para Amaral (2016) existem alguns métodos para fazer a avaliação de investimentos. Poderá, por exemplo, utilizar-se árvores de decisão que permitem fazer uma análise probabilística dos vários cenários possíveis ou utilizar os métodos tradicionais, traduzidos na forma de indicadores financeiros. Como exemplo de indicadores financeiros destes métodos, pode referir-se o Valor Actual Líquido (VAL), o *payback* (que corresponde ao período de recuperação do investimento), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), e o Retorno do Investimento (ROI).

O clima económico é cada vez mais complexo, sendo que as organizações têm necessidade absoluta de melhorar o seu desempenho, através do aumento dos seus rácios ROI (Ferreira, 2013).

Neste contexto, as organizações industriais de todos os tipos e dimensões, mas sobretudo as de capital intensivo, têm de fazer face a níveis de incerteza, sobre se são capazes ou não de atingir os seus objectivos económicos e financeiros.

Para Ferreira (2013), o efeito desta incerteza nos objectivos das organizações representa o “risco”. Para assegurar que este risco é controlado e que os rácios ROI são assegurados de forma sustentada, torna-se necessário gerir os equipamentos tendo em atenção todo o seu ciclo de vida.

Em finanças, o ROI e a taxa de retorno (Rate Of Return - ROR), taxa de lucro ou simplesmente retorno, é a relação entre a quantidade de dinheiro ganho (ou perdido) como resultado de um investimento e a quantidade de dinheiro investido.

O seu conhecimento antecipado tem um impacto importante não só no seio da organização que gere o processo de investimento, como também junto de potenciais investidores. Para além da “venda” interna e externa dos equipamentos, é fundamental para o seu acompanhamento, dando de uma forma clara o impacto dos activos físicos no negócio face às metas pré-definidas.

CAPÍTULO 3. ABORDAGEM GLOBAL

Segundo Carlos Pinto (2002), a consideração dos custos totais do equipamento no LCC evidencia a importância da manutenção na rentabilidade dos investimentos das organizações. As empresas de transportes urbanos possuem sempre uma determinada taxa de reserva de autocarros, que é variável de empresa para empresa. Um baixo rácio de reserva é sinónimo de alta fiabilidade e disponibilidade, assentando essencialmente na implementação de um plano eficiente de manutenção planeada.

Segundo Simões (2011) há um conjunto de factores comuns que afectam o tamanho óptimo do número de viaturas de reserva de uma frota:

1. Composição da frota de autocarros;
2. Marcas e modelos;
3. Idade da frota;
4. Quilometragem anual dos autocarros;
5. Velocidade comercial a que são sujeitos os autocarros;
6. Envolvente e ambiente de exploração;
7. Flutuações diárias na procura de transportes;
8. Políticas e planos de manutenção;
9. Rácio de veículos por mecânico;
10. Planos de formação em manutenção;
11. Número de intervenções de piquete;
12. Ajustamentos introduzidos nos percursos;
13. Ajustamentos introduzidos nos serviços;
14. Gestão de inventário;
15. Administração e finanças.

É nesta perspectiva que o presente capítulo apresenta uma abordagem aos vários modelos econométricos e de vida útil de substituição de equipamentos, bem como aos modelos matemáticos estudados e apresentados nesta tese, nomeadamente sobre a substituição de equipamentos, a manutenção condicionada/preditiva, os indicadores de desempenho e o dimensionamento da frota de reserva.

3.1. Modelos Económicos de Substituição

Importa fazer a caracterização dos métodos de cálculo adequados para a determinação do tempo mais racional para a substituição dos autocarros de transporte urbano de passageiros. Para o efeito, é necessário ter em consideração diversas variáveis:

- Custo de aquisição (CA)
- Valor de cessão (VC)
- Custos de exploração (CE)
 - Custos de manutenção (CM)
 - Custos de operação (CO)
- Taxa de inflação (θ)
- Taxa de capitalização (i)

Os valores da maioria das variáveis precedentes são obtidos através do histórico, com excepção do valor de cessão. Neste caso, terá que se obter o valor de mercado para cada equipamento concreto, o que se poderá revelar difícil para muitos bens. Como alternativa, podem simular-se vários tipos de desvalorização, tais como os seguintes (Oliveira 1982) e (Farinha 2011):

- Método linear de depreciação – o decaimento do valor do equipamento é constante ao longo dos anos;
- Método da soma dos dígitos – a desvalorização anual é não linear;
- Método exponencial – a carga anual de depreciação é decrescente ao longo da vida do equipamento.

3.1.1. Método Linear de Depreciação

Este método considera que o decaimento do valor do equipamento é constante ao longo dos anos, sendo calculado da seguinte maneira:

$$d_l = \frac{CA - VC_n}{N} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo,

d_l *Quota anual de depreciação*

- CA *Custo de aquisição do Equipamento*
- VC_n *Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo*
- N *Tempo de vida corresponde a VC_n*
- l $l=1,2,3\dots n$
- V_n *Valor do equipamento, num período $n=1,2,3\dots n$.*

O valor do equipamento, V_n num período n menor que N é dado por:

$$V_n = CA - l * d \quad (\text{Eq. 2})$$

3.1.2. Método de Soma dos Dígitos

Neste caso, a desvalorização anual é não linear, sendo calculada da seguinte maneira:

$$d_l = 2 * \frac{N-(l-1)}{N+1} * \frac{CA-VC_n}{N} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo,

- d_l *Quota anual de depreciação;*
- CA *Custo de aquisição do Equipamento;*
- N *Tempo de vida corresponde a VC_n ;*
- VC_n *Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo;*
- l $l=1,2,3\dots N$;
- V_n *Valor do equipamento, num período $n=1,2,3\dots N$.*

$$V_n = CA - d_l \quad (\text{Eq. 4})$$

3.1.3. Método Exponencial

O método exponencial faz incidir uma carga anual de depreciação decrescente ao longo da vida do equipamento. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$d_l = VC_{l-1} * (1 - \sqrt[N]{\frac{VC_n}{CA}}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo,

- d_l Quota anual de depreciação;
 CA Custo de aquisição do Equipamento;
 N Tempo de vida corresponde a VC_n ;
 VC_n Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo;
 l $l=1,2,3...N$;
 V_n Valor do equipamento, num período $n=1,2,3...N$.

$$V_n = CA - d_l \quad (\text{Eq. 6})$$

Segundo Farinha (2011), os equipamentos podem ser substituídos segundo vários critérios. Pela vertente financeira, um critério usual é o “ciclo económico”, que permite determinar o período óptimo que minimiza os custos totais médios de operação, de manutenção e de imobilização de capital.

Outro método, usualmente utilizado, é o da “vida útil”, que define que esta termina quando os seus custos de manutenção ultrapassam os custos de manutenção mais os de amortização do capital de um equipamento novo equivalente.

Contudo, não obstante ser possível, a partir dos valores de depreciação de mercado, poder passar-se à análise de substituição de equipamentos, dever-se-ão ter em consideração dois outros tipos de variáveis, que são:

- A taxa de capitalização, denominada por i
- A taxa de inflação, denominada por θ

Estas taxas relacionam-se da seguinte maneira:

$$i_A = i + \theta + i \times \theta \quad (\text{Eq. 7})$$

Sendo

i_A – Taxa aparente.

Segundo Farinha (2011), existem diversos métodos para a determinação do ciclo económico de substituição de equipamentos. Os mais comuns são os seguintes:

- Método da Renda Anual Uniforme (MRAU);
- Método de Minimização do Custo Médio Total (MCMT);
- Método MCMT com redução do valor presente (MCMT-RVP).

3.1.4. Método da Renda Anual Uniforme

De seguida, apresenta-se o Método da Renda Anual Uniforme (MRAU), que faz uso dos seguintes dados:

- Custo de aquisição do equipamento;
- Valores de cessão (calculados de acordo com os métodos atrás expostos);
- Custos de Manutenção e de Exploração ao longo dos anos;
- Taxa aparente.

O Valor Presente Líquido no ano n (VPL_n) é dado por:

$$VPL_n = CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} \quad (\text{Eq. 8})$$

Sendo,

CA *Custo de aquisição do Equipamento;*

CM_j *Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

CO_j *Custos de operação no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

i_A *Taxa aparente;*

V_n *Valor do equipamento, num período $n=1,2,3 \dots N$.*

Sendo a Renda Anual Uniforme (RAU_n) calculada da seguinte forma:

$$RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^n - 1} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \quad (\text{Eq. 9})$$

$$RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^n - 1} * VPL_n \quad (\text{Eq. 10})$$

O menor valor RAU calculado indica qual o período respectivo (múltiplos do ano) em que o equipamento deve ser substituído. Esse valor é equivalente a uma renda mínima que o equipamento custaria anualmente.

3.1.5. Método de Minimização do Custo Médio Total

O MCMT permite determinar o menor custo médio de posse do equipamento e o respectivo ano em que ocorre, que corresponde ao momento óptimo de substituição. Não são considerados os custos de capital e a taxa de inflação. O procedimento de cálculo é o seguinte:

$$C'_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$C''_n = \frac{1}{n} (CA - V_n) \quad (\text{Eq. 12})$$

$$C_{n(MCMT)} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} (CA - V_n + \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j)) \quad (\text{Eq. 13})$$

Sendo,

CA	<i>Custo de aquisição do Equipamento;</i>
CM_j	<i>Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3 \dots n$;</i>
CO_j	<i>Custos de operação no ano $j= 1,2,3 \dots n$;</i>
V_n	<i>Valor do equipamento, num período $n=1,2,3 \dots N$;</i>
n	<i>Nº de anos $n=1,2,3 \dots n$;</i>
$C_{n(MCMT)}$	<i>Custo médio total.</i>

3.1.6. Método de MCMT com Redução do Valor Presente

No MCMT-RVP, o procedimento de cálculo é idêntico ao anterior, com a exceção de que aqui são considerados os custos de capital e a taxa de inflação. Os diversos valores de manutenção e de cessão, ao longo dos anos, são reduzidos ao seu valor presente, de acordo com o procedimento que se segue:

$$C'_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \quad (\text{Eq. 14})$$

$$C''_n = \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} \right) \quad (\text{Eq. 15})$$

$$C_{n(\text{MCMT-RVP})} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \left(\frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \right) \quad (\text{Eq. 16})$$

Sendo,

CA	<i>Custo de aquisição do Equipamento;</i>
CM_j	<i>Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3 \dots n$;</i>
CO_j	<i>Custos de operação no ano $j= 1,2,3 \dots n$;</i>
V_n	<i>Valor do equipamento, num período $n=1,2,3 \dots n$;</i>
i_A	<i>Taxa aparente;</i>
n	<i>Nº de anos $n=1,2,3 \dots n$;</i>
$C_{n(\text{MCMT-RVP})}$	<i>Custo médio total</i>

A aplicação destes modelos de substituição de equipamentos é feita no capítulo seguinte.

3.1.7. Modelo de “vida útil”

Existem várias maneiras para definir a Vida Útil de um equipamento, como, por exemplo, o período de tempo que se estende desde a data da sua instalação até à data em que o mesmo é

retirado de serviço, ou seja, o período de tempo em que o activo presta serviço de maneira economicamente vantajosa para a organização.

Para Farinha (2011), a vida útil de um equipamento termina quando os seus custos de manutenção ultrapassam os custos de manutenção, mais os de amortização do capital de um equipamento novo equivalente, pelo que a vida útil é superior à económica.

$$\frac{CM_j}{(1+i_A)^j} > CA + \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} \quad (\text{Eq. 17})$$

Sendo,

CA *Custo de aquisição do Equipamento;*

CM_j *Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

CM'_j *Custos de manutenção de um equipamento novo no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

i_A *Taxa aparente;*

j *Nº de anos $j=1,2,3 \dots n$.*

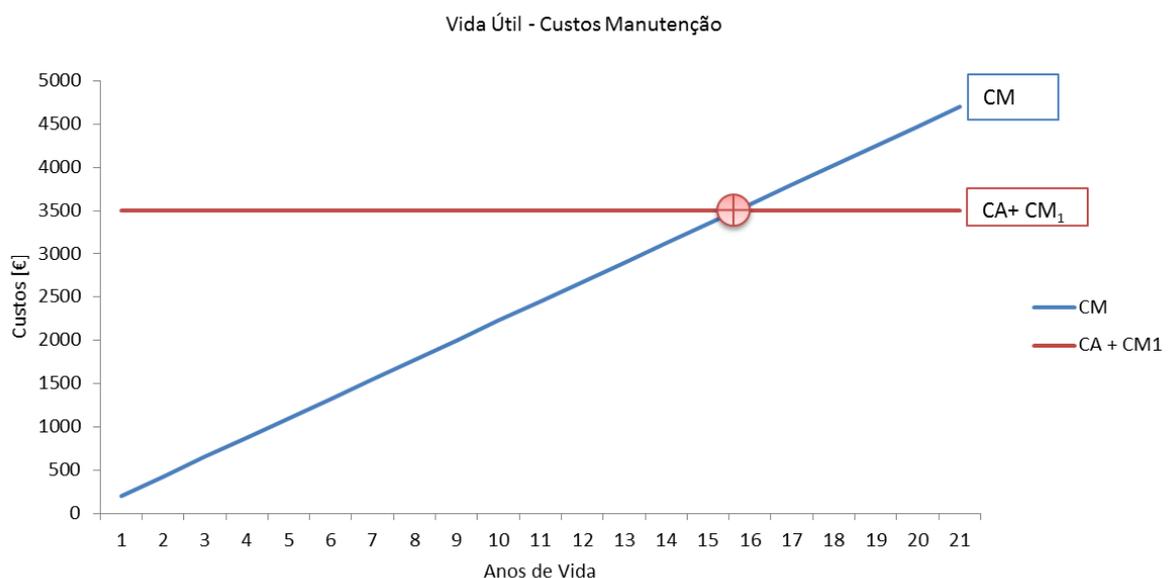


Figura 3.1 – Vida útil versus Custos Manutenção

Apresentando, ainda, outra definição de vida útil, pode dizer-se que esta termina quando os seus custos de manutenção acumulados ultrapassam os custos de manutenção, mais os de amortização do capital de um equipamento novo equivalente, pelo que a vida útil é superior à económica.

$$\sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} > CA + \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} \quad (\text{Eq. 18})$$

Sendo,

CA *Custo de aquisição do Equipamento;*

CM_j *Custos de manutenção no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

CM_j *Custos de manutenção de um equipamento novo no ano $j= 1,2,3 \dots n$;*

i_A *Taxa aparente;*

j *Nº de anos $j=1,2,3 \dots n$.*



Figura 3.2 – Vida útil versus Custos Manutenção Acumulados

Mesmo depois de terem sido utilizados por toda a sua vida útil, os equipamentos mantêm valor de revenda, principalmente se forem alvo das intervenções de manutenção adequadas. Esse valor residual é de cerca de 10% a 20% do valor de aquisição. Então, se um autocarro custou,

por exemplo, 165 mil euros, o seu valor residual, ao final de sua vida útil, pode ser de 16 mil euros a 33 mil euros. Para conhecer realmente quanto o equipamento desvaloriza, é preciso fazer o cálculo de depreciação, bastante utilizado pelas locadoras de equipamentos. Como já atrás foi referido, existem, entre outros, três métodos para fazer esse cálculo. Quando há indícios de que o equipamento não tem mais condições de operar, por ter sido submetido a condições muito agressivas de trabalho, ou no caso de equipamentos muito específicos, o valor de revenda pode ser considerado nulo. Embora este método de cálculo da vida útil não tenha em consideração o valor da desvalorização do equipamento, é fundamental aos gestores saberem o valor residual dos seus equipamentos para procederem à decisão com maior assertividade, sendo, deste modo, detentores de todos os dados que podem suportar a sua decisão.

3.1.8. Outros Modelos Matemáticos

Para além dos modelos apresentados na secção precedente são sintetizados, nas próximas subsecções, outras ferramentas que também servem de suporte ao modelo global integrado de substituição de veículos e de frota de reserva, alvo da presente tese.

3.1.8.1 Método do alisamento exponencial

Relativamente à vertente da manutenção de condição, que toma como referência a análise de óleos, utiliza alguns modelos matemáticos, sendo o do alisamento exponencial o mais relevante. Este método utiliza como estimativa o valor real e o valor previsto para o período actual, para o cálculo do valor do instante seguinte. Adicionalmente, é necessário aplicar um parâmetro de alisamento, α , que corresponde ao peso que se pretende dar ao histórico no cálculo do valor para o período seguinte; o valor deste parâmetro situa-se entre 0 e 1 (Makridakis e Wheelwright 1989).

A fórmula de cálculo do valor previsto para o período seguinte é dada por:

$$S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_t \Leftrightarrow S_{t+1} = \alpha \sum_{i=0}^t (1 - \alpha)^i X_{t-i} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

Sendo,

$$S_{t+1} \quad \text{Previsão para o instante seguinte;}$$

- X_t Valor real registado no período actual;
- S_t Valor previsto para o período actual;
- α Parâmetro de alisamento.

3.1.8.2 Distribuição t-Student

A distribuição t de *Student* é uma distribuição de probabilidade estatística, simétrica, campaniforme e semelhante à curva normal padrão, porém com caudas mais largas, ou seja, uma simulação da t de *Student* pode gerar valores mais extremos do que uma simulação da normal.

O único parâmetro ν que define e caracteriza a sua forma é o número de graus de liberdade. Quanto maior for esse parâmetro, mais próxima da distribuição normal está.

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{\nu}\right)^{-\left(\frac{\nu+1}{2}\right)} \quad (\text{Eq. 20})$$

A distribuição t de *Student* aparece naturalmente no problema de se determinar a média de uma população (que segue a distribuição normal) a partir de uma amostra.

Para o cálculo da Média e do Desvio Padrão amostral, se for n o número de dados, cada número denotado por x_i , onde $i = 1, \dots, n$, a média aritmética é a soma dos valores x_i divididos por n , ou seja:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i \quad (\text{Eq. 21})$$

Para o cálculo do desvio padrão faz-se a distinção entre o desvio padrão σ (sigma) do total de uma população ou de uma variável aleatória e o desvio padrão S de um subconjunto ou amostra.

O desvio padrão amostral é dado por:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 22})$$

A distribuição *t* de *Student* aparece naturalmente no problema de se determinar a média de uma população (que segue uma distribuição normal) a partir de uma amostra. No caso da presente dissertação, não se sabe qual é a média ou o desvio padrão da população.

Supondo que o tamanho da amostra n seja muito menor que o tamanho da população, tem-se que a amostra é dada por n variáveis aleatórias normais independentes X_1, \dots, X_n , cuja média é o melhor estimador para a média da população.

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + \dots + X_n)}{n} \quad (\text{Eq. 23})$$

Considerando a variância amostral

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Eq. 24})$$

A variável aleatória t é dada por:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (\text{Eq. 25})$$

Esta segue uma distribuição *t* de *Student* com $v = n-1$, onde:

\bar{X}	<i>Média da amostra;</i>
μ	<i>Valor fixo usado para comparação com a média da amostra;</i>
S	<i>Desvio padrão amostral;</i>
n	<i>Tamanho da amostra.</i>

Para estimar a média da população, considerando as duas caudas da distribuição *t* e $n-1$ graus de liberdade, aplica-se a expressão:

$$\mu = \bar{X} + t_\alpha * \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Onde,

μ	<i>Média da população;</i>
t_α	<i>Corresponde ao T crítico (t-student de distribuição);</i>
\bar{X}	<i>Média da amostra;</i>

S *Desvio padrão amostral;*
 n *Tamanho da amostra.*

Onde t_{α} , corresponde ao t crítico para as duas caudas, considerando o intervalo de confiança desejado e os graus de liberdade $n-1$, sendo o valor obtido a partir da tabela da distribuição t .

Na aplicação dos testes de hipóteses na distribuição t-Student sobre o valor da média μ são aplicadas as seguintes situações:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Considera-se a variável aleatória \bar{X} (média de amostras de dimensão n) cuja aplicação numa distribuição para pequenas amostras ($n < 30$) é:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n-1}}} \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde,

\bar{X} *Média da amostra;*
 μ *Valor fixo a comparar com o valor médio da amostra;*
 S *Desvio padrão amostral;*
 n *Tamanho da amostra.*

Em geral o σ (desvio padrão da população) é desconhecido, sendo lícito substituir este pelo s (desvio padrão da amostra).

A regra da decisão será: se o valor calculado para a estatística cair fora do intervalo de valores críticos (simétricos entre si) para um certo nível de significância fixado, rejeita-se H_0 - teste bilateral.

Para um teste unilateral, utiliza-se um só valor crítico (associado ao nível de significância escolhido) e rejeita-se a hipótese H_0 ; sempre $t > t_{\text{critico}}$, ou seja, o módulo do valor calculado para a estatística t ultrapassa o valor crítico.

3.1.9. Indicadores de Desempenho

Nesta dissertação os principais indicadores técnicos utilizados são os seguintes: MTBF; MTTR; e Disponibilidade (D).

Por disponibilidade (D) entende-se a probabilidade de um equipamento se encontrar operacional no instante t , sabendo-se que no instante $t=0$ ele se encontra operacional. Para o caso vertente utiliza-se a Disponibilidade operacional dada por:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MWT + MTTR} \quad (\text{Eq. 28})$$

O MTBF é o tempo médio medido entre cada falha apresentada por um determinado equipamento (unidade ou conjunto), dentro de um determinado período de tempo. Representa, em termos médios, o tempo esperado de funcionamento antes da próxima falha.

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBF_i}{n} \quad (\text{Eq. 29})$$

$$MTBF = \frac{MTTR}{\frac{(1-D)}{D}} \quad (\text{Eq. 30})$$

Sendo,

TBF Tempo de Bom Funcionamento;

O MTTR é o tempo médio para reparar um determinado equipamento (unidade ou conjunto):

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$MTTR = MTBF * \frac{(1-D)}{D} \quad (\text{Eq. 32})$$

Sendo,

TTR Tempo Técnico de Reparação.

Um outro parâmetro que também é necessário ter em consideração é o MWT (Mean Waiting Time), que corresponde ao tempo médio de espera entre a identificação da avaria e o início da intervenção de manutenção correctiva.

$$MWT = \sum_{i=1}^n WT \quad (\text{Eq. 33})$$

Sendo,

WT *Tempo Médio de Espera.*

De forma a ligar-se a actividade manutenção à gestão financeira, nesta dissertação é usado o ROI.

O ROI é um indicador para avaliar o desempenho financeiro do equipamento; é usado como uma "ponte" entre a manutenção e a vertente económica, mostrando quando o equipamento começa a gerar lucros ou prejuízos para a empresa. O ROI é um indicador que ajuda a encontrar o valor presente do investimento de capital e o *Cash Flow* (CF) corrigido através da Taxa Aparente.

Segundo Amaral (2016), tradicionalmente o ROI é um índice de rentabilidade. Dá a rentabilidade efectiva (real) por unidade de capital investido, ou seja:

$$ROI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j}}{\frac{CA}{(1+i_A)^0}} \quad (\text{Eq. 34})$$

Onde,

CA *Custo de aquisição do equipamento;*

CF_j *Cash Flow;*

i_A *Taxa Aparente;*

j $j=1,2,3 \dots N.$

Portanto, para cada unidade de investimento, o projecto gera uma determinada rentabilidade que terá, para o projecto ter rentabilidade, de ser superior à unidade.

Para avaliar a eficiência de um investimento, uma medida possível é o ROI, que depende de garantir a máxima disponibilidade dos ativos ao menor custo. O ROI mede o montante do

retorno sobre um investimento, em percentagem, em relação ao custo do investimento. No caso discutido nesta dissertação, é usado um ROI variável, em valor absoluto, que corresponde à seguinte fórmula:

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

3.2. Novos Modelos Económicos de Substituição

No decorrer desta dissertação foram desenvolvidos novos modelos económicos de substituição de equipamentos, traduzidos em equações e sistemas de equações, visando a determinação do momento mais racional para substituição de equipamentos.

Os novos modelos económicos de substituição consideram, e integram, os indicadores de desempenho atrás descritos, bem como modelos económicos de substituição tradicionais, formando, na sua versão integrada, um conjunto de sistemas de equações, tal como será discutido nas secções seguintes.

3.2.1. Novos Modelos Económicos de Substituição – Indicador Financeiro

O método da Renda Anual Uniforme (RAU_n) e Retorno do investimento (ROI) serão conjugados da seguinte forma:

$$RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^{n-1}} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j+CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \quad (\text{Eq. 9})$$

E com o ROI

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dando origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^{n-1}} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j+CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 36})$$

O Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT) e o ROI podem ser escritos conjuntamente como:

$$C_{n(MCMT)} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} (CA - V_n + \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j)) \quad (\text{Eq. 13})$$

E com o ROI,

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dá origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} (CA - V_n + \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j)) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 37})$$

O método MCMT com Redução ao Valor Presente (MMTAC-RPV) e o Retorno do Investimento (ROI) conjugados numa única equação, vem:

$$C_{n(MCMT-RPV)} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \quad (\text{Eq. 16})$$

E com o ROI,

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dá origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT-RPV)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 38})$$

3.2.2. Novos Modelos Económicos de Substituição – Indicador Desempenho

Importa, de seguida, proceder à ligação dos modelos de substituição com os indicadores de desempenho da manutenção incluindo, nos sistemas de equações apresentados, o indicador MTTR, dando ênfase à influência deste no ciclo económico de substituição de autocarros ao longo do seu ciclo de vida. Nesta secção também é feita a integração do ROI com o ciclo económico de substituição de autocarros. Para isso, são apresentados vários sistemas de equações, começando com o Método da Renda Anual Uniforme (RAU_n), tendo em conta o ROI em função do MTTR. Estes sistemas de equações incluem várias equações discutidas nas secções anteriores:

$$RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^{n-1}} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \quad (\text{Eq. 9})$$

Considerando o

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n} \quad (\text{Eq. 31})$$

E o ROI

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dá origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^{n-1}} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{(t*MTTR*\frac{CM_j}{d}) + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 39})$$

Onde,

- t Número de intervalos considerados para MTTR;
- d Número de dias por ano.

O Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT), em função do MTTR, e do ROI podem ser escritos da seguinte forma:

$$C_{n(MCMT)} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} (CA - V_n + \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j)) \quad (\text{Eq. 13})$$

Considerando o MTTR

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n} \quad (\text{Eq. 31})$$

E o ROI

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dá origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - V_n + \sum_{j=1}^n \left((t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j \right) \right) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 40})$$

O sistema de equações, tendo em conta o método MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP), em função do MTTR e do ROI, podem ser reescritos do seguinte modo:

$$C_{n(MCMT-RVP)} = C'_n + C''_n = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \quad (\text{Eq. 16})$$

Considerando o MTTR

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n} \quad (\text{Eq. 31})$$

E o ROI

$$ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \quad (\text{Eq. 35})$$

Dá origem ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT-RVP)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 41})$$

A discussão e validação das fórmulas precedentes irão ser apresentados nos capítulos seguintes.

3.3. Frota de Reserva

A missão das empresas que operam os transportes públicos de passageiros, bem como a sustentabilidade da sua situação económico-financeira, deverá estar na base de qualquer medida que venha a ser tomada pelos intervenientes no sector.

A mobilidade e a acessibilidade são parâmetros aferidores do grau de desenvolvimento das sociedades. O desejo de chegar ao destino e de transpor as distâncias de uma forma rápida e cómoda é a essência da utilização dos transportes, pelo que a sua organização e coordenação representam um desafio permanente.

Segundo Américo Costa (2008), a garantia da acessibilidade constitui o objectivo final da política de transportes, sendo o transporte não um fim em si, mas um meio para se alcançar aquela, resultando que a respectiva procura de transporte seja uma procura derivada.

A rede de transportes públicos é constituída por um conjunto de carreiras que estabelecem a ligação entre diferentes pontos da malha urbana, sendo importante conhecer quer o respectivo traçado (cobertura espacial), quer o seu período de serviço e frequência de passagem (cobertura temporal). Os pontos extremos das carreiras designam-se por terminais.

A configuração da rede de transportes públicos é muito dependente da estrutura urbana, isto é, da localização dos principais pólos geradores de tráfego, da sua concentração ou dispersão e da malha viária urbana disponível para a circulação dos autocarros.

O elemento chave para a definição da rede de transportes é a matriz origem/destino das viagens, onde se podem identificar as linhas de desejo das deslocações das pessoas, estabelecendo-se, em princípio, carreiras directas para as ligações com maior procura.

Em estudos que requeiram o levantamento das características do material circulante, é importante conhecer, para além dos tipos de viatura que opera, a respectiva lotação em lugares sentados e de pé e dimensões, a sua idade, as características técnicas e de conforto, nomeadamente a existência de ar condicionado e de equipamentos de apoio a passageiros de mobilidade reduzida.

O número total de veículos necessário para o serviço de uma linha ou rede é designado por dimensão da frota, e corresponde à soma dos veículos necessários para a operação propriamente dita, normalmente determinada pelas necessidades no período de ponta, com os veículos de reserva e os sujeitos a operações de manutenção.

O Número de Veículos (NV) necessário na linha é dado pelo quociente entre o tempo de rotação e o intervalo médio entre passagens, arredondado para o inteiro superior, isto é, sempre que exista parte decimal não nula neste quociente, terá de se acrescentar um veículo à parte inteira.

$$T = 2 \times \left(\frac{W}{VO} \times 60 + TS \right) \quad (\text{Eq. 42})$$

Sendo,

- T *Tempo de rotação;*
 W *Extensão da linha;*
 VO *Velocidade de operação;*
 TS *Tempo suporte.*

$$NV = \frac{T}{IP} \quad (\text{Eq. 43})$$

Sendo,

- NV *Número de viaturas;*
 T *Tempo de rotação;*
 IP *Intervalo médio entre passagens.*

Admitindo uma carreira com 10 km de extensão, uma velocidade de operação de 15 km/h, um tempo de suporte de 5 minutos e um intervalo entre passagens de 10 minutos, o número (NV) de veículos para efectuar o serviço é dado por:

$$T = 2 \times \left(\frac{10}{15} \times 60 + 5 \right)$$

$$T = 90 \text{ minutos}$$

Donde,

$$NV = \frac{90}{10}$$

$$NV = 9 \text{ veiculos}$$

A velocidade comercial tem um efeito significativo no número de veículos necessário, principalmente para velocidades baixas e intervalos entre passagens pequenos e, por outro lado, o valor de NV é directamente proporcional ao comprimento da linha e ao volume de passageiros e inversamente proporcional à capacidade do veículo e à velocidade de operação.

O valor de NV atrás calculado ($NV=9$) não representa o número total de veículos que devem estar disponíveis para realizar este serviço, já que é necessário ter em conta não só os períodos de imobilização das viaturas, quer para serviços de manutenção de rotina, quer devido a avarias, isto é, os veículos de reserva.

3.4. Dimensão da Frota de Reserva

As empresas de transportes urbanos possuem sempre uma determinada taxa de reserva de autocarros, que é variável de empresa para empresa. Um baixo rácio de reserva é sinónimo de alta fiabilidade, assentando essencialmente na implementação de um eficiente plano de manutenção planeada, que resulta na aplicação de novas metodologias e técnicas de manutenção que levam à avaliação do estado dos equipamentos e à decisão de substituição ou renovação dos equipamentos.

Para avaliar as práticas de gestão nas empresas de transportes a FTA (Federal Transit Administration - USA) levou a efeito um inquérito junto de um universo de 36 empresas Norte Americanas e Canadianas, que incluiu oito pequenas empresas com frotas compreendidas entre 33 e 199 autocarros, oito médias empresas, com frotas compreendidas entre 225 e 472 autocarros, 12 grandes empresas com frotas compreendidas entre 537 e 963 autocarros, e oito empresas de muito grande dimensão, com frotas compreendidas entre 1009 e 3664 autocarros. Uma síntese de alguns indicadores de actividade distribuídos pelas classes enumeradas pode ser analisada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Indicadores de exploração de frotas, segundo a sua dimensão

Classe empresa	Número de empresas	Taxa de viaturas de reserva (%)	Velocidade média (km/h)	Média de Km percorridos/autocarro	Idade média da frota (anos)
Pequena	8	19	20,0	54768	7,7

Média	8	22	20,6	59901	8,1
Grande	12	21	20,9	65026	8
Muito Grande	8	17	19,3	62771	9,3
Todas	36	20	20,3	61141	8,3

O cálculo e monitorização das taxas de reserva continuam a ser uma importante ferramenta de gestão no sector dos transportes urbanos. Os resultados do inquérito salientam que os gestores de transportes estão cientes da sua responsabilidade na gestão de frotas dentro de razoáveis constrangimentos de material circulante de reserva. As respostas ao inquérito indicam que estão a ser feitos esforços no sector para encontrar formas de reduzir o número de unidades de veículos sobressalentes. Muitos gestores de manutenção não só seguem as orientações da FTA relativamente ao cumprimento da meta de 20% de veículos de reserva, como têm adoptado a filosofia de "quanto mais magro melhor" na gestão das suas frotas.

Dez por cento dos autocarros encontra-se diariamente em reparações correntes. Em média, cada autocarro de serviço externo recorre aos piquetes de intervenção nove vezes por ano.

Os efeitos combinados da restritiva legislação de poluição na Califórnia, a manutenção especializada, a elevada procura de transportes e o enviesamento da distribuição na idade e tipologia dos impactos dos autocarros têm levado a um aumento da taxa de reserva de viaturas.

Como corolário, pode destacar-se que as definições dos indicadores de gestão de transportes urbanos de passageiros variam de empresa para empresa. Verifica-se também que as tecnologias utilizadas, a precisão e a frequência de recolha de valores de variáveis de funcionamento dos autocarros e de indicadores de exploração da rede de transportes, a metodologia e a forma de tratar dados variam substancialmente de operador para operador.

Aquando da tomada de decisão relativamente à gestão dos equipamentos devem ser considerados os custos de manutenção, o custo de funcionamento, o custo global de posse, os custos acumulados, e o ROI; em suma, as variáveis de ordem económica ao longo da vida do autocarro.

Esta discussão tem implicação directa no dimensionamento da frota de reserva, a qual constitui um Activo Físico, de capital muito elevado, que importa racionalizar. Neste âmbito, serão utilizados alguns indicadores de manutenção para sustentar o seu dimensionamento: Disponibilidade; MTBF; e MTTR.

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)} \quad (\text{Eq. 28})$$

$$MTBF = \frac{MTTR}{\frac{(1-D)}{D}} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$MTTR = MTBF * \frac{(1-D)}{D} \quad (\text{Eq. 32})$$

Estes indicadores são factores essenciais para ter em consideração no dimensionamento da frota de reserva. Pode afirmar-se que o valor da disponibilidade está dependente do MTBF e do MTTR e que estes estão, claramente, dependentes das políticas de manutenção utilizadas nas empresas e, por consequência, têm influência no dimensionamento da frota de reserva. A seguinte fórmula representa a referida relação:

$$FR = \frac{m * MTTR}{k} \quad (\text{Eq. 44})$$

Sendo,

FR Frota de reserva;

m Número de veículos que compõem a frota;

MTTR Mean Time To Repair;

k Número de dias/ano (365 dias).

Ou

$$FR = \frac{m * MTBF * \frac{(1-D)}{D}}{k} \quad (\text{Eq. 45})$$

Sendo,

FR Frota de reserva;

m Número de veículos que compõem a frota;

MTBF Mean Time Between Failure;

D Disponibilidade;

k Número de dias/ano (365 dias).

Ou

$$FR = \frac{m * \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n}}{k} \quad (\text{Eq. 46})$$

Sendo,

FR Frota de reserva;

m Número de veículos que compõem a frota;

TTR Tempo Técnico de Reparação;

i $i=0,1,2,3\dots n$

k Número de dias/anos (365 dias).

CAPÍTULO 4. MODELOS DE SUBSTITUIÇÃO DE AUTOCARROS

A presente dissertação apresenta um modelo de integrado de substituição de autocarros de transporte de passageiros que permite o suporte à decisão conducente a um dimensionamento racional da frota de reserva, incluindo:

- Uma definição racional do seu ciclo de vida;
- O tempo mais racional da sua substituição;
- A frota de reserva.

Numa primeira fase, foi efectuado o levantamento dos dados de funcionamento de uma frota de autocarros, numa empresa de transporte público de passageiros, para análise do LCC. Com base nestes dados, iniciou-se a validação dos modelos de simulação a partir de um número exemplificativo de autocarros. A frota em apreço é constituída, no total, por 115 autocarros, que operam em 88 linhas, numa extensão total de 556,2 quilómetros de rede, transportando anualmente cerca de 14 milhões de passageiros.

Visando a proposta de um modelo integrado de substituição de autocarros, indexado à frota de reserva e à política de manutenção, importa avaliar os diversos modelos aplicáveis e, baseado nestes, desenvolver e validar o referido modelo. Visando apoiar esta perspectiva, e atendendo à extensão da análise levada a efeito, remeteu-se para o Anexo A a aplicação dos Modelos de Substituição de Autocarros, designadamente:

- A caracterização dos Autocarros;
- Os dados históricos dos Autocarros;
- A aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (MRAU);
- A aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT);
- A aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP).

No presente capítulo são então tratados os Modelos de Substituição tendo em consideração a influência das variáveis endógenas e exógenas, aplicando os modelos precedentes.

4.1. Modelos de Substituição – Influência das variáveis endógenas e exógenas

Esta secção aborda os métodos para a determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, com base numa Taxa Aparente Constante e demonstra o seu efeito ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Para esse efeito, considerou-se uma taxa aparente de 8%. Não se aborda o Método da Minimização do Custo Médio Total, devido a este não ter em consideração a taxa aparente, isto é, não considerar os custos de capital e a taxa de inflação.

Este estudo foi realizado às mesmas viaturas e aos mesmos grupos homogêneos utilizados no Apêndice A. Sendo assim, apresenta-se, como exemplo, as Viaturas X1 e X2, tendo em consideração os dois métodos usados para determinação do ciclo económico, que são apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2 e figuras 4.1 e 4.2.

4.1.1. Modelos de substituição – Taxa Aparente Constante

4.1.1.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (RAU)

No exemplo seguinte ilustra-se um caso de determinação do ciclo de substituição de um autocarro, cujos valores de aquisição, manutenção e exploração são valores reais, sendo considerada uma taxa aparente constante de 8%. O método utilizado é o da Renda Anual Uniforme.

Tabela 4.1 – RAU taxa aparente constante – XI

Ano j	Veiculo X1					VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]		
	i_A [%]	π_1 (1+ i_A) _j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	8%				110,66K									
1	8%	1,08	0,84K	12,61K	123,11K	98,85K	95,49K	87,87K	24,26K	27,62K	35,24K	26,20K	29,83K	38,06K
2	8%	1,17	0,77K	12,40K	134,40K	88,19K	82,19K	69,78K	46,22K	52,21K	64,63K	25,92K	29,28K	36,24K
3	8%	1,26	0,79K	12,35K	144,83K	78,56K	70,56K	55,41K	66,27K	74,28K	89,43K	25,72K	28,82K	34,70K
4	8%	1,36	0,90K	12,47K	154,67K	69,88K	60,39K	44,00K	84,79K	94,28K	110,67K	25,60K	28,46K	33,41K
5	8%	1,47	1,10K	12,77K	164,11K	62,05K	51,52K	34,94K	102,06K	112,58K	129,17K	25,56K	28,20K	32,35K
6	8%	1,59	1,39K	13,24K	173,33K	54,99K	43,81K	27,74K	118,34K	129,52K	145,58K	25,60K	28,02K	31,49K
7	8%	1,71	1,78K	13,87K	182,46K	48,64K	37,11K	22,03K	133,82K	145,35K	160,43K	25,70K	27,92K	30,81K
8	8%	1,85	2,25K	14,68K	191,61K	42,94K	31,31K	17,49K	148,67K	160,29K	174,11K	25,87K	27,89K	30,30K
9	8%	2,00	2,81K	15,66K	200,85K	37,80K	26,31K	13,89K	163,04K	174,54K	186,96K	26,10K	27,94K	29,93K
10	8%	2,16	3,89K	15,02K	209,61K	33,20K	21,99K	11,03K	176,41K	187,61K	198,57K	26,29K	27,96K	29,59K
11	8%	2,33	5,00K	17,08K	219,07K	29,07K	18,29K	8,76K	190,00K	200,79K	210,31K	26,62K	28,13K	29,46K
12	8%	2,52	3,77K	20,25K	228,61K	25,37K	15,12K	6,96K	203,25K	213,50K	221,66K	26,97K	28,33K	29,41K
13	8%	2,72	7,37K	20,69K	238,93K	22,05K	12,41K	5,52K	216,88K	226,52K	233,41K	27,44K	28,66K	29,53K
14	8%	2,94	5,38K	19,33K	247,35K	19,09K	10,12K	4,39K	228,25K	237,22K	242,96K	27,69K	28,77K	29,47K
15	8%	3,17	6,82K	26,61K	257,88K	16,45K	8,19K	3,48K	241,43K	249,70K	254,40K	28,21K	29,17K	29,72K
16	8%	3,43	10,83K	16,17K	265,77K	14,09K	6,56K	2,77K	251,67K	259,21K	263,00K	28,43K	29,28K	29,71K
17	8%	3,70	3,98K	20,24K	272,31K	12,00K	5,20K	2,20K	260,31K	267,11K	270,11K	28,54K	29,28K	29,61K
18	8%	4,00	3,27K	25,64K	279,54K	10,13K	4,40K	1,74K	269,41K	275,14K	277,80K	28,75K	29,36K	29,64K
19	8%	4,32	4,88K	25,68K	286,62K	8,48K	3,15K	1,38K	278,15K	283,47K	285,24K	28,96K	29,52K	29,70K
20	8%	4,66	10,62K	24,00K	294,05K	7,01K	2,40K	1,10K	287,04K	291,65K	292,95K	29,24K	29,71K	29,84K
21	8%	5,03	4,73K	9,04K	296,79K	5,72K	1,79K	0,87K	291,07K	295,00K	295,92K	29,06K	29,45K	29,54K

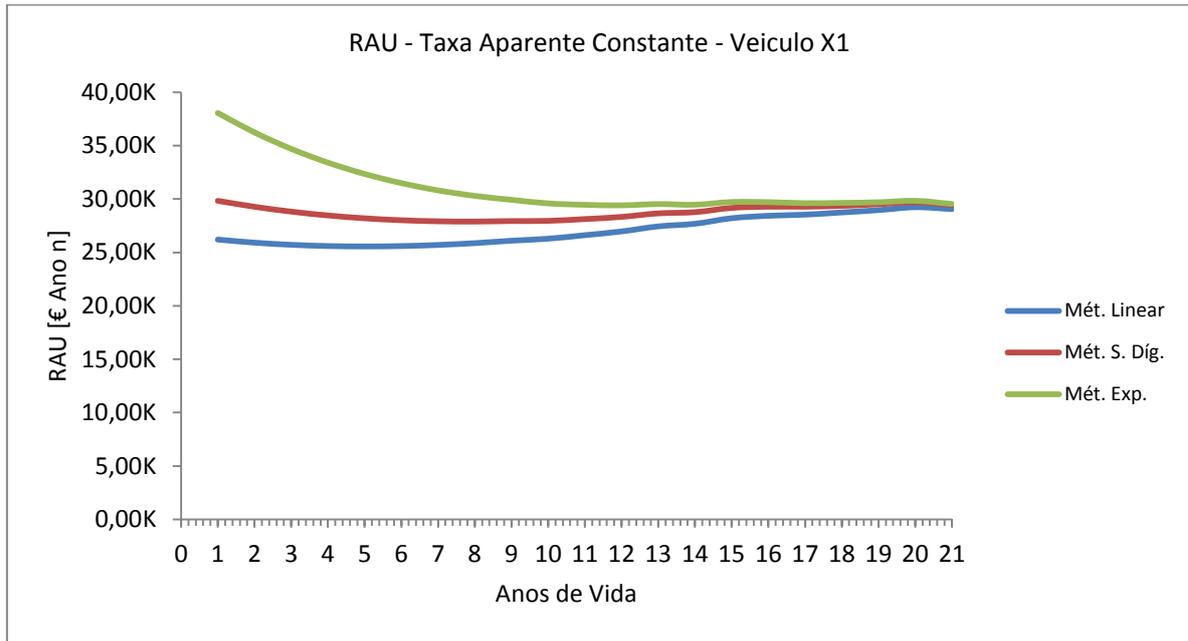


Figura 4.1 - RAU taxa aparente constante – Autocarro X1

Tabela 4.2 – RAU taxa aparente constante – X2

Ano j	Veiculo X2					VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]		
	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)_j$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	8%				110,66K									
1	8%	1,08	0,98K	11,68K	122,38K	98,85K	95,49K	87,87K	23,52K	26,88K	34,50K	25,41K	29,04K	37,26K
2	8%	1,17	1,01K	11,53K	133,13K	88,19K	82,19K	69,78K	44,94K	50,94K	63,35K	25,20K	28,56K	35,53K
3	8%	1,26	1,11K	11,56K	143,19K	78,56K	70,56K	55,41K	64,63K	72,63K	87,78K	25,08K	28,18K	34,06K
4	8%	1,36	1,26K	11,77K	152,77K	69,88K	60,39K	44,00K	82,90K	92,38K	108,77K	25,03K	27,89K	32,84K
5	8%	1,47	1,48K	12,15K	162,05K	62,05K	51,52K	34,94K	100,01K	110,53K	127,11K	25,05K	27,68K	31,84K
6	8%	1,59	1,75K	12,72K	171,17K	54,99K	43,81K	27,74K	116,18K	127,36K	143,42K	25,13K	27,55K	31,03K
7	8%	1,71	2,09K	13,45K	180,24K	48,64K	37,11K	22,03K	131,59K	143,12K	158,21K	25,28K	27,49K	30,39K
8	8%	1,85	2,48K	14,37K	189,34K	42,94K	31,31K	17,49K	146,40K	158,02K	171,84K	25,48K	27,50K	29,90K
9	8%	2,00	2,94K	15,46K	198,54K	37,80K	26,31K	13,89K	160,73K	172,23K	184,65K	25,73K	27,57K	29,56K
10	8%	2,16	1,90K	16,51K	207,07K	33,20K	21,99K	11,03K	173,87K	185,08K	196,04K	25,91K	27,58K	29,22K
11	8%	2,33	5,52K	18,68K	217,45K	29,07K	18,29K	8,76K	188,38K	199,16K	208,69K	26,39K	27,90K	29,23K
12	8%	2,52	5,32K	19,37K	227,25K	25,37K	15,12K	6,96K	201,89K	212,13K	220,30K	26,79K	28,15K	29,23K
13	8%	2,72	5,07K	21,69K	237,09K	22,05K	12,41K	5,52K	215,04K	224,67K	231,57K	27,21K	28,43K	29,30K
14	8%	2,94	5,71K	20,30K	245,94K	19,09K	10,12K	4,39K	226,85K	235,82K	241,56K	27,52K	28,60K	29,30K
15	8%	3,17	14,50K	22,95K	257,75K	16,45K	8,19K	3,48K	241,30K	249,57K	254,27K	28,19K	29,16K	29,71K
16	8%	3,43	7,27K	16,64K	264,73K	14,09K	6,56K	2,77K	250,64K	258,17K	261,97K	28,32K	29,17K	29,60K
17	8%	3,70	6,12K	21,25K	272,13K	12,00K	5,20K	2,20K	260,13K	266,93K	269,93K	28,52K	29,26K	29,59K
18	8%	4,00	5,34K	25,27K	279,79K	10,13K	4,40K	1,74K	269,66K	275,38K	278,04K	28,77K	29,38K	29,67K
19	8%	4,32	4,13K	26,64K	286,92K	8,48K	3,15K	1,38K	278,44K	283,77K	285,53K	28,99K	29,55K	29,73K
20	8%	4,66	13,22K	22,91K	294,67K	7,01K	2,40K	1,10K	287,66K	292,27K	293,57K	29,30K	29,77K	29,90K
21	8%	5,03	11,56K	21,35K	301,21K	5,72K	1,79K	0,87K	295,49K	299,41K	300,33K	29,50K	29,89K	29,98K

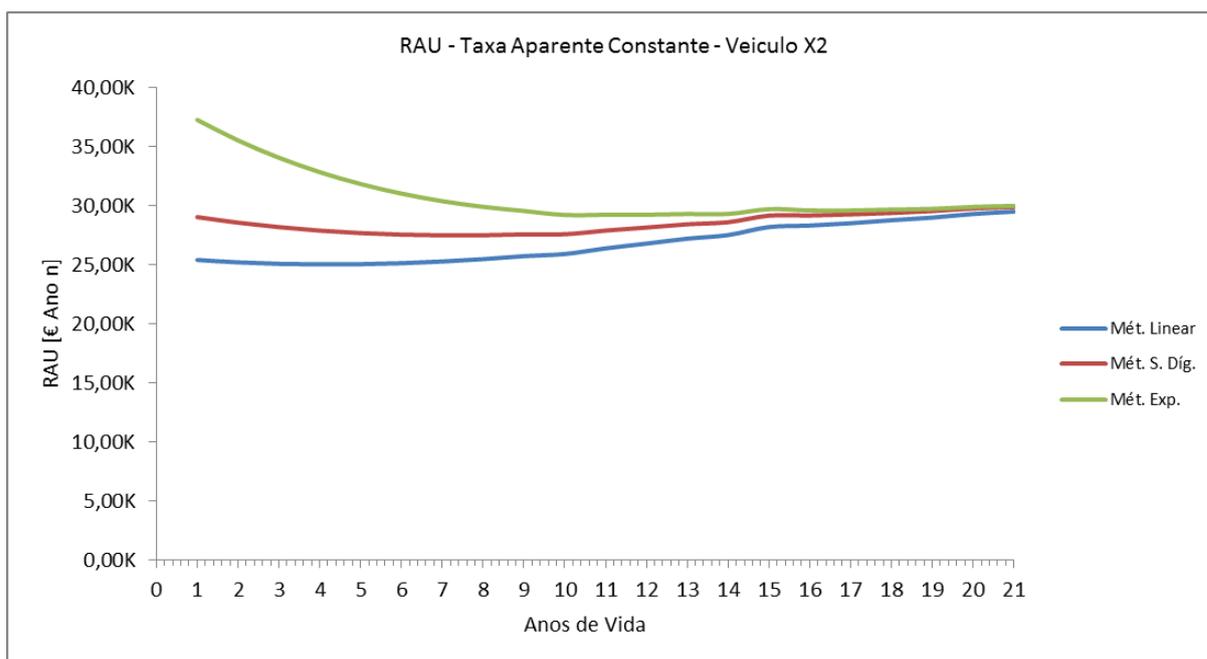


Figura 4.2 – RAU taxa aparente constante – Autocarro X2

Pode constatar-se, através das tabelas 4.1 e 4.2 e das figuras 4.1 e 4.2, que a renda anual uniforme segue valores mais lineares, isto é, não existe uma variação tão acentuada dos valores, como quando se utilizam os custos de capital e as taxas de inflação reais, existindo, neste caso, uma variação da taxa aparente. Tal situação leva a concluir que é mais fácil para o decisor definir o momento mais adequado para a substituição do equipamento, pois existe um só ponto onde a renda anual uniforme é mínima, e este ponto está bem definido, levando a que o decisor não vacile. Todavia, recorda-se que se está a admitir uma taxa aparente constante, o que, na realidade não acontece ao longo dos anos, o que pode levar, conseqüentemente, a uma decisão menos realista.

4.1.1.2 Aplicação do MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP)

Como já referido anteriormente, decidiu-se também estudar e apresentar dois exemplos de determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, segundo o Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente, utilizando os dados do anterior exemplo.

Tabela 4.3 – MCMT-RVP taxa aparente constante – XI

Ano j	i _A [%]	π ₁ (1+i _{Aj})	Veiculo X1				C' [€]			C'' [€ Ano 0]			
			CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	
0	8%				110,66K								
1	8%	1,08	0,98K	11,22K	11,30K	11,30K	11,81K	15,17K	22,79K	23,11K	26,47K	34,09K	
2	8%	1,17	1,02K	10,71K	10,06K	10,68K	11,24K	14,23K	20,44K	21,91K	24,91K	31,12K	
3	8%	1,26	1,12K	10,46K	9,19K	10,18K	10,70K	13,37K	18,42K	20,88K	23,55K	28,60K	
4	8%	1,36	1,27K	10,48K	8,64K	9,80K	10,20K	12,57K	16,66K	19,99K	22,36K	26,46K	
5	8%	1,47	1,49K	10,76K	8,34K	9,51K	9,72K	11,83K	15,14K	19,23K	21,33K	24,65K	
6	8%	1,59	1,77K	11,31K	8,24K	9,29K	9,28K	11,14K	13,82K	18,57K	20,44K	23,11K	
7	8%	1,71	2,10K	12,12K	8,30K	9,15K	8,86K	10,51K	12,66K	18,01K	19,66K	21,81K	
8	8%	1,85	2,50K	13,19K	8,48K	9,07K	8,47K	9,92K	11,65K	17,53K	18,99K	20,71K	
9	8%	2,00	2,95K	14,53K	8,75K	9,03K	8,09K	9,37K	10,75K	17,13K	18,40K	19,78K	
10	8%	2,16	3,64K	15,54K	8,88K	9,02K	7,75K	8,87K	9,96K	16,76K	17,88K	18,98K	
11	8%	2,33	3,91K	18,46K	9,60K	9,07K	7,42K	8,40K	9,26K	16,49K	17,47K	18,33K	
12	8%	2,52	5,97K	20,75K	10,61K	9,20K	7,11K	7,96K	8,64K	16,31K	17,16K	17,84K	
13	8%	2,72	5,13K	22,01K	9,98K	9,26K	6,82K	7,56K	8,09K	16,07K	16,82K	17,35K	
14	8%	2,94	5,40K	21,73K	9,24K	9,26K	6,54K	7,18K	7,59K	15,80K	16,44K	16,85K	
15	8%	3,17	6,06K	26,30K	10,20K	9,32K	6,28K	6,83K	7,15K	15,60K	16,15K	16,46K	
16	8%	3,43	7,05K	17,92K	7,29K	9,19K	6,04K	6,51K	6,74K	15,23K	15,70K	15,94K	
17	8%	3,70	10,06K	17,99K	7,58K	9,10K	5,80K	6,20K	6,38K	14,90K	15,30K	15,48K	
18	8%	4,00	8,61K	21,46K	7,52K	9,01K	5,58K	5,92K	6,05K	14,60K	14,93K	15,06K	
19	8%	4,32	6,38K	27,52K	7,85K	8,95K	5,38K	5,66K	5,75K	14,33K	14,61K	14,70K	
20	8%	4,66	8,72K	25,96K	7,44K	8,87K	5,18K	5,41K	5,48K	14,06K	14,29K	14,35K	
21	8%	5,03	9,36K	26,83K	7,19K	8,79K	5,00K	5,18K	5,23K	13,79K	13,98K	14,02K	

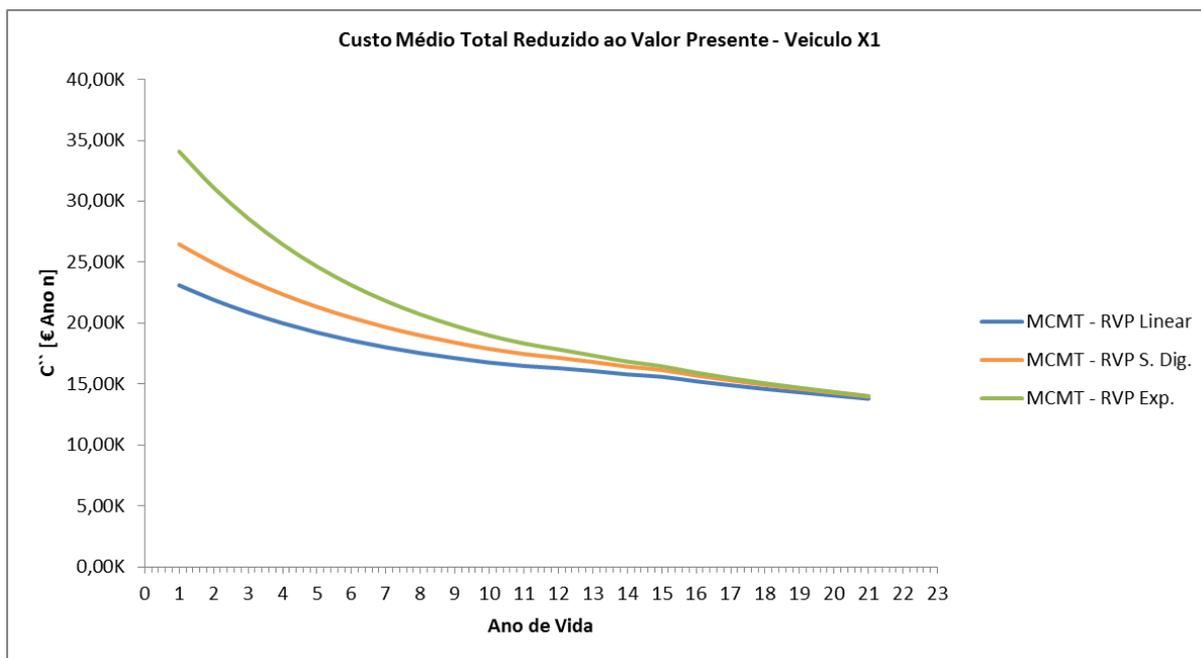


Figura 4.3 – MCMT- RVP taxa aparente constante – XI

Tabela 4.4 – MCMT-RVP taxa aparente constante – X2

Ano j	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	Veículo X2				C' [€]			C'' [€ Ano 0]			
			CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
0	8%				110,66K								
1	8%	1,08	0,98K	11,68K	11,72K	11,72K	11,81K	15,17K	22,79K	23,52K	26,88K	34,50K	
2	8%	1,17	1,01K	11,53K	10,76K	11,24K	11,24K	14,23K	20,44K	22,47K	25,47K	31,68K	
3	8%	1,26	1,11K	11,56K	10,06K	10,84K	10,70K	13,37K	18,42K	21,54K	24,21K	29,26K	
4	8%	1,36	1,26K	11,77K	9,58K	10,53K	10,20K	12,57K	16,66K	20,72K	23,10K	27,19K	
5	8%	1,47	1,48K	12,15K	9,28K	10,28K	9,72K	11,83K	15,14K	20,00K	22,11K	25,42K	
6	8%	1,59	1,75K	12,72K	9,12K	10,09K	9,28K	11,14K	13,82K	19,36K	21,23K	23,90K	
7	8%	1,71	2,09K	13,45K	9,07K	9,94K	8,86K	10,51K	12,66K	18,80K	20,45K	22,60K	
8	8%	1,85	2,48K	14,37K	9,10K	9,84K	8,47K	9,92K	11,65K	18,30K	19,75K	21,48K	
9	8%	2,00	2,94K	15,46K	9,20K	9,76K	8,09K	9,37K	10,75K	17,86K	19,14K	20,52K	
10	8%	2,16	1,90K	16,51K	8,53K	9,64K	7,75K	8,87K	9,96K	17,39K	18,51K	19,60K	
11	8%	2,33	5,52K	18,68K	10,38K	9,71K	7,42K	8,40K	9,26K	17,13K	18,11K	18,97K	
12	8%	2,52	5,32K	19,37K	9,80K	9,72K	7,11K	7,96K	8,64K	16,82K	17,68K	18,36K	
13	8%	2,72	5,07K	21,69K	9,84K	9,73K	6,82K	7,56K	8,09K	16,54K	17,28K	17,81K	
14	8%	2,94	5,71K	20,30K	8,85K	9,66K	6,54K	7,18K	7,59K	16,20K	16,84K	17,25K	
15	8%	3,17	14,50K	22,95K	11,81K	9,81K	6,28K	6,83K	7,15K	16,09K	16,64K	16,95K	
16	8%	3,43	7,27K	16,64K	6,98K	9,63K	6,04K	6,51K	6,74K	15,66K	16,14K	16,37K	
17	8%	3,70	6,12K	21,25K	7,40K	9,50K	5,80K	6,20K	6,38K	15,30K	15,70K	15,88K	
18	8%	4,00	5,34K	25,27K	7,66K	9,40K	5,58K	5,92K	6,05K	14,98K	15,32K	15,45K	
19	8%	4,32	4,13K	26,64K	7,13K	9,28K	5,38K	5,66K	5,75K	14,65K	14,94K	15,03K	
20	8%	4,66	13,22K	22,91K	7,75K	9,20K	5,18K	5,41K	5,48K	14,38K	14,61K	14,68K	
21	8%	5,03	11,56K	21,35K	6,54K	9,07K	5,00K	5,18K	5,23K	14,07K	14,26K	14,30K	

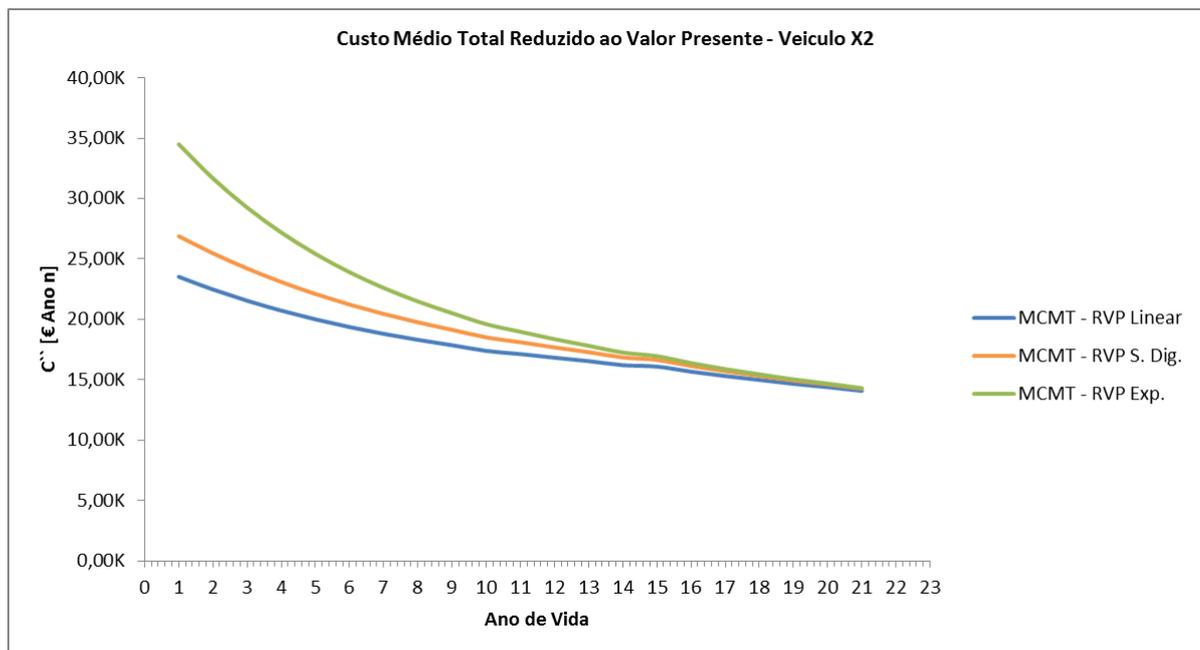


Figura 4.4 – MCMT- RVP taxa aparente constante – X2

Pode constatar-se, quer pelas tabelas 4.3 e 4.4, quer pelas figuras 4.3 e 4.4, que não se atinge o menor custo médio de posse do equipamento e não é evidente o período em que ocorre. Este devia corresponder ao momento mais racional de substituição, visto que o custo médio de posse continua a decrescer e não existe uma inversão na trajectória do custo de posse.

O aumento da competitividade das empresas torna muito mais importante determinar o retorno sobre os investimentos e esse facto depende de garantir a disponibilidade dos activos da empresa ao menor custo. O Retorno sobre o Investimento (ROI) é uma medida para encontrar o valor presente do investimento de capital. As tabelas e figuras abaixo ilustram esses valores para um autocarro hipotético.

Tabela 4.5 – MCMT-RVP – ROI + (C'n + C''n)

Anos	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
<i>Custo de Aquisição - CA</i>				159,52K							
<i>Custo de Aquisição - (CA - RVP)</i>	253,13K	200,94K	172,28K	159,52K	147,70K	126,63K	100,52K	73,89K	50,29K	31,69K	18,49K
<i>Custos de Exploração (CE) - Increm.</i>	20,13K	20,13K	20,13K		20,13K	30,60K	33,79K	32,81K	23,60K	26,42K	34,45K
<i>Custos de Exploração (CE)</i>	18,30K	18,30K	18,30K		18,30K	27,82K	30,72K	29,82K	21,45K	24,01K	31,32K
<i>Custos de Exploração (CE - RVP)</i>	25,36K	23,48K	21,74K		18,64K	26,24K	26,83K	24,11K	16,06K	16,65K	20,10K
<i>C'n</i>	8,45K	24,42K	70,57K		18,64K	22,44K	23,90K	23,95K	22,38K	21,42K	21,23K
<i>Valor de Cessão (VCn)</i>	175,00K	170,00K	165,00K		135,03K	114,30K	96,75K	81,90K	69,33K	58,68K	49,67K
<i>Valor de Cessão (VCn - RVP)</i>	220,45K	198,29K	178,20K		125,03K	97,99K	76,80K	60,20K	47,18K	36,98K	28,98K
<i>C''n</i>	20,31K	19,39K	18,68K	159,52K	34,49K	30,76K	27,57K	24,83K	22,47K	20,42K	18,65K
<i>C'n + C''n</i>	28,76K	43,80K	89,26K	159,52K	53,13K	53,20K	51,47K	48,78K	44,84K	41,84K	39,88K
<i>CE - RPV Acumulado</i>	25,36K	48,84K	70,57K	159,52K	18,64K	44,88K	71,70K	95,82K	111,88K	128,52K	148,63K
<i>Lucro</i>					197,00K	200,00K	210,00K	220,00K	210,00K	210,00K	200,00K
<i>Lucro - RVP</i>					182,41K	171,47K	166,70K	161,71K	142,92K	132,34K	116,70K
<i>ROI + (C'n + C''n) - RVP</i>				-159,52K	-30,24K	-29,43K	-11,40K	12,40K	24,19K	40,21K	45,13K

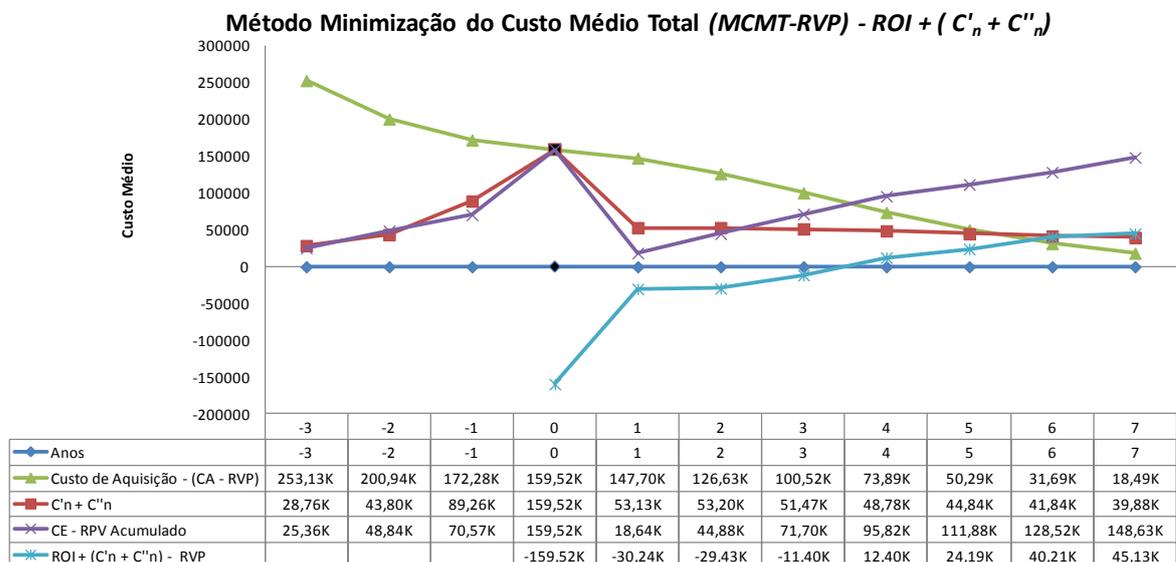


Figura 4.5 – MCMT- RVP – ROI + (C'n + C''n)

Tabela 4.6 – MCMT-RVP – ROI e Vida Útil com Custo Acumulado

Anos	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
Custo de Aquisição - CA				159,52K							
Custo de Aquisição - (CA - RVP)	253,13K	200,94K	172,28K	159,52K	147,70K	126,63K	100,52K	73,89K	50,29K	31,69K	18,49K
Custos de Exploração (CE)	18,30K	18,30K	18,30K		18,30K	27,82K	30,72K	29,82K	21,45K	24,01K	31,32K
Custos de Exploração (CE - RVP)	23,05K	21,34K	19,76K		16,94K	23,85K	24,39K	21,92K	14,60K	15,13K	18,27K
C'_n	7,68K	22,20K	64,16K		16,94K	20,40K	21,73K	21,78K	20,34K	19,47K	19,30K
Valor de Cessão (VC_n)	175,00K	170,00K	165,00K		135,03K	114,30K	96,75K	81,90K	69,33K	58,68K	49,67K
Valor de Cessão(VC_n - RVP)	220,45K	198,29K	178,20K		125,03K	97,99K	76,80K	60,20K	47,18K	36,98K	28,98K
C''_n	20,31K	19,39K	18,68K		34,49K	30,76K	27,57K	24,83K	22,47K	20,42K	18,65K
C'_n + C''_n	28,00K	41,58K	82,84K	159,52K	51,43K	51,16K	49,30K	46,61K	42,81K	39,90K	37,95K
CE - RPV Acumulado	23,05K	44,40K	64,16K	159,52K	16,94K	40,80K	65,18K	87,11K	101,71K	116,84K	135,11K
Lucro					100,00K	100,00K	110,00K	120,00K	120,00K	115,00K	110,00K
Lucro - RVP					92,59K	85,73K	87,32K	88,20K	81,67K	72,47K	64,18K
ROI - RVP				-159,52K	-66,92K	18,81K	106,13K	194,34K	276,01K	348,48K	412,66K
CE - RVP Acumulado					16,94K	40,80K	65,18K	87,11K	101,71K	116,84K	135,11K

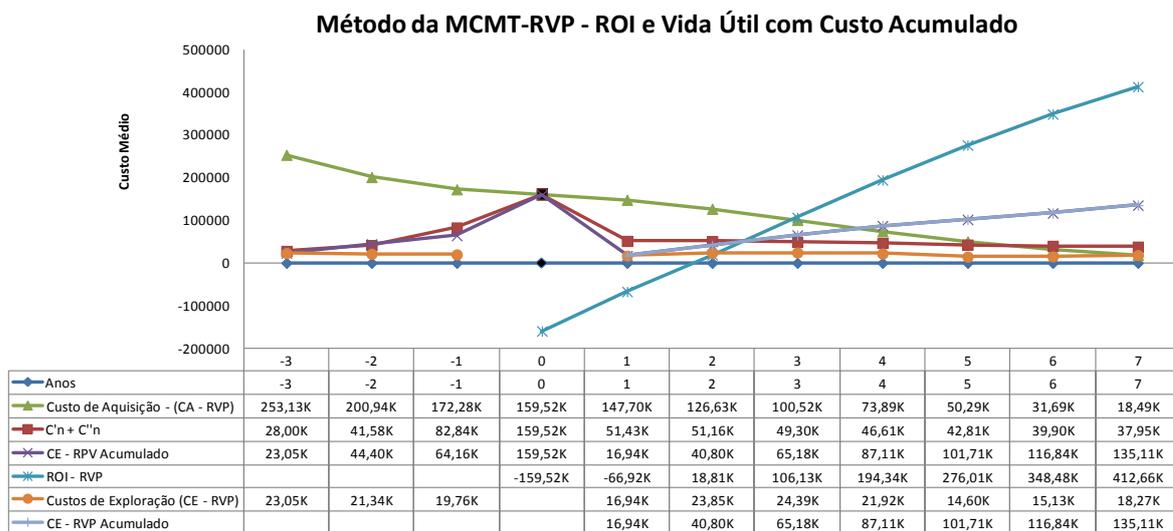


Figura 4.6 – MCMT- RVP – ROI e Vida Útil com Custo Acumulado

Os dois últimos exemplos numéricos permitem cruzar o valor de ROI com os modelos econométricos utilizados para avaliar o tempo de retirada de funcionamento, incluindo a simulação dos valores passado e futuro para as várias variáveis do ciclo de vida. Os valores passados das variáveis foram simulados por valores fixos e, posteriormente, corrigidos pela taxa aparente.

4.1.2. Modelos de substituição – Custos de Manutenção e Operação Teóricos

Este capítulo aborda a determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, com base em custos de manutenção e operação teóricos, no sentido de estudar o seu efeito ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. À semelhança dos capítulos anteriores, este estudo foi realizado às mesmas viaturas e aos mesmos grupos homogêneos utilizados nos capítulos anteriores, de forma a facilitar a sua comparação.

Sendo assim, de seguida apresenta-se, como exemplo, as Viaturas X1 e X2, tendo em consideração os três métodos de determinação do ciclo económico que são apresentados nas tabelas 4.7 a 4.9 e figuras 4.7 a 4.9.

4.1.2.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (RAU)

Pode verificar-se, através da tabela 4.7 e da figura 4.7, que existe um intervalo de substituição evidente, que se situa entre os 12 e os 15 anos de vida. Pode, também, constatar-se, através das curvas do gráfico, que representam os três métodos de depreciação, que seguem a mesma trajetória e que são muito semelhantes, o que facilita a decisão do gestor.

Tabela 4.7 – RAU - Custos teóricos de manutenção e operação – X1

Ano j	Veículo X1					VC [€]			VPL [€ ano 0]			RAU [€ ano n]		
	i _A [%]	m _t (1+i _A)	CM [€]	CO [€]	Σ _t [€]	Met. Linear	Met. S. Dig.	Met. Exp.	Met. Linear	Met. S. Dig.	Met. Exp.	Met. Linear	Met. S. Dig.	Met. Exp.
0	8%				110,66K									
1	8%	1,08	30,00K	20,00K	156,95K	98,85K	95,49K	87,87K	58,10K	61,46K	69,08K	62,75K	66,38K	74,61K
2	8%	1,17	25,00K	20,00K	195,53K	88,19K	82,19K	69,78K	107,35K	113,34K	125,76K	60,20K	63,56K	70,52K
3	8%	1,26	20,00K	20,00K	227,29K	78,56K	70,56K	55,41K	148,73K	156,73K	171,88K	57,71K	60,82K	66,69K
4	8%	1,36	15,00K	20,00K	253,01K	69,88K	60,39K	44,00K	183,14K	192,62K	209,01K	55,29K	58,16K	63,11K
5	8%	1,47	10,00K	20,00K	273,43K	62,05K	51,52K	34,94K	211,39K	221,91K	238,49K	52,94K	55,58K	59,73K
6	8%	1,59	9,00K	20,00K	291,71K	54,99K	43,81K	27,74K	236,71K	247,90K	263,96K	51,20K	53,62K	57,10K
7	8%	1,71	8,00K	20,00K	308,04K	48,64K	37,11K	22,03K	259,40K	270,93K	286,01K	49,82K	52,04K	54,94K
8	8%	1,85	7,00K	20,00K	322,63K	42,94K	31,31K	17,49K	279,70K	291,32K	305,14K	48,67K	50,69K	53,10K
9	8%	2,00	10,50K	20,00K	337,89K	37,80K	26,31K	13,89K	300,08K	311,58K	324,00K	48,04K	49,88K	51,87K
10	8%	2,16	11,25K	20,00K	352,36K	33,20K	21,99K	11,03K	319,17K	330,37K	341,33K	47,57K	49,24K	50,87K
11	8%	2,33	12,00K	20,00K	366,09K	29,07K	18,29K	8,76K	337,02K	347,80K	357,33K	47,21K	48,72K	50,05K
12	8%	2,52	12,75K	20,00K	379,09K	25,37K	15,12K	6,96K	353,73K	363,98K	372,14K	46,94K	48,30K	49,38K
13	8%	2,72	15,00K	20,00K	391,96K	22,05K	12,41K	5,52K	369,91K	379,55K	386,44K	46,80K	48,02K	48,89K
14	8%	2,94	16,00K	20,00K	404,22K	19,09K	10,12K	4,39K	385,13K	394,10K	399,83K	46,71K	47,80K	48,50K
15	8%	3,17	20,00K	20,00K	416,83K	16,45K	8,19K	3,48K	400,38K	408,64K	413,35K	46,78K	47,74K	48,29K
16	8%	3,43	30,00K	20,00K	431,42K	14,09K	6,56K	2,77K	417,33K	424,86K	428,66K	47,15K	48,00K	48,43K
17	8%	3,70	40,00K	20,00K	447,64K	12,00K	5,20K	2,20K	435,64K	442,44K	445,44K	47,76K	48,50K	48,83K
18	8%	4,00	50,00K	20,00K	465,16K	10,13K	4,40K	1,74K	455,03K	460,76K	463,41K	48,55K	49,16K	49,45K
19	8%	4,32	60,00K	20,00K	483,69K	8,48K	3,15K	1,38K	475,22K	480,54K	482,31K	49,48K	50,04K	50,22K
20	8%	4,66	70,00K	20,00K	503,00K	7,01K	2,40K	1,10K	495,99K	500,61K	501,90K	50,52K	50,99K	51,12K
21	8%	5,03	80,00K	20,00K	522,87K	5,72K	1,79K	0,87K	517,15K	521,08K	522,00K	51,63K	52,02K	52,11K

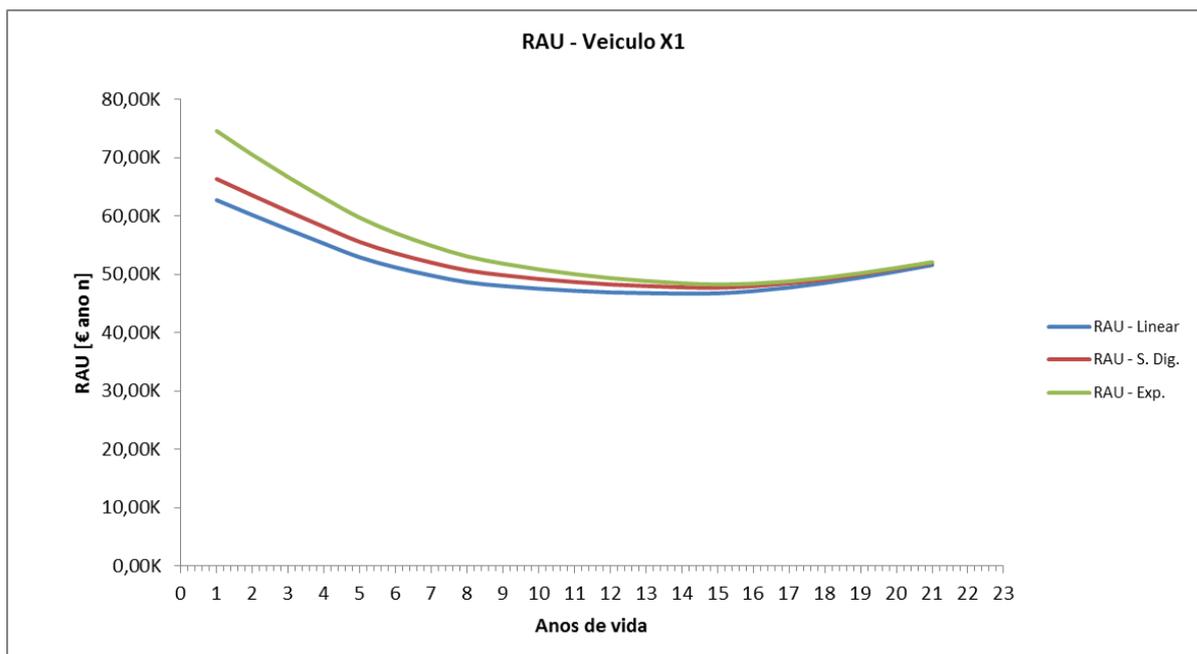


Figura 4.7 – RAU - Custos teóricos de manutenção e operação – X1

4.1.2.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT)

Segundo a tabela 4.8 e a figura 4.8 pode concluir-se que existe um intervalo de substituição evidente, que se situa entre os 12 e os 14 anos de vida. Pode, ainda, constatar-se através das curvas do gráfico, que representam os três métodos de depreciação, que seguem a mesma trajetória e que são muito semelhantes, o que facilita a decisão do gestor.

Tabela 4.8 – MCMT - Custos teóricos de manutenção e operação – XI

Ano j	Veículo X1				C' [€]			C'' [€ Ano 0]		
	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Met. Linear	Met. S. Díg.	Met. Exp.	Met. Linear	Met. S. Díg.	Met. Exp.
0			110,66K							
1	30,00K	20,00K	50,00K	50,00K	3,90K	7,53K	15,76K	53,90K	57,53K	65,76K
2	25,00K	20,00K	45,00K	47,50K	3,90K	7,39K	14,63K	51,40K	54,89K	62,13K
3	20,00K	20,00K	40,00K	45,00K	3,90K	7,26K	13,62K	48,90K	52,26K	58,62K
4	15,00K	20,00K	35,00K	42,50K	3,90K	7,12K	12,70K	46,40K	49,62K	55,20K
5	10,00K	20,00K	30,00K	40,00K	3,90K	6,99K	11,86K	43,90K	46,99K	51,86K
6	9,00K	20,00K	29,00K	38,17K	3,90K	6,86K	11,11K	42,07K	45,02K	49,27K
7	8,00K	20,00K	28,00K	36,71K	3,90K	6,72K	10,41K	40,61K	43,44K	47,13K
8	7,00K	20,00K	27,00K	35,50K	3,90K	6,59K	9,78K	39,40K	42,09K	45,28K
9	10,50K	20,00K	30,50K	34,94K	3,90K	6,45K	9,21K	38,84K	41,40K	44,15K
10	11,25K	20,00K	31,25K	34,58K	3,90K	6,32K	8,68K	38,47K	40,89K	43,26K
11	12,00K	20,00K	32,00K	34,34K	3,90K	6,18K	8,20K	38,24K	40,52K	42,54K
12	12,75K	20,00K	32,75K	34,21K	3,90K	6,05K	7,76K	38,11K	40,26K	41,97K
13	15,00K	20,00K	35,00K	34,27K	3,90K	5,91K	7,36K	38,17K	40,18K	41,63K
14	16,00K	20,00K	36,00K	34,39K	3,90K	5,78K	6,98K	38,29K	40,17K	41,38K
15	20,00K	20,00K	40,00K	34,77K	3,90K	5,65K	6,64K	38,67K	40,41K	41,41K
16	30,00K	20,00K	50,00K	35,72K	3,90K	5,51K	6,32K	39,62K	41,23K	42,04K
17	40,00K	20,00K	60,00K	37,15K	3,90K	5,38K	6,03K	41,05K	42,52K	43,18K
18	50,00K	20,00K	70,00K	38,97K	3,90K	5,24K	5,76K	42,87K	44,22K	44,73K
19	60,00K	20,00K	80,00K	41,13K	3,90K	5,11K	5,51K	45,03K	46,24K	46,64K
20	70,00K	20,00K	90,00K	43,58K	3,90K	4,97K	5,28K	47,47K	48,55K	48,85K
21	80,00K	20,00K	100,00K	46,26K	3,90K	4,84K	5,06K	50,16K	51,10K	51,32K

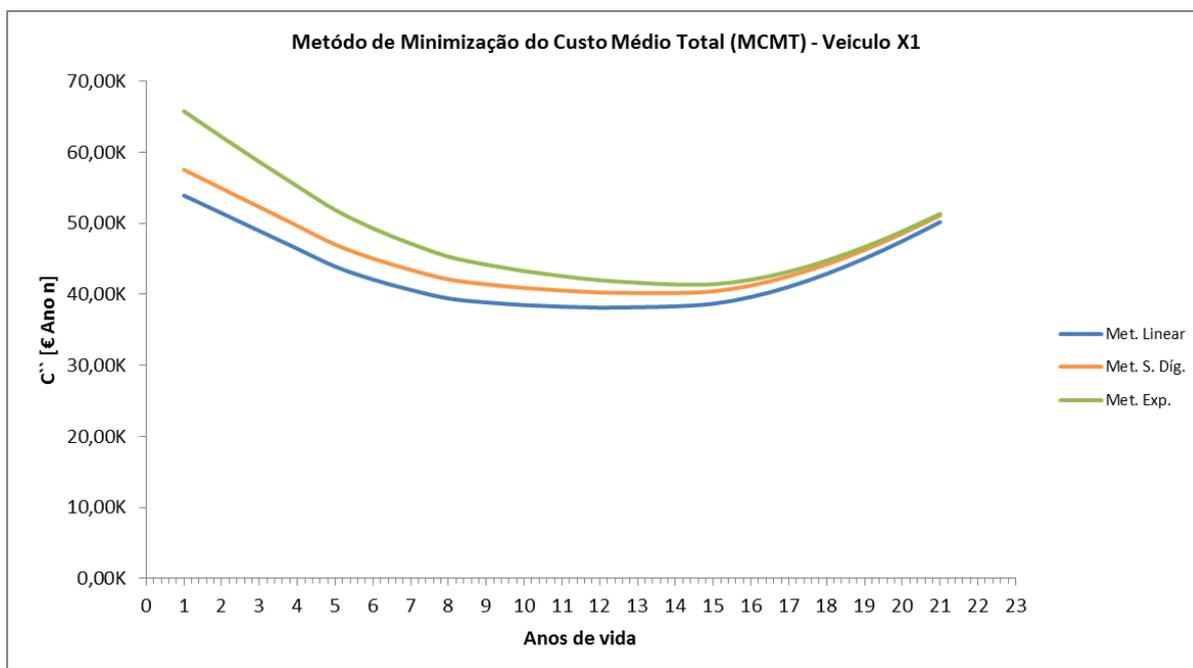


Figura 4.8 – MCMT - Custos teóricos de manutenção e operação – XI

No que concerne à aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP), a tabela 4.9 e a figura 4.9 apresentam a sua aplicação.

Tabela 4.9 – MCMT-RVP - Custos teóricos de manutenção e operação – XI

Ano j	Veículo X1						C' [€]			C'' [€ Ano 0]		
	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Met. Linear	Met. S. Díg.	Met. Exp.	Met. Linear	Met. S. Díg.	Met. Exp.
0	8%				110,66K							
1	8%	1,08	30,00K	20,00K	46,30K	46,30K	11,81K	15,17K	22,79K	58,10K	61,46K	69,08K
2	8%	1,17	25,00K	20,00K	38,58K	42,44K	11,24K	14,23K	20,44K	53,67K	56,67K	62,88K
3	8%	1,26	20,00K	20,00K	31,75K	38,88K	10,70K	13,37K	18,42K	49,58K	52,24K	57,29K
4	8%	1,36	15,00K	20,00K	25,73K	35,59K	10,20K	12,57K	16,66K	45,78K	48,16K	52,25K
5	8%	1,47	10,00K	20,00K	20,42K	32,55K	9,72K	11,83K	15,14K	42,28K	44,38K	47,70K
6	8%	1,59	9,00K	20,00K	18,27K	30,17K	9,28K	11,14K	13,82K	39,45K	41,32K	43,99K
7	8%	1,71	8,00K	20,00K	16,34K	28,20K	8,86K	10,51K	12,66K	37,06K	38,70K	40,86K
8	8%	1,85	7,00K	20,00K	14,59K	26,50K	8,47K	9,92K	11,65K	34,96K	36,41K	38,14K
9	8%	2,00	10,50K	20,00K	15,26K	25,25K	8,09K	9,37K	10,75K	33,34K	34,62K	36,00K
10	8%	2,16	11,25K	20,00K	14,47K	24,17K	7,75K	8,87K	9,96K	31,92K	33,04K	34,13K
11	8%	2,33	12,00K	20,00K	13,72K	23,22K	7,42K	8,40K	9,26K	30,64K	31,62K	32,48K
12	8%	2,52	12,75K	20,00K	13,01K	22,37K	7,11K	7,96K	8,64K	29,48K	30,33K	31,01K
13	8%	2,72	15,00K	20,00K	12,87K	21,64K	6,82K	7,56K	8,09K	28,45K	29,20K	29,73K
14	8%	2,94	16,00K	20,00K	12,26K	20,97K	6,54K	7,18K	7,59K	27,51K	28,15K	28,56K
15	8%	3,17	20,00K	20,00K	12,61K	20,41K	6,28K	6,83K	7,15K	26,69K	27,24K	27,56K
16	8%	3,43	30,00K	20,00K	14,59K	20,05K	6,04K	6,51K	6,74K	26,08K	26,55K	26,79K
17	8%	3,70	40,00K	20,00K	16,22K	19,82K	5,80K	6,20K	6,38K	25,63K	26,03K	26,20K
18	8%	4,00	50,00K	20,00K	17,52K	19,69K	5,58K	5,92K	6,05K	25,28K	25,62K	25,75K
19	8%	4,32	60,00K	20,00K	18,54K	19,63K	5,38K	5,66K	5,75K	25,01K	25,29K	25,38K
20	8%	4,66	70,00K	20,00K	19,31K	19,62K	5,18K	5,41K	5,48K	24,80K	25,03K	25,10K
21	8%	5,03	80,00K	20,00K	19,87K	19,63K	5,00K	5,18K	5,23K	24,63K	24,81K	24,86K

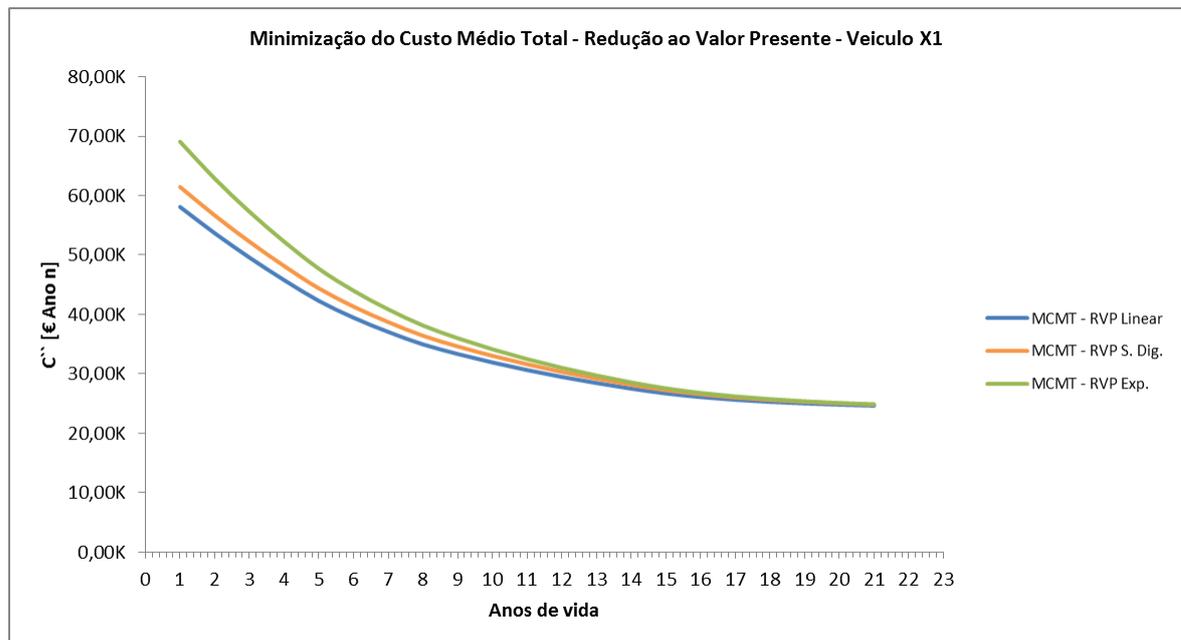


Figura 4.9 – MCMT- RVP - Custos teóricos de manutenção e operação – XI

Tal como referido no capítulo anterior, relativamente ao cálculo do MCMT-RVP, pode verificar-se, quer pela tabela 4.9 quer pela figura 4.9, que não se atinge o menor custo médio de posse do equipamento e não é evidente o período em que ocorre.

4.2 Influência da Taxa Aparente no Tempo de Substituição

Este capítulo aborda a influência da Taxa Aparente na determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, no sentido de estudar o seu efeito ao longo do seu ciclo de vida. Tal como nos capítulos anteriores, este estudo foi realizado com as mesmas viaturas e com os mesmos grupos homogéneos utilizados anteriormente, de forma a facilitar a sua comparação.

A figura 4.10 apresenta o gráfico da variação das taxas de inflação em Portugal entre 1993 e 2014, que corresponde ao período de estudo usado em todos os modelos utilizados.

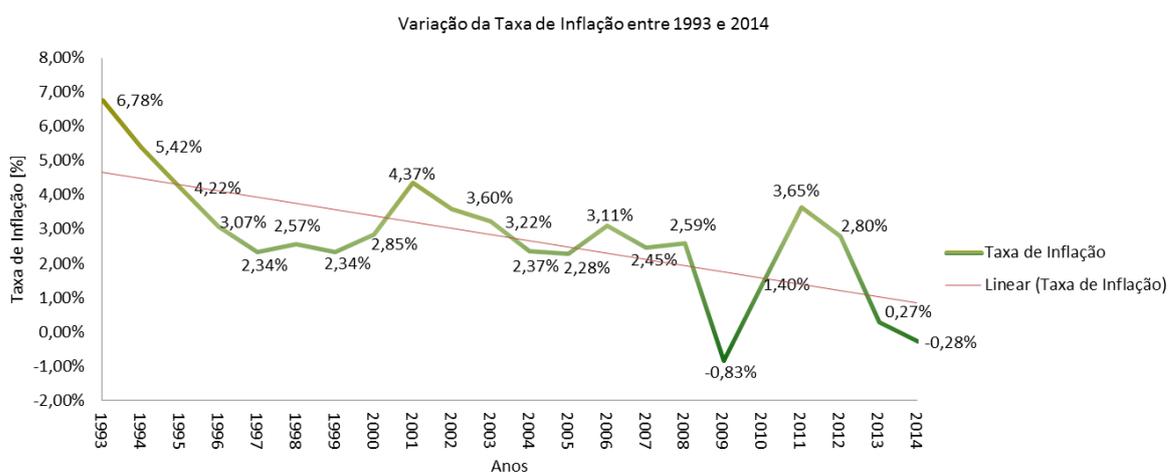


Figura 4.10 – Variação da Taxa de Inflação entre 1993 e 2014

A figura 4.11 ilustra a variação das taxas de juro em Portugal no intervalo precedente de anos.

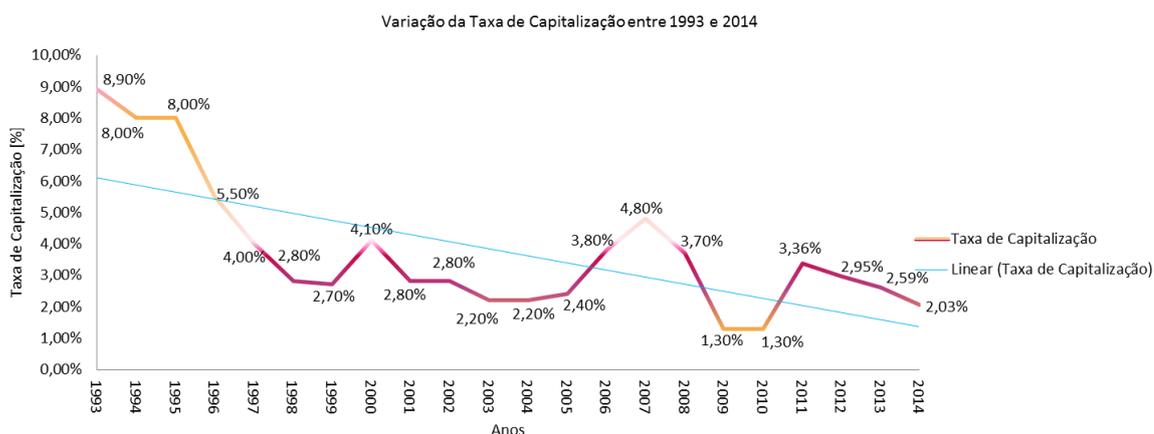


Figura 4.11 – Variação da Taxa de Capitalização entre 1993 e 2014

Por fim, ilustra-se a evolução ou variação da taxa aparente, resultante das duas variáveis precedentes, para aquele intervalo de tempo (figura 4.12).

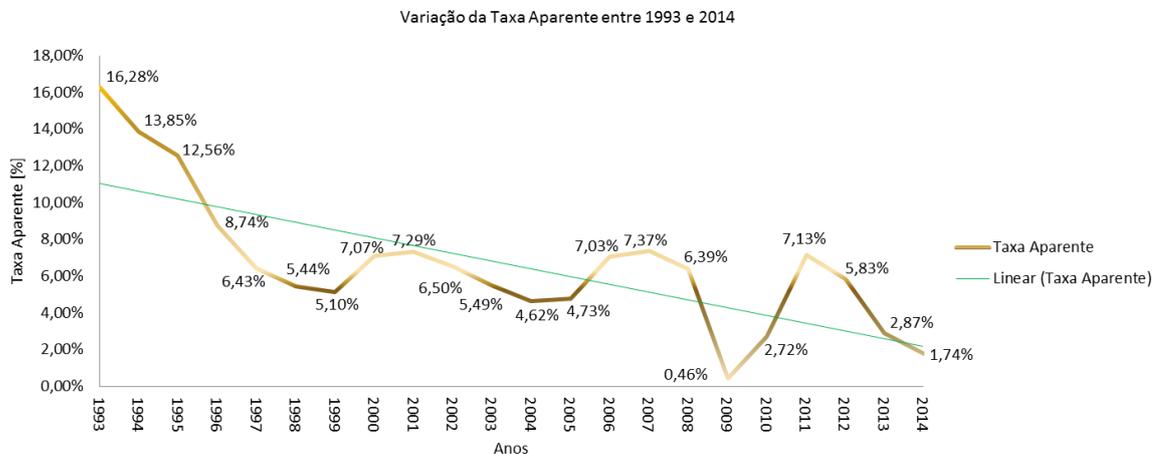


Figura 4.12 – Variação da Taxa Aparente entre 1993 e 2014

De seguida, pode verificar-se na tabela 4.10 e na figura 4.13, a influência da taxa aparente no cálculo da renda anual uniforme, tendo em consideração o decréscimo da taxa aparente.

Tabela 4.10 – Decréscimo da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)

Veículo: X1												VC [€]	VPL [€ Year n]	RAU [€ Ano n]
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp. <
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,00K	10,00K	11,00K	120,85K	87,91K	32,94K	35,56K
1995	2		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,05K	11,00K	12,05K	131,25K	70,11K	61,14K	34,16K
1996	3		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,10K	12,00K	13,10K	141,84K	56,13K	85,71K	32,98K
1997	4		4%	4%	0,07	7%	1,07	1,15K	13,00K	14,15K	152,63K	45,11K	107,52K	31,98K
1998	5		4%	4%	0,07	7%	1,07	1,20K	14,00K	15,20K	163,52K	36,39K	127,13K	31,11K
1999	6		3%	3%	0,07	7%	1,07	1,25K	15,00K	16,25K	174,80K	29,48K	145,32K	30,41K
2000	7		3%	3%	0,07	7%	1,07	1,30K	16,00K	17,30K	186,22K	23,97K	162,25K	29,80K
2001	8		3%	3%	0,07	7%	1,07	1,35K	17,00K	18,35K	197,90K	19,56K	178,33K	29,29K
2002	9		3%	3%	0,06	6%	1,06	1,40K	18,00K	19,40K	209,87K	16,03K	193,84K	28,87K
2003	10		3%	3%	0,06	6%	1,06	1,45K	19,00K	20,45K	222,17K	13,19K	208,99K	28,52K
2004	11		3%	3%	0,06	6%	1,06	1,50K	20,00K	21,50K	234,85K	10,89K	223,96K	28,23K
2005	12		3%	3%	0,06	6%	1,06	1,55K	21,00K	22,55K	247,96K	9,03K	238,93K	28,00K
2006	13		3%	3%	0,05	5%	1,05	1,60K	22,00K	23,60K	261,54K	7,51K	254,03K	27,82K
2007	14		3%	3%	0,05	5%	1,05	1,65K	23,00K	24,65K	275,67K	6,28K	269,39K	27,68K
2008	15		3%	3%	0,05	5%	1,05	1,70K	24,00K	25,70K	290,41K	5,27K	285,14K	27,59K
2009	16		2%	2%	0,05	5%	1,05	1,75K	25,00K	26,75K	305,83K	4,44K	301,40K	27,53K
2010	17		2%	2%	0,05	5%	1,05	1,80K	26,00K	27,80K	322,03K	3,75K	318,28K	27,50K
2011	18		2%	2%	0,04	4%	1,04	1,85K	27,00K	28,85K	339,08K	3,18K	335,89K	27,51K
2012	19		2%	2%	0,04	4%	1,04	1,90K	28,00K	29,90K	357,09K	2,71K	354,38K	27,54K
2013	20		2%	2%	0,04	4%	1,04	1,95K	29,00K	30,95K	376,18K	2,32K	373,86K	27,61K
2014	21		2%	2%	0,04	4%	1,04	2,00K	30,00K	32,00K	396,46K	1,99K	394,47K	27,69K

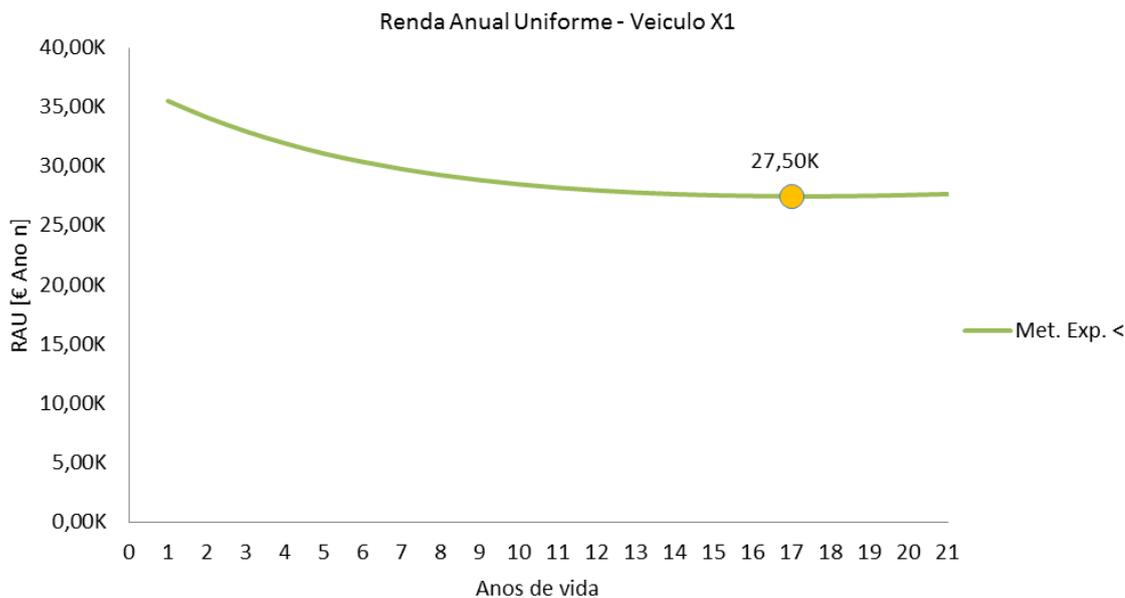


Figura 4.13 – Decréscimo da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)

Verifica-se na tabela 4.10 e na figura 4.13 que o ponto de substituição se situa nos 17 anos de vida; também se pode constatar que o valor da renda anual uniforme é de 27,50 K€.

Tabela 4.11 – Aumento da Taxa Aparente – Renda Anual Uniforme (Bus X1)

Veiculo X1												VC [€]	VPL [€ Ano n]	RAU [€ Ano n]
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp. >
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,00K	10,00K	11,00K	120,81K	87,57K	33,24K	36,02K
1995	2		4%	4%	0,09	9%	1,09	1,05K	11,00K	12,05K	131,01K	69,04K	61,97K	35,03K
1996	3		4%	4%	0,09	9%	1,09	1,10K	12,00K	13,10K	141,13K	54,22K	86,91K	34,20K
1997	4		4%	4%	0,09	9%	1,09	1,15K	13,00K	14,15K	151,04K	42,42K	108,62K	33,52K
1998	5		5%	5%	0,09	9%	1,09	1,20K	14,00K	15,20K	160,71K	33,06K	127,65K	32,99K
1999	6		5%	5%	0,09	9%	1,09	1,25K	15,00K	16,25K	169,82K	25,66K	144,16K	32,53K
2000	7		5%	5%	0,10	10%	1,10	1,30K	16,00K	17,30K	178,53K	19,85K	158,68K	32,19K
2001	8		5%	5%	0,10	10%	1,10	1,35K	17,00K	18,35K	186,69K	15,29K	171,39K	31,93K
2002	9		5%	5%	0,10	10%	1,10	1,40K	18,00K	19,40K	194,25K	11,74K	182,51K	31,74K
2003	10		5%	5%	0,10	10%	1,10	1,45K	19,00K	20,45K	201,19K	8,98K	192,22K	31,62K
2004	11		5%	5%	0,10	10%	1,10	1,50K	20,00K	21,50K	207,49K	6,84K	200,65K	31,55K
2005	12		5%	5%	0,11	11%	1,11	1,55K	21,00K	22,55K	213,13K	5,19K	207,94K	31,53K
2006	13		5%	5%	0,11	11%	1,11	1,60K	22,00K	23,60K	218,12K	3,92K	214,20K	31,54K
2007	14		5%	5%	0,11	11%	1,11	1,65K	23,00K	24,65K	222,47K	2,95K	219,52K	31,59K
2008	15		6%	6%	0,11	11%	1,11	1,70K	24,00K	25,70K	226,20K	2,22K	223,98K	31,67K
2009	16		6%	6%	0,12	12%	1,12	1,75K	25,00K	26,75K	229,33K	1,66K	227,67K	31,77K
2010	17		6%	6%	0,12	12%	1,12	1,80K	26,00K	27,80K	231,89K	1,23K	230,65K	31,89K
2011	18		6%	6%	0,12	12%	1,12	1,85K	27,00K	28,85K	233,92K	0,92K	233,00K	32,02K
2012	19		6%	6%	0,12	12%	1,12	1,90K	28,00K	29,90K	235,45K	0,68K	234,78K	32,16K
2013	20		6%	6%	0,12	12%	1,12	1,95K	29,00K	30,95K	236,53K	0,50K	236,03K	32,32K
2014	21		6%	6%	0,13	13%	1,13	2,00K	30,00K	32,00K	237,20K	0,37K	236,83K	32,48K

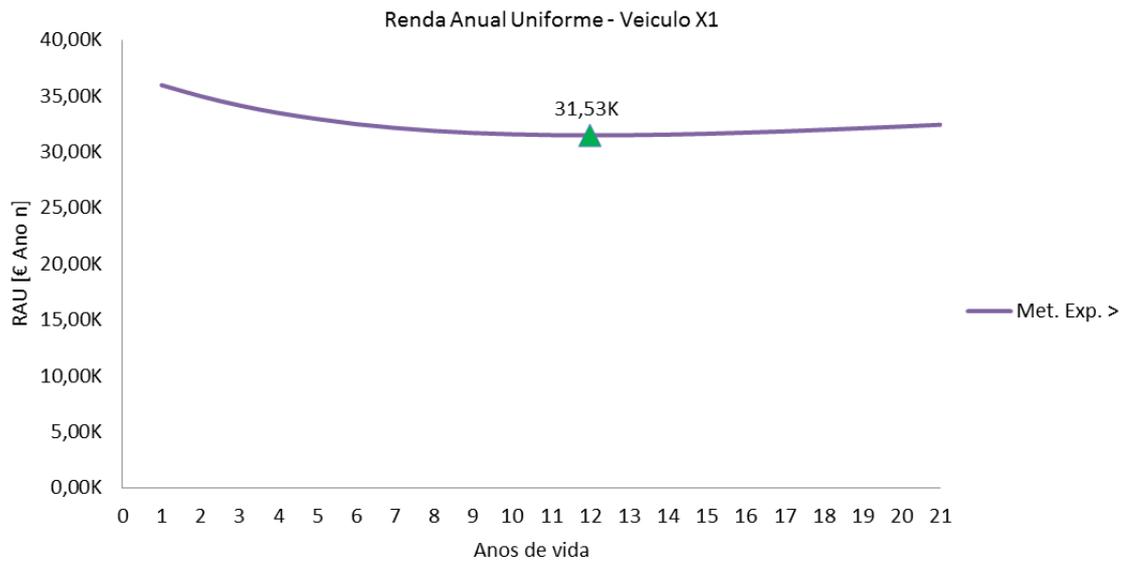


Figura 4.14 – Aumento da Taxa Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)

A tabela 4.11 e a figura 4.14 mostram que o ponto de substituição se situa nos 12 anos de vida, tendo em consideração o aumento da taxa de inflação ao longo dos anos o que, conseqüentemente, faz aumentar a taxa aparente. Também se pode comprovar que o valor da renda anual uniforme é de 31,53 K, e que o incremento da taxa aparente aumenta substancialmente os valores da renda anual uniforme do autocarro.

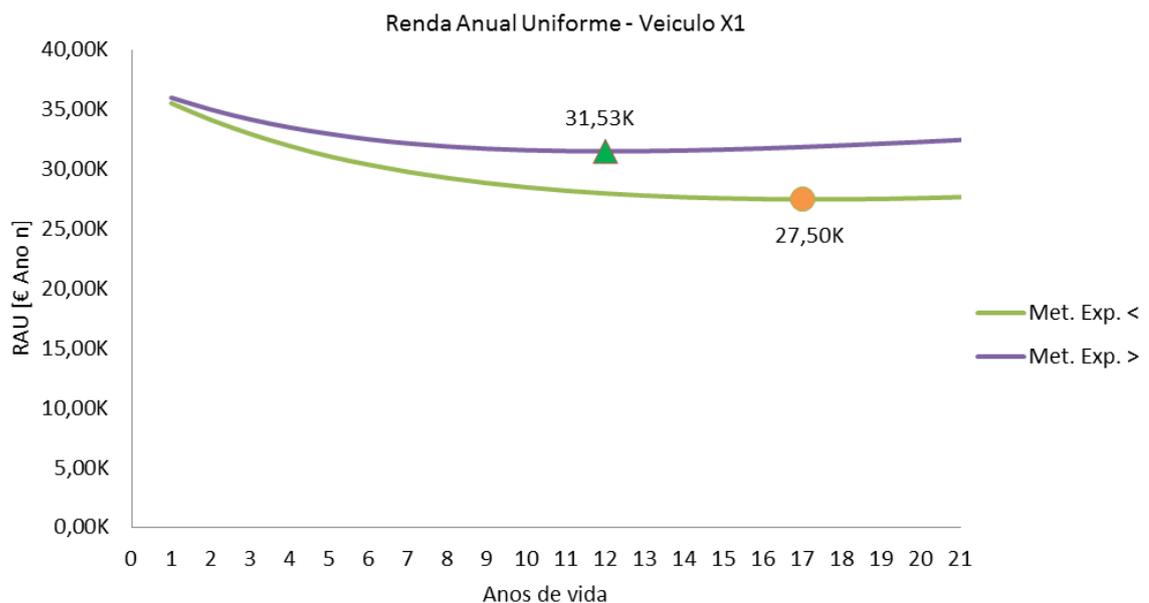


Figura 4.15 – Influência da variação da Taxa de Aparente - Renda Anual Uniforme (X1)

Na figura 4.15 verifica-se a elevada influência da taxa aparente nos modelos econométricos de substituição. Pode também constatar-se que o aumento ou a diminuição da taxa aparente ao longo dos anos faz variar o ponto de substituição. Tendo também em consideração a mesma figura, o ponto de substituição pode variar 5 anos, isto é, o ponto de substituição é de 12 anos se houver um incremento ao longo dos anos da taxa aparente. Caso contrário, se for considerado um decaimento dessa mesma taxa, o ponto de substituição situa-se nos 18 anos. Como já foi referido atrás, é também notório o aumento da renda anual uniforme do autocarro. Deste modo, pode afirmar-se que o período de substituição varia de forma considerável com a taxa aparente, influenciando o resultado e a decisão final do gestor.

4.3 Influência do Custo do Combustível no Tempo de Substituição

A variação dos preços do petróleo nos mercados internacionais influencia de forma decisiva os custos de transporte, pois, em praticamente todos os meios de transporte, o combustível gasto tem um preço directamente ligado ao preço do barril de crude.

O preço dos combustíveis é muito variável e condicionado por vários factores externos a nível mundial, sobretudo nos países pertencentes à Organização dos Países Exportadores de Petróleo - OPEP. Logo, o custo de transporte de uma determinada mercadoria pode variar bastante conforme os preços de combustíveis praticados.

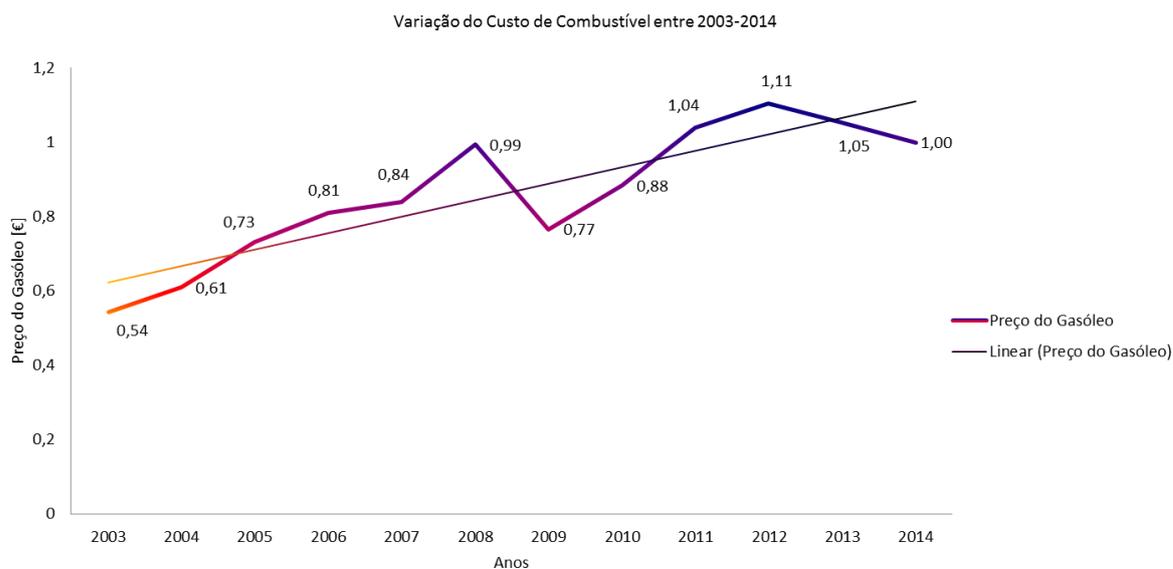


Figura 4.16 – Variação do custo de Combustível entre 2003 e 2014

A figura 4.16 apresenta a variação do preço médio dos combustíveis (gasóleo) num período compreendido entre 2003 a 2014 - dados referentes a grande parte do intervalo de tempo do presente estudo.

Pode constatar-se, pelo gráfico da figura 4.16, que o preço médio varia bastante ao longo dos anos, mas teve uma linha de tendência crescente no intervalo de tempo do estudo.

O gráfico da figura seguinte ilustra os custos de operação de um autocarro tendo em consideração o preço dos combustíveis (gasóleo) reflectidos num período de 2003 a 2014.

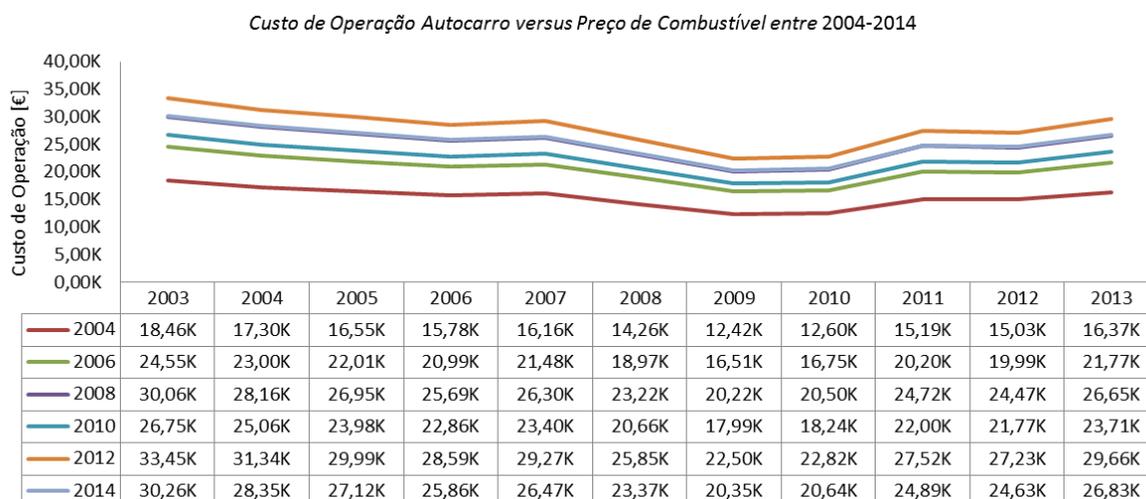


Figura 4.17 – Custo de Operação Autocarro versus Preço de Combustível

As tabelas e as figuras a seguir apresentadas ilustram a influência do preço do gasóleo no tempo de substituição dos autocarros. O exemplo seguinte (tabela 4.12 e figura 4.18) utiliza o preço médio do gasóleo referente ao ano de 2012, valor mais alto atingido entre 2003 e 2014. Por esse motivo, fez-se reportar este preço nos diversos anos. Deste modo, provou-se que o aumento do preço de gasóleo influencia o tempo de substituição, em particular no caso de autocarros urbanos de transporte público.

Tabela 4.12 – Incremento do Preço de Gasóleo - Renda Anual Uniforme (X1)

Veiculo X1												VC [€]	VPL [€ Ano n]	RAU [€ Ano n]
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp. >
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,00K	11,22K	12,22K	121,96K	87,74K	34,22K	37,01K
1995	2		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,05K	10,71K	11,76K	132,01K	69,57K	62,44K	35,09K
1996	3		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,10K	10,46K	11,56K	141,15K	55,16K	85,99K	33,46K
1997	4		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,15K	10,48K	11,63K	149,65K	43,74K	105,91K	32,09K
1998	5		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,20K	10,76K	11,96K	157,73K	34,68K	123,05K	30,95K
1999	6		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,25K	11,31K	12,56K	165,58K	27,50K	138,08K	30,01K
2000	7		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,30K	12,12K	13,42K	173,32K	21,80K	151,52K	29,26K
2001	8		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,35K	13,19K	14,54K	181,09K	17,29K	163,80K	28,68K
2002	9		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,40K	14,53K	15,93K	188,95K	13,71K	175,24K	28,24K
2003	10		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,45K	15,54K	16,99K	196,70K	10,87K	185,83K	27,90K
2004	11		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,50K	18,46K	19,96K	205,13K	8,62K	196,51K	27,74K
2005	12		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,55K	20,75K	22,30K	213,83K	6,83K	206,99K	27,70K
2006	13		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,60K	22,01K	23,61K	222,34K	5,42K	216,92K	27,69K
2007	14		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,65K	21,73K	23,38K	230,14K	4,30K	225,84K	27,65K
2008	15		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,70K	29,27K	30,97K	239,69K	3,41K	236,28K	27,88K
2009	16		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,75K	25,85K	27,60K	247,56K	2,70K	244,86K	27,95K
2010	17		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,80K	22,50K	24,30K	253,96K	2,14K	251,82K	27,90K
2011	18		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,85K	22,82K	24,67K	259,97K	1,70K	258,27K	27,87K
2012	19		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,90K	27,52K	29,42K	266,60K	1,35K	265,25K	27,94K
2013	20		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,95K	27,23K	29,18K	272,68K	1,07K	271,61K	27,99K
2014	21		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,00K	29,66K	31,66K	278,78K	0,85K	277,93K	28,09K

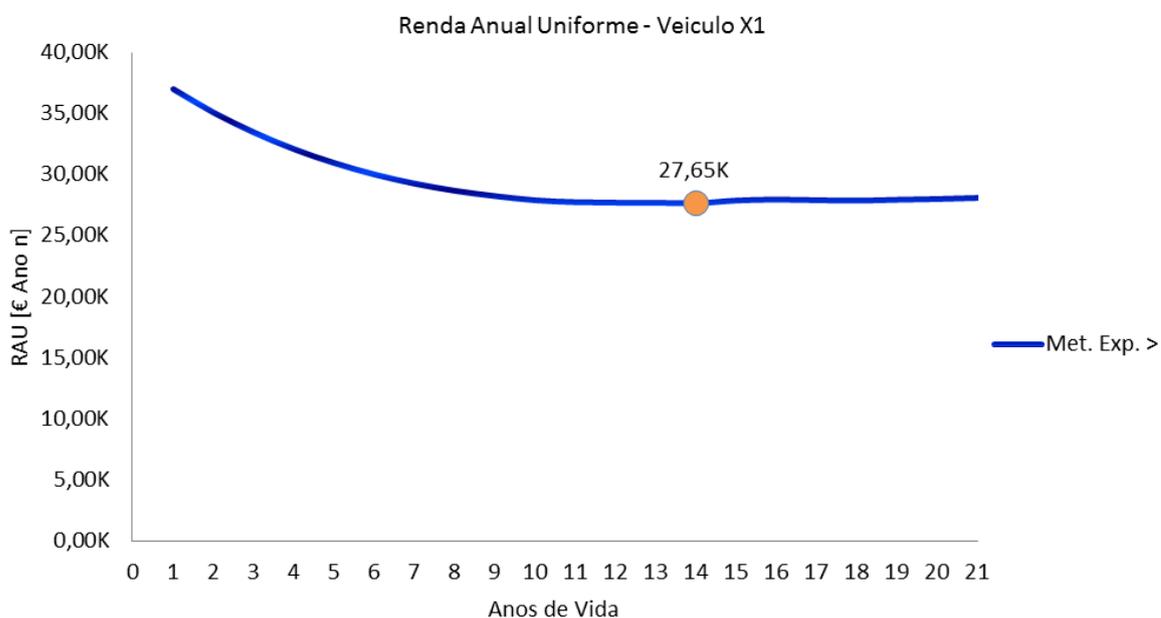


Figura 4.18 – Incremento do Preço de Gasóleo - Renda Anual Uniforme (X1)

Pode constatar-se, quer pela tabela 4.12 quer pela figura 4.18, que o ponto de substituição se situa nos 14 anos de vida. Também se pode verificar que o valor da renda anual uniforme é de 27,65 K€.

Tabela 4.13 – Diminuição do Preço de gasóleo – Renda Anual Uniforme (X1)

Veículo X1												VC [€]	VPL [€ Ano n]	RAU [€ Ano n]
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp. <
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,00K	11,22K	12,22K	121,96K	87,74K	34,22K	37,01K
1995	2		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,05K	10,71K	11,76K	132,01K	69,57K	62,44K	35,09K
1996	3		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,10K	10,46K	11,56K	141,15K	55,16K	85,99K	33,46K
1997	4		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,15K	10,48K	11,63K	149,65K	43,74K	105,91K	32,09K
1998	5		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,20K	10,76K	11,96K	157,73K	34,68K	123,05K	30,95K
1999	6		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,25K	11,31K	12,56K	165,58K	27,50K	138,08K	30,01K
2000	7		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,30K	12,12K	13,42K	173,32K	21,80K	151,52K	29,26K
2001	8		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,35K	13,19K	14,54K	181,09K	17,29K	163,80K	28,68K
2002	9		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,40K	14,53K	15,93K	188,95K	13,71K	175,24K	28,24K
2003	10		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,45K	15,54K	16,99K	196,70K	10,87K	185,83K	27,90K
2004	11		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,50K	18,46K	19,96K	205,13K	8,62K	196,51K	27,74K
2005	12		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,55K	20,75K	22,30K	213,83K	6,83K	206,99K	27,70K
2006	13		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,60K	22,01K	23,61K	222,34K	5,42K	216,92K	27,69K
2007	14		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,65K	21,73K	23,38K	230,14K	4,30K	225,84K	27,65K
2008	15		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,70K	26,47K	28,17K	238,83K	3,41K	235,42K	27,77K
2009	16		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,75K	23,37K	25,12K	245,99K	2,70K	243,29K	27,77K
2010	17		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,80K	20,35K	22,15K	251,83K	2,14K	249,68K	27,67K
2011	18		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,85K	20,64K	22,49K	257,31K	1,70K	255,61K	27,58K
2012	19		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,90K	24,89K	26,79K	263,34K	1,35K	261,99K	27,60K
2013	20		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,95K	24,63K	26,58K	268,88K	1,07K	267,81K	27,60K
2014	21		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,00K	26,83K	28,83K	274,43K	0,85K	273,58K	27,65K

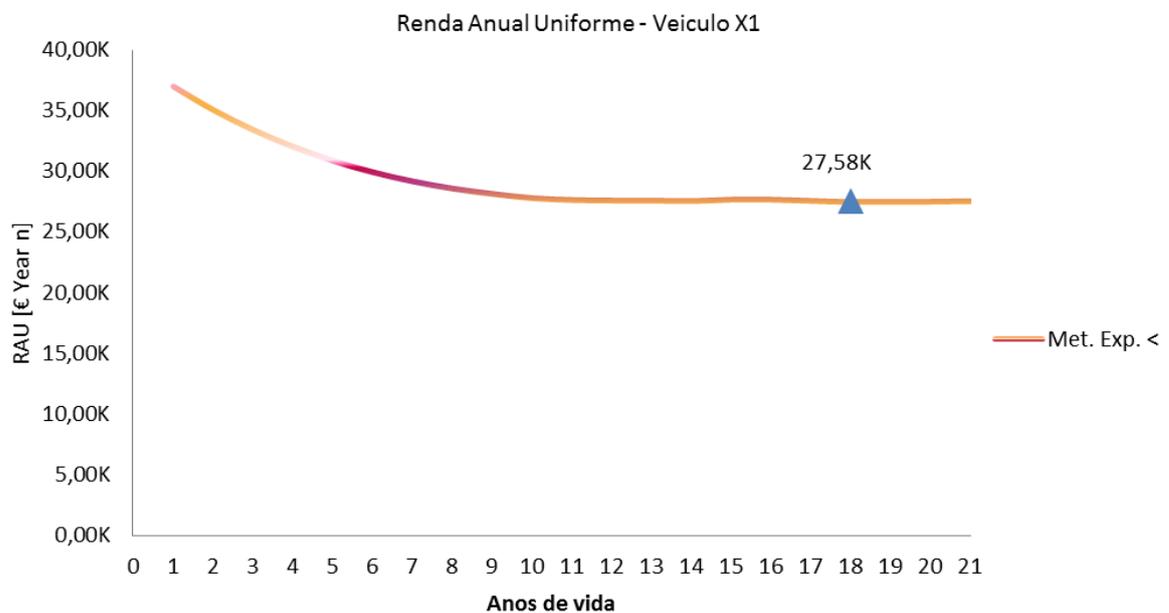


Figura 4.19 – Diminuição do Preço de gasóleo – Renda Anual Uniforme (X1)

A tabela 4.13 e a figura 4.19 mostram que o ponto de substituição se situa nos 18 anos de vida, tendo em consideração o preço do gasóleo no ano 2014, visto que este valor é mais baixo do que em 2012, aproximadamente 0,11 cêntimos. Também se demonstra que o valor da renda anual uniforme é de 27,58 K€.

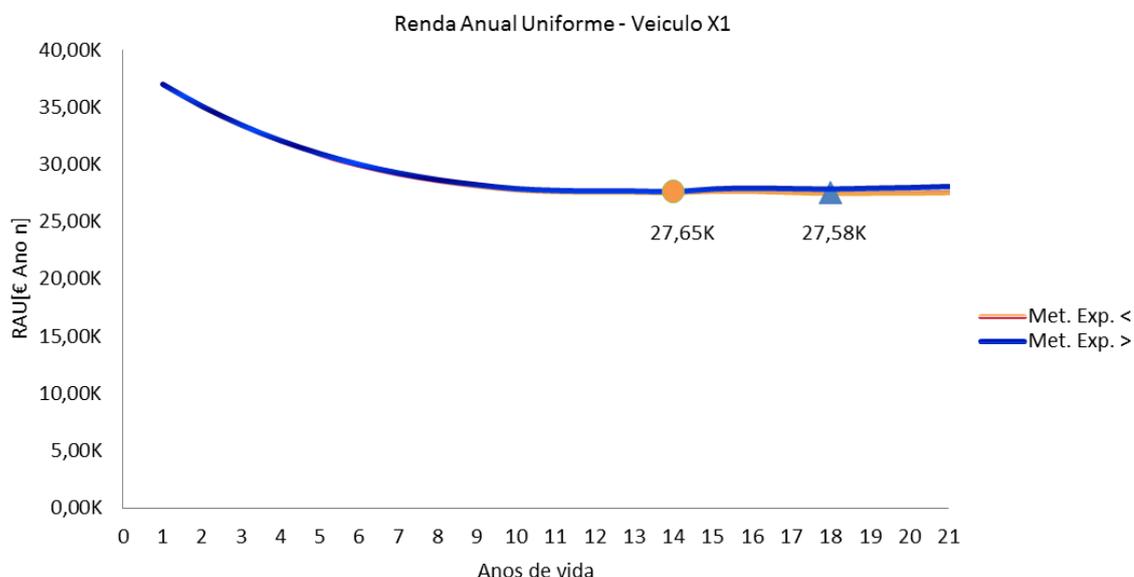


Figura 4.20 – Influência do preço de gasóleo na Renda Anual Uniforme (X1)

O gráfico da figura 4.20 demonstra a influência do preço de gasóleo no tempo de substituição dos autocarros. Pode constatar-se que o aumento ou a diminuição do preço do gasóleo ao longo dos anos faz variar o ponto de substituição; segundo o gráfico, o ponto de substituição pode variar 4 anos, se forem tidos como referências os preços médios de gasóleo praticados nos anos de 2012 e 2014. Existe também um aumento da renda anual uniforme do autocarro. Por exemplo, a empresa pouparia 2631,31€ ou 2.63K€ em combustível no ano de 2012 se o preço médio do gasóleo fosse o preço médio praticado em 2014 para o mesmo autocarro.

Sendo assim, pode assegurar-se que o período de substituição varia de forma apreciável com o preço do gasóleo, afectando o resultado e a decisão final do gestor, neste tipo de equipamentos.

CAPÍTULO 5. DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE RESERVA

A manutenção preditiva é aquela que prognostica as próximas condições de funcionamento dos equipamentos com base em dados que informam sobre o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se de um processo que prediz o tempo de vida útil dos componentes dos equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja adequadamente utilizado. Os objectivos da manutenção preditiva são:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção num equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspecção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Reduzir a manutenção correctiva;
- Impedir o aumento dos danos;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e dos equipamentos;
- Aumentar o grau de confiança no desempenho dos equipamentos;
- Determinar previamente as interrupções de produção ou da prestação de serviços para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

Através destes objectivos pode deduzir-se que eles estão direccionados a uma finalidade maior e mais importante: a redução de custos de manutenção e o aumento da produtividade. Para ser executada, a manutenção preditiva exige a utilização de aparelhos adequados, capazes de registar os valores das variáveis de condição, tais como vibrações, pressão, temperatura, níveis de efluentes, entre outros.

Com base no conhecimento e análise dos fenómenos, torna-se possível indicar, com antecedência, eventuais defeitos ou falhas nos equipamentos. A manutenção preditiva, após a análise dos fenómenos, adopta dois procedimentos para atacar os problemas detectados: estabelece um diagnóstico, e efectua uma análise de tendência. No diagnóstico, depois de detectada a irregularidade, o responsável terá o encargo de estabelecer, sempre que possível, um diagnóstico referente à causa, e à gravidade do defeito constatado. Este diagnóstico deve

ser feito antes de se programar a intervenção. Já a análise da tendência da falha consiste em prever a evolução dos efeitos desta.

5.1. Aplicação do Modelo de Acompanhamento da Degradação dos Óleos

Neste ponto é abordada a análise de lubrificantes de serviço, com o acompanhamento da evolução da degradação dos óleos dos motores Diesel da frota de autocarros de uma empresa de transportes de passageiros urbanos.

Neste contexto, vai aplicar-se a abordagem referida no capítulo 3, secção 3.1.8, exemplificada em detalhe no Anexo B. Neste capítulo e secções, tendo em vista enfatizar a relação entre a política de manutenção e a frota de reserva, serão considerados os seguintes grupos homogéneos de viaturas:

- Marca A Modelo A;
- Marca B Modelo B;
- Marca B Modelo C;
- Marca A Modelo D;
- Marca B Modelo E;
- Marca C Modelo F;
- Marca B Modelo H.

Estas viaturas utilizam três tipos de óleos (os números no interior dos parêntesis identificam os veículos):

- Lubrificante I -10 W 40 (XX1, XX2, XX3, XX4, YY1, YY2, YY3, YY4, W1);
- Lubrificante II -10 W 40 (WW1, WW2, WW3, YYY1 e YYY2);
- Lubrificante III – 15 W 40 (X1, X2, Y1 e Y2).

As características e condições de funcionamento dos lubrificantes utilizados (Fornecedor/Marca) são sintetizadas seguidamente:

- Lubrificante I

Lubrificante sintético multigraduado de excepcional qualidade, do tipo EHPDO (Extra High Performance Diesel Oil), especialmente recomendado para a lubrificação de motores Diesel de veículos pesados de elevada potência, de aspiração natural ou turbo alimentados, operando nas

mais severas condições de utilização, em particular quando sujeitos a intervalos de mudanças de óleo muito alargados, possuindo as seguintes propriedades (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Principais características do Lubrificante I

Características	
Gradação SAE	10 W 40
Massa volúmica a 15 °C, Kg/I (D1298/D4052)	0,872
Índice de viscosidade (D2270)	139
Viscosidade cinemática a 40 °C, mm ² /s (D445)	107,2
Viscosidade cinemática a 100 °C, mm ² /s (D445)	14,5
Ponto de inflamação, °C (293)	197
Ponto de Fluxão, °C (D97/D6892), Máx.	-39
Nº basicidade, mg KOH/g (D2896)	12,5

- Lubrificante II

Lubrificante multigraduado, contendo bases sintéticas, do tipo UHPDO (Ultra High Performance Diesel Oil), especialmente recomendado para a lubrificação de motores Diesel de veículos pesados de elevada potência, de aspiração natural ou turbo alimentados, operando nas mais severas condições.

Tabela 5.2 – Principais características do Lubrificante II

Características	
Gradação SAE	10 W 40
Massa volúmica a 15 °C, Kg/I (D1298/D4052)	0,87
Índice de viscosidade (D2270)	141
Viscosidade cinemática a 40 °C, mm ² /s (D445)	100
Viscosidade cinemática a 100 °C, mm ² /s (D445)	13,9
Ponto de inflamação, °C (293)	197
Ponto de Fluxão, °C (D97/D6892), Máx.	-36

- Lubrificante III

Lubrificante multigraduado para motores de veículos pesados sobrealimentados ou naturalmente aspirados. O lubrificante é particularmente indicado para operações com paragens frequentes ou em que o motor esteja sujeito a situações de elevada carga, contribuindo para a limpeza do mesmo (Tabela 5.3):

- Grande estabilidade da película lubrificante e manutenção das suas propriedades mesmo sob condições extremas de pressão e temperatura;
- Capacidade detergente / dispersante reforçada, garantindo uma perfeita limpeza do motor por inibição da formação de depósitos no mesmo;
- Reserva alcalina de elevada estabilidade durante toda a vida do lubrificante;
- Boa fluidez a baixas temperaturas, facilitando o arranque a frio.

Tabela 5.3 – Principais características do Lubrificante III

Características

Gradação SAE	15 W 40
Massa volúmica a 15 °C, Kg/l (D1298/D4052)	0,884
Índice de viscosidade (D2270)	137
Viscosidade cinemática a 40 °C, mm ² /s (D445)	103
Viscosidade cinemática a 100 °C, mm ² /s (D445)	14.0
Ponto de inflamação, °C (293)	228
Ponto de Fluxão, °C (D97/D6892), Máx.	-23

Na tabela 5.4 podem verificar-se os intervalos constantes de mudança de óleo nas viaturas estudadas.

Tabela 5.4 – Tabela dos intervalos periódicos de muda de óleos das viaturas

Marca	Modelo	Intervalos periódicos
Marca A	Modelo A	25.000 Km
Marca A	Modelo D	50.000 Km
Marca B	Modelo B e C	15.000 Km
Marca B	Modelo E	20.000 Km
Marca B	Modelo F	24.000 Km
Marca C	Modelo H	20.000 Km

O acompanhamento foi feito através de recolhas periódicas de amostras de óleo (figura 5.1) das diversas viaturas escolhidas e, dado que houve um reduzido número de amostras recolhidas no período em que se desenvolveu este acompanhamento, sentiu-se a necessidade de utilizar dados de amostras mais antigas, pertencentes ao mesmo grupo homogéneo. Estas amostras foram

enviadas para um laboratório de análises de lubrificantes, sediado em Espanha, com todas as características da viatura e do óleo, tais como:

- Número da viatura;
- Marca;
- Modelo;
- Tipo de Viatura;
- Órgão – Motor;
- Km do equipamento;
- Km do óleo;
- Data da amostra;
- Data de envio da amostra.



Figura 5.1 – Análises aos óleos

Todas as variáveis foram estudadas. No entanto, o presente estudo centrou-se apenas nas que foram considerados mais importantes para o acompanhamento da degradação dos óleos:

- Fuligem (Matéria Carbonosa);
- Viscosidade;
- TBN;
- Metais de Desgaste e Contaminação;
- Partículas.

Sendo assim, para o estudo das variáveis utilizadas como referenciais, usaram-se os limites disponibilizados pelo laboratório. Uma das variáveis consideradas mais importante foi a Fuligem ou Matéria Carbonosa (%). Esta permitiu tirar várias conclusões sobre o estado de degradação do óleo e do equipamento, as quais se descrevem mais à frente. A figura 5.2 ilustra um relatório de análises de óleo da viatura YY1.

Análises aos Lubrificantes						
Nº de frota	YY1					
Dados do Equipamento						
Matricula:	XXXXX	Marca:	B	Modelo:	E	
Dados do Lubrificante						
Lubrificante:	GALP GALAXIA ULTRA XHP 10 W 40			✓	Normal	
				Δ	a Vigiar	
				✗	Perigo	
Resultado das Amostras						
Data	12/01/2015	29/08/2012	12/01/2012	26/01/2011	08/07/2011	
Refª amostra	933666	734176	691605	651290	660233	
Kms do Equip.	472 423	376 769	355642	320 134	330 734	
Kms do Lubrif.	15 647	21 127	18125	5 214	17 212	
Estado						
Anticogelante (%)	(PE-TA.071)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.08	< 0.08
Aparência (adim)	(PE-TA.096)	Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
Combustível (%)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	< 1	< 2	< 2
Teor de água (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Teor de água (Finacheck) (%)	(PE-5022-AI)					
Fuligem (%)	(DIN 51452)	2	2	2	1.5	2
Nitração (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	9	4	8	8
Oxidação (ABS/cm)	(PE-TA.071)	15	9	5	6	8
Sulfatação (ABS/cm)	(PE-TA.071)	23	4	< 1	2	2
TBN (mgr KOH/gr)	(ASTM D-2896-07a)	12,3	10,8	10,5	11.36	10.8
Viscosidade a 100 °C (cst)	(ASTM D-445-11)	14,79	13,4	13,4	13.4	13.7
Metals de Desgaste e Contaminação						
Teor em Al (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	10	7	3	4	11
Teor em Cr (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	3	3	1	1	2
Teor em Cu (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	10	66	4	11	7
Teor em Fe (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	106	58	20	53	54
Teor em Mo (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	152	80	51	79	137
Teor em Na (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	14	281	123	4	40
Teor em Ni (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	1	1	0	1	1
Teor em Pb (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	6	5	1	3	2
Teor em Si (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	12	10	3	9	10
Teor em Sn (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	1	6	0	0	2
Teor em V (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	0	0	0	0	0
Partículas						
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	4	24	7	21	6
Diagnóstico						
Diagnóstico da Amostra		Δ	✗	✗	✓	Δ

Figura 5.2 – Base de dados da Viatura YY1

5.1.1. Modelo aplicado a uma viatura

Devido ao elevado número de dados recolhidos, optou-se por referenciar na dissertação só alguns exemplos, tais como da viatura nº YY1, pertence ao grupo homogéneo da Marca B Modelo E. Começou por aplicar-se ao parâmetro Fuligem (%) o método do alisamento exponencial com o objectivo de conhecer a previsão do valor seguinte da degradação. Esta

aplicação pode ser verificada na tabela 5.5 e na figura 5.3. Pode observar-se, nesta tabela, e no gráfico ilustrado na referida figura, a evolução da degradação do parâmetro Fuligem dos óleos analisados, permitindo dizer que a sua degradação é bastante evidente, pois este parâmetro encontra-se acima do valor limite normal (perigo > 1,5) definido para um motor Diesel (laboratório de análises de lubrificantes – Tekniker). Obviamente, a sua previsão também aponta para uma degradação mais acentuada - quando esta variável apresenta estes valores, o óleo deve ser substituído de imediato, devido ao equipamento estar num nível de risco muito elevado.

Tabela 5.5 – Aplicação do alisamento exponencial – Fuligem (%)

Fuligem (%)				
Período	Val. Ob.	Prev. $c/\alpha=0,1$	Prev. $c/\alpha=0,5$	Prev. $c/\alpha=0,9$
0				
5 214	1,50			
15 647	2,00	1,50	1,50	1,50
17 212	2,00	1,55	1,75	1,95
18 125	2,00	1,60	1,88	2,00
21 127	2,00	1,64	1,94	2,00
25 000		1,67	1,97	2,00

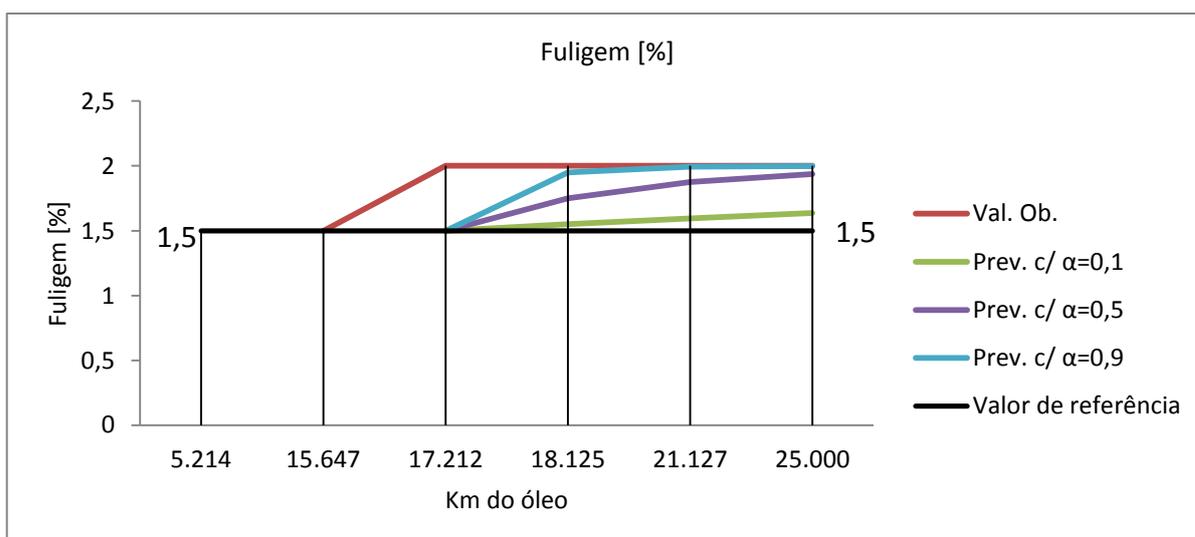


Figura 5.3 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – Fuligem (%)

O segundo modelo aplicado ao acompanhamento e evolução da degradação deste parâmetro foi a distribuição t -Student. O objectivo foi estimar o valor médio da Fuligem. Como se pode

constatar na tabela 5.6, o valor médio situa-se em 1,90 %, muito acima dos valores limites, o que permite dizer que esta viatura se encontra com problemas no motor.

Tabela 5.6 – Aplicação da distribuição *t*-Student para estimar a média – Fuligem

Fuligem (%) T - Student unilateral					
Nível de significância	$\alpha = 0,001$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$
Média "Amostra" (μ)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Desvio Padrão "Amostra"	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>t</i> crítico	7,17	3,75	2,13	1,53	0,94
Desvio Padrão "população"	0,31	0,23	0,16	0,13	0,08
Média da "população" (μ_0)	2,44 + 0,50	2,44 + 0,38	2,44 + 0,27	2,44 + 0,21	2,70 + 0,14
Limite superior	2,21	2,13	2,06	2,03	1,98

Como já se verificou anteriormente, este parâmetro encontra-se fora dos valores normais, logo, permite afirmar a existência de um elevado nível de degradação deste parâmetro, comprovado na aplicação do modelo nesta viatura. Finalmente, estima-se o valor da média da população para os níveis de significância 0,001; 0,01; 0,05; 0,1 e 0,2 (Tabela 5.7):

$$H_0: \mu = \mu_0$$

Sendo,

μ = média da amostra

μ_0 = média da população

Tabela 5.7 – Aplicação do Teste Hipóteses *t*-Student - Fuligem

Teste de hipóteses					
μ_0 (média da população)	t Calculado	t tabela $\alpha = 0,001$	t tabela $\alpha = 0,05$	t tabela $\alpha = 0,1$	t tabela $\alpha = 0,2$
1,00	8,05	7,17	2,13	1,53	0,94
1,50	3,58	7,17	2,13	1,53	0,94
2,00	-0,89	7,17	2,13	1,53	0,94
3,00	-9,84	7,17	2,13	1,53	0,94
3,50	-14,31	7,17	2,13	1,53	0,94
4,00	-18,78	7,17	2,13	1,53	0,94
μ_0		1,18	1,69	1,75	1,81

A partir da tabela 5.7, se for arbitrado o valor 1,50 para a variável e se se usar um intervalo de confiança de 99%, pode afirmar-se que não se rejeitaria a hipótese H_0 . Por sua vez, se fosse usado um intervalo de confiança de 95% seria rejeitada a hipótese H_0 , devido ao valor de *t* (3,58) calculado ser superior ao da tabela para o intervalo de confiança (2,13).

Pode também verificar-se que, se for usado o valor t da tabela t -Student (com intervalo de confiança de 90% (1,53) e a média da amostra (1,90), obtém-se um valor da média da população de 1,75.

De seguida, aplicou-se o método do alisamento exponencial ao parâmetro Teor de Ferro (Fe) com o objectivo de conhecer a evolução da sua degradação, tal como se pode verificar na tabela 5.8 e na figura 5.4. Na tabela e no gráfico seguintes pode constatar-se a evolução da degradação do parâmetro Teor de Ferro dos óleos analisados, o que permite afirmar que a sua degradação é evidente, pois este parâmetro encontra-se algumas vezes acima do valor limite normal. Obviamente, a sua previsão também aponta para uma degradação. Quando esta variável apresenta estes valores, o óleo deve ser substituído, devido ao equipamento estar num nível de risco elevado.

Tabela 5.8 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Fe (ppm)

Teor em Fe (ppm)				
Período	Val. Ob.	Prev. c/ $\alpha=0,1$	Prev. c/ $\alpha=0,5$	Prev. c/ $\alpha=0,9$
0				
5 214	79,00			
15 647	152,00	79,00	79,00	79,00
17 212	137,00	86,30	115,50	144,70
18 125	51,00	91,37	126,25	137,77
21 127	80,00	87,33	88,63	59,68
25 000		86,60	84,31	77,97

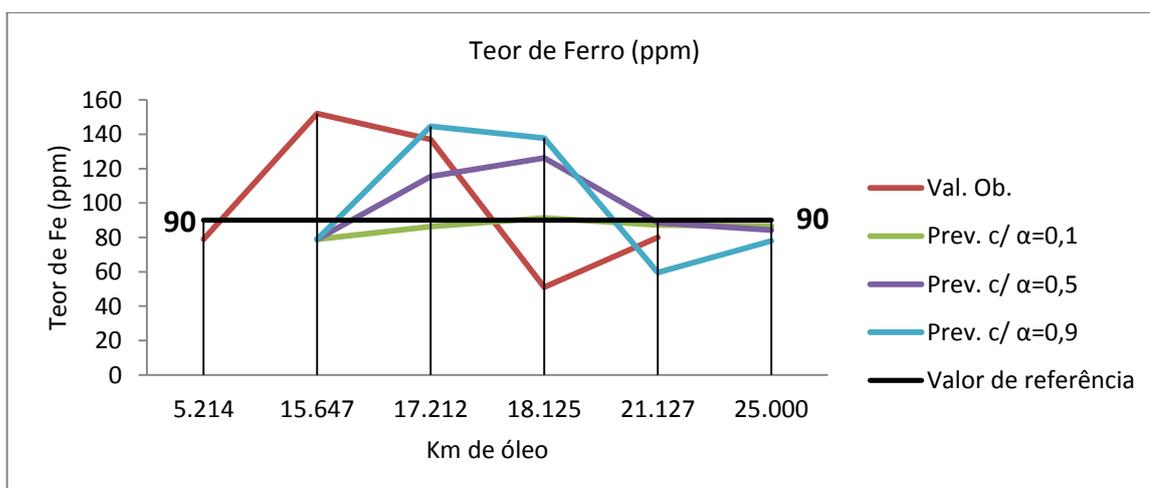


Figura 5.4 – Gráfico da tabela referente ao alisamento exponencial – Teor de Fe (ppm)

O segundo modelo aplicado ao acompanhamento e evolução da degradação deste parâmetro foi a distribuição *t-Student*. O objectivo foi estimar o valor médio do Teor de Ferro (Fe). Como se pode constatar na tabela 5.9, a média do teor Fe situa-se em 99.80 (ppm).

Como já se apurou anteriormente, este parâmetro encontra-se acima dos limites normais, logo permite afirmar a existência de algum nível de degradação deste parâmetro. É também possível tirar diversas informações, tais como, a média da amostra, o desvio padrão da amostra e o limite superior do parâmetro para diversos intervalos de confiança.

Tabela 5.9 – Aplicação do Teste Hipóteses t-Student – Teor de Ferro – Fe (ppm)

Teor em Fe (ppm) T - Student					
	$\alpha=0,001$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,2$
Media "Amostra"	99,80	99,80	99,80	99,80	99,80
Desvio Padrão "Amostra"	42,76	42,76	42,76	42,76	42,76
t crítico	7,17	3,75	2,13	1,53	0,94
Desvio Padrão "população"	59,10	44,49	31,46	24,51	16,10
Média da "população" (μ)	13,56 +- 0,45	13,56 +- 0,34	13,56 +- 0,24	13,56 +- 0,18	13,56 +- 0,12
Limite superior	158,90	144,29	131,26	124,31	115,90

Finalmente, estima-se a média da população para os níveis de significância 0,001; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2.

$$H_0: \mu = \mu_0$$

Sendo,

$$\mu = \text{Média da amostra}$$

$$\mu_0 = \text{Média da população}$$

Através da tabela 5.10 constata-se que, se for arbitrado o valor 150 (ppm) para a variável e se se usar um intervalo de confiança de 99%, pode afirmar-se que não se rejeita a hipótese H_0 . Mas, se for usado um intervalo de confiança de 90%, será rejeitado H_0 , devido ao valor de t (2,35) calculado ser superior ao da tabela, para o intervalo de confiança (1,53).

Pode também verificar-se que, se for usado o valor de t da tabela *t-Student* (com intervalo de confiança 80% (0,90) e a média da amostra (99,80), obtém-se um valor para a média da população de 70,48.

Tabela 5.10 – Aplicação do Teste Hipóteses *t*-Student - Fe

Teste de hipóteses					
μ_0 (média da população)	t Calculado	t tabela $\alpha=0,001$	t tabela $\alpha=0,05$	t tabela $\alpha=0,1$	t tabela $\alpha=0,2$
90,00	0,458	7,173	2,132	1,533	0,941
120,00	-0,945	7,173	2,132	1,533	0,941
130,00	-1,412	7,173	2,132	1,533	0,941
150,00	-2,348	7,173	2,132	1,533	0,941
160,00	-2,815	7,173	2,132	1,533	0,941
180,00	-3,751	7,173	2,132	1,533	0,941
μ_0		37,38	59,03	70,48	81,80

Na tabela 5.11 e na figura 5.5 pode acompanhar-se a evolução do teor de ferro ao longo dos quilómetros percorridos pela viatura, onde também se pode constatar um aumento deste parâmetro ao longo do ciclo de vida do equipamento, encontrando-se este valor muito acima do valor normal, o que indica que há desgaste no motor.

Tabela 5.11 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Fe (ppm)

Teor em Fe (ppm)				
Período	Val. Ob.	Prev. $c/\alpha=0,1$	Prev. $c/\alpha=0,5$	Prev. $c/\alpha=0,9$
320 134	79,00			
330 734	137,00	79,00	79,00	79,00
355 642	51,00	84,80	108,00	131,20
376 769	80,00	81,42	79,50	59,02
472 423	152,00	81,28	79,75	77,90
500 000		88,35	115,88	144,59

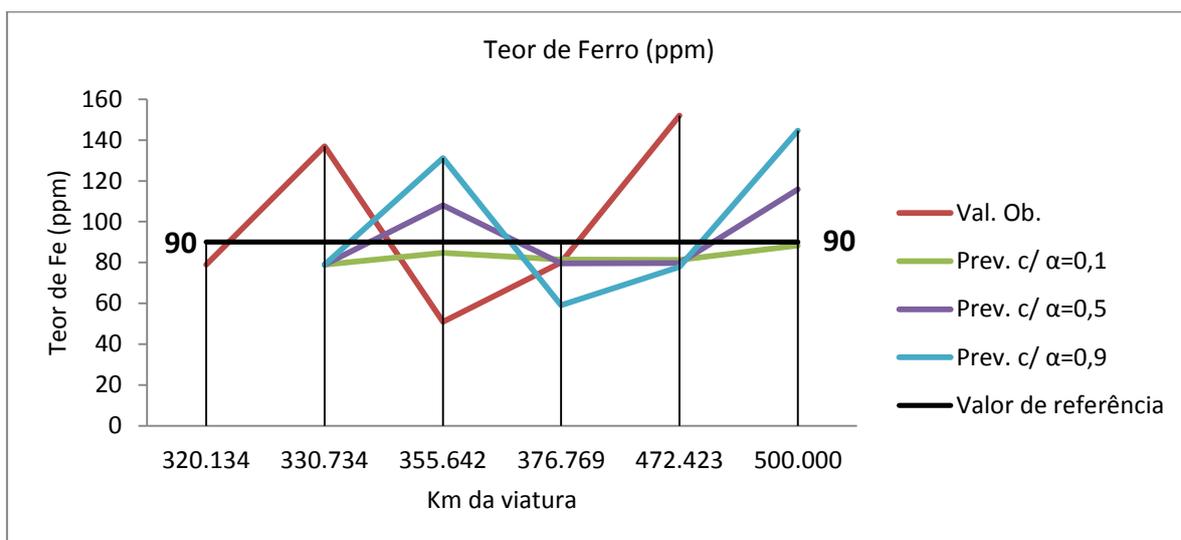


Figura 5.5 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – teor de F_e (ppm)

Pode também verificar-se o comportamento do variável Teor de Sódio (Na) na tabela 5.12 e na figura 5.6, onde se constata que este valor se encontra acima dos valores normais.

Tabela 5.12 – Aplicação do alisamento exponencial – teor Na (ppm)

Teor em Na (ppm)				
Período	Val. Ob.	Prev. c/ $\alpha=0,1$	Prev. c/ $\alpha=0,5$	Prev. c/ $\alpha=0,9$
0				
5 214	4			
15 647	14	4,00	4,00	4,00
17 212	40	5,00	9,00	13,00
18 125	123	8,50	24,50	37,30
21 127	281	19,95	73,75	114,43
25 000		46,06	177,38	264,34

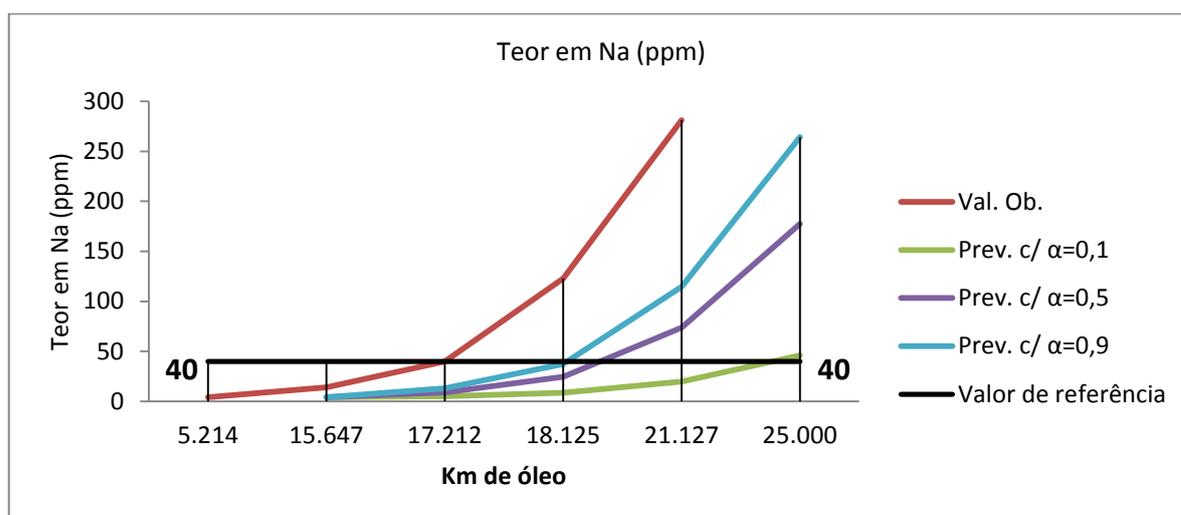


Figura 5.6 – Gráfico da tabela alisamento exponencial – teor de N_a (ppm)

Com este modelo de acompanhamento podem avaliar-se diversas variáveis que ajudam a compreender a evolução da degradação das que caracterizam o estado dos óleos. Os modelos aqui apresentados foram aplicados de duas formas:

1. Individualmente, a todas as viaturas (todos os parâmetros);
2. Aos grupos homogêneos das diversas viaturas (todos os parâmetros).

Também, através das análises aos óleos e do seu acompanhamento exaustivo, foi possível detectar avarias graves em motores, tais como, por exemplo, na viatura nº XX1 e W1, evitando assim maiores prejuízos para a empresa.

Existe, no histórico desta empresa, perdas totais de viaturas devido a ocorrências graves nos motores, que provocaram incêndios nas viaturas.

Neste contexto, o diagnóstico da última amostra da viatura nºXX1 alertava para um teor de Ferro (Fe) elevado, sendo possíveis as seguintes causas para este valor: camisa; válvulas; e cambota. Outro parâmetro elevado era o teor de Silício (Si), onde era recomendado controlar a estanqueidade do sistema de admissão de ar e filtros. De realçar que esta viatura pertencia ao mesmo grupo homogêneo das viaturas que sofreram incêndios graves.

A viatura nº W1 apresentava teor de matéria carbonosa (fuligem) elevada, onde as causas possíveis eram: má combustão; desgaste e segmentos com gomas; entrada de ar não filtrado. Verificar níveis de compressão e filtro de óleo. No ponto seguinte apresentar-se-ão os resultados deste modelo de acompanhamento do ciclo de vida dos autocarros e, tal como demonstrado anteriormente, tendo como base a análise de óleos dos motores das viaturas atrás referidas.

5.2. Influência da Condição dos Óleos nos Custos de Manutenção

Uma das variáveis que se tem de ter em consideração nos modelos econométricos de substituição de equipamentos é o custo de manutenção (CM). Esta variável assume uma elevada influência na determinação do momento ideal de substituição de qualquer equipamento, nomeadamente na substituição de um autocarro, tal como já referido.

Pode constatar-se essa influência através da análise das tabelas 5.13 a 5.18. Na tabela 5.13 podem verificar-se os intervalos de mudanças de óleo, segundo as marcas das viaturas e o fornecedor de óleos, bem como o tempo de indisponibilização das viaturas para o serviço devido à paragem para lubrificação ao longo do ano. Na tabela 5.14 podem analisar-se os custos anuais dessas lubrificações.

Tabela 5.13 – Intervalos de Manutenção (Marca) / Indisponibilização do Autocarro

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Quantidade de Lubrificações p/ ano [un]	Indisponibilização [h]	Indisponibilização [dias]
Mercedes Benz O-530	50 000	60 000	Lubricant I	1	8	1
Mercedes Benz O-405	25 000	65 000	Lubricant III	3	18	3
Volvo B7RLE	24 000	55 000	Lubricant I	2	16	2
Volvo B7L	20 000	50 000	Lubricant I	3	18	3
MAN 12.240 HCL	20 000	70 000	Lubricant II	4	25	4
Volvo B10B/B10L	15 000	60 000	Lubricant III	4	28	4
Total					113	16

Tabela 5.14 – Intervalos de Manutenção (Marca/fornecedores) / Custo da muda de óleos

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Preço do óleo [€]	Material [€]	Custo de Mão de Obra [€]	Custo total [€]
Mercedes Benz O-530	50 000	60 000	Lubricant I	101,40 €	7,12 €	70,00 €	214,22 €
Mercedes Benz O-405	25 000	65 000	Lubricant III	50,00 €	5,30 €	70,00 €	325,78 €
Volvo B7RLE	24 000	55 000	Lubricant I	109,20 €	10,20 €	70,00 €	434,04 €
Volvo B7L	20 000	50 000	Lubricant I	81,90 €	6,04 €	70,00 €	394,85 €
MAN 12.240 HCL	20 000	70 000	Lubricant II	110,76 €	8,50 €	70,00 €	662,41 €
Volvo B10B/B10L	15 000	60 000	Lubricant III	96,00 €	10,40 €	70,00 €	705,60 €
Total					47,56 €	420,00 €	2 736,91 €

As análises aos óleos dão indicações preciosas sobre os intervalos das lubrificações, logo, através do seu estudo pode aumentar-se ou diminuir-se os intervalos de mudança de óleos, influenciando, deste modo, o custo da manutenção e a disponibilidade dos autocarros, tal como se pode constatar pelas tabelas 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18.

Tabela 5.15 – Diminuição dos Intervalos / Indisponibilização do Autocarro

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Quantidade de Lubrificações p/ ano [un]	Indisponibilização [h]	Indisponibilização [dias]
Mercedes Benz O-530	30 000	60 000	Lubricant I	2	14	2
Mercedes Benz O-405	20 000	65 000	Lubricant III	3	23	3
Volvo B7RLE	15 000	55 000	Lubricant I	4	26	4
Volvo B7L	20 000	50 000	Lubricant I	3	18	3
MAN 12.240 HCL	15 000	70 000	Lubricant II	5	33	5
Volvo B10B/B10L	10 000	60 000	Lubricant III	6	42	6
Total					155	22

Tabela 5.16 – Diminuição dos Intervalos / Custo da muda de óleos

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Preço do óleo [€]	Material [€]	Custo de Mão de Obra [€]	Custo total [€]
Mercedes Benz O-530	50 000	60 000	Lubricant I	101,40 €	7,12 €	70,00 €	357,04 €
Mercedes Benz O-405	25 000	65 000	Lubricant III	50,00 €	5,30 €	70,00 €	407,23 €
Volvo B7RLE	24 000	55 000	Lubricant I	109,20 €	10,20 €	70,00 €	694,47 €
Volvo B7L	20 000	50 000	Lubricant I	81,90 €	6,04 €	70,00 €	394,85 €
MAN 12.240 HCL	20 000	70 000	Lubricant II	110,76 €	8,50 €	70,00 €	883,21 €
Volvo B10B/B10L	15 000	60 000	Lubricant III	96,00 €	10,40 €	70,00 €	1 058,40 €
Total					47,56 €	420,00 €	3 795,20 €

Com a diminuição dos intervalos de mudança de óleo verifica-se que o custo da manutenção aumenta e a indisponibilidade também aumenta (tabelas 5.16 e 5.15).

Tabela 5.17 – Aumento dos Intervalos / Indisponibilização do Autocarro

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Quantidade de Lubrificações p/ ano [un]	Indisponibilização [h]	Indisponibilização [dias]
Mercedes Benz O-530	60 000	60 000	Lubricant I	1	7	1
Mercedes Benz O-405	30 000	65 000	Lubricant III	2	15	2
Volvo B7RLE	30 000	55 000	Lubricant I	2	13	2
Volvo B7L	30 000	50 000	Lubricant I	2	12	2
MAN 12.240 HCL	30 000	70 000	Lubricant II	2	16	2
Volvo B10B/B10L	20 000	60 000	Lubricant III	3	21	3
Total					84	12

Tabela 5.18 – Aumento dos Intervalos / Custo da muda de óleos

Tipo Viatura	Intervalos [km]	Km anuais	Tipo Óleo	Preço do óleo [€]	Material [€]	Custo de Mão de Obra [€]	Custo total [€]
Mercedes Benz O-530	60 000	60 000	Lubricant I	101,40 €	7,12 €	70,00 €	178,52 €
Mercedes Benz O-405	30 000	65 000	Lubricant III	50,00 €	5,30 €	70,00 €	271,48 €
Volvo B7RLE	30 000	55 000	Lubricant I	109,20 €	10,20 €	70,00 €	347,23 €
Volvo B7L	30 000	50 000	Lubricant I	81,90 €	6,04 €	70,00 €	263,23 €
MAN 12.240 HCL	30 000	70 000	Lubricant II	110,76 €	8,50 €	70,00 €	441,61 €
Volvo B10B/B10L	20 000	60 000	Lubricant III	96,00 €	10,40 €	70,00 €	529,20 €
Total					47,56 €	420,00 €	2 031,28 €

Nas tabelas 5.17 e 5.18 pode verificar-se que, aumentando os intervalos de muda de óleo, o custo da manutenção e a indisponibilidade da viatura diminuem.

5.3. Manutenção Preditiva versus Ciclo Económico de Substituição

Neste ponto é abordada a determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, com base nos custos de manutenção. Tal como nos pontos anteriores, este estudo foi realizado nas mesmas viaturas e nos mesmos grupos homogéneos já referenciados.

Assim sendo, apresenta-se como exemplo a Viatura X1, tendo em consideração os métodos supracitados para a determinação do ciclo económico da viatura (Tabela 5.19 e Figura 5.7).

Tabela 5.19 – RAU – Manutenção Preditiva – Autocarro X1

Veiculo X1												VC [€]	VPL [€ Ano n]	RAU [€ Ano n]
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp.
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,00K	10,00K	11,00K	120,83K	87,74K	33,09K	35,79K
1995	2		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,05K	11,00K	12,05K	131,13K	69,57K	61,56K	34,60K
1996	3		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,10K	12,00K	13,10K	141,48K	55,16K	86,32K	33,59K
1997	4		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,15K	13,00K	14,15K	151,82K	43,74K	108,08K	32,75K
1998	5		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,20K	14,00K	15,20K	162,09K	34,68K	127,41K	32,04K
1999	6		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,25K	15,00K	16,25K	172,24K	27,50K	144,74K	31,46K
2000	7		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,30K	16,00K	17,30K	182,23K	21,80K	160,43K	30,98K
2001	8		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,35K	17,00K	18,35K	192,03K	17,29K	174,74K	30,59K
2002	9		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,40K	18,00K	19,40K	201,60K	13,71K	187,89K	30,28K
2003	10		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,45K	19,00K	20,45K	210,94K	10,87K	200,07K	30,03K
2004	11		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,50K	20,00K	21,50K	220,01K	8,62K	211,39K	29,84K
2005	12		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,55K	21,00K	22,55K	228,81K	6,83K	221,97K	29,70K
2006	13		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,60K	22,00K	23,60K	237,32K	5,42K	231,90K	29,60K
2007	14		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,65K	23,00K	24,65K	245,54K	4,30K	241,24K	29,53K
2008	15		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,70K	24,00K	25,70K	253,46K	3,41K	250,06K	29,50K
2009	16		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,75K	25,00K	26,75K	261,09K	2,70K	258,39K	29,49K
2010	17		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,80K	26,00K	27,80K	268,41K	2,14K	266,27K	29,50K
2011	18		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,85K	27,00K	28,85K	275,44K	1,70K	273,75K	29,53K
2012	19		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,90K	28,00K	29,90K	282,18K	1,35K	280,83K	29,58K
2013	20		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,95K	29,00K	30,95K	288,63K	1,07K	287,56K	29,64K
2014	21		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,00K	30,00K	32,00K	294,79K	0,85K	293,94K	29,71K

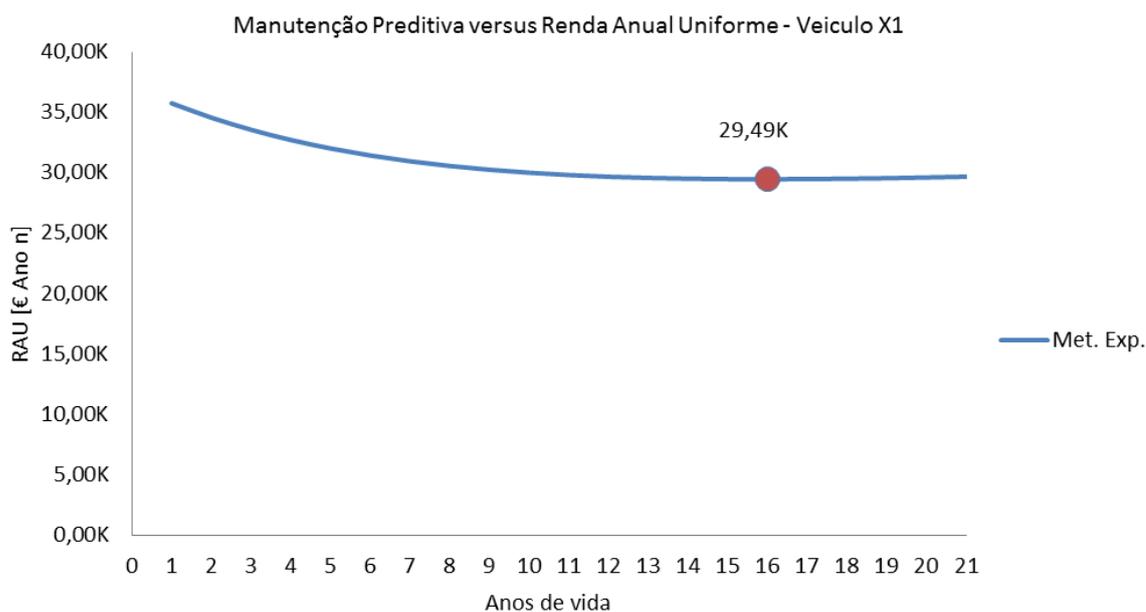


Figura 5.7 - RAU – Manutenção Preditiva – Autocarro X1

Através da tabela 5.19 e da figura 5.7 pode constatar-se que existe um ponto de substituição evidente, que se situa nos 16 anos de vida. Também se pode verificar que o valor da renda anual uniforme é de 29,49 K. Importa referir que nestes cálculos foi usada uma taxa aparente constante de 8% e que foram mantidas as outras variáveis constantes, variando apenas os custos de manutenção, tendo como objectivo avaliar uma eventual implementação de uma política de manutenção condicionada/preditiva nestas viaturas.

Tabela 5.20 – Renda Anual Uniforme – Manutenção Correctiva – Autocarro X1

Veiculo X1											VC [€]	VPL [€ Anos n]	RAU [€ Anos n]	
Ano	Ano j	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Met. Exp.	Met. Exp.	Met. Exp.
1993	0	110,66K	4%	4%	0,08	8%				110,66K				
1994	1		4%	4%	0,08	8%	1,08	0,98K	10,00K	10,98K	120,81K	87,74K	33,07K	35,77K
1995	2		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,02K	11,00K	12,02K	131,08K	69,57K	61,51K	34,57K
1996	3		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,12K	12,00K	13,12K	141,45K	55,16K	86,28K	33,58K
1997	4		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,27K	13,00K	14,27K	151,88K	43,74K	108,14K	32,77K
1998	5		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,49K	14,00K	15,49K	162,34K	34,68K	127,66K	32,11K
1999	6		4%	4%	0,08	8%	1,08	1,77K	15,00K	16,77K	172,82K	27,50K	145,32K	31,59K
2000	7		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,10K	16,00K	18,10K	183,27K	21,80K	161,47K	31,18K
2001	8		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,50K	17,00K	19,50K	193,68K	17,29K	176,39K	30,88K
2002	9		4%	4%	0,08	8%	1,08	2,95K	18,00K	20,95K	204,03K	13,71K	190,32K	30,67K
2003	10		4%	4%	0,08	8%	1,08	3,64K	19,00K	22,64K	214,36K	10,87K	203,49K	30,55K
2004	11		4%	4%	0,08	8%	1,08	3,91K	20,00K	23,91K	224,45K	8,62K	215,83K	30,47K
2005	12		4%	4%	0,08	8%	1,08	5,97K	21,00K	26,97K	234,97K	6,83K	228,14K	30,52K
2006	13		4%	4%	0,08	8%	1,08	5,13K	22,00K	27,13K	244,76K	5,42K	239,34K	30,55K
2007	14		4%	4%	0,08	8%	1,08	5,40K	23,00K	28,40K	254,23K	4,30K	249,93K	30,60K
2008	15		4%	4%	0,08	8%	1,08	6,06K	24,00K	30,06K	263,50K	3,41K	260,09K	30,68K
2009	16		4%	4%	0,08	8%	1,08	7,05K	25,00K	32,05K	272,63K	2,70K	269,93K	30,81K
2010	17		4%	4%	0,08	8%	1,08	10,06K	26,00K	36,06K	282,14K	2,14K	279,99K	31,02K
2011	18		4%	4%	0,08	8%	1,08	8,61K	27,00K	35,61K	290,81K	1,70K	289,11K	31,19K
2012	19		4%	4%	0,08	8%	1,08	6,38K	28,00K	34,38K	298,56K	1,35K	297,21K	31,30K
2013	20		4%	4%	0,08	8%	1,08	8,72K	29,00K	37,72K	306,41K	1,07K	305,35K	31,47K
2014	21		4%	4%	0,08	8%	1,08	9,36K	30,00K	39,36K	313,99K	0,85K	313,15K	31,65K

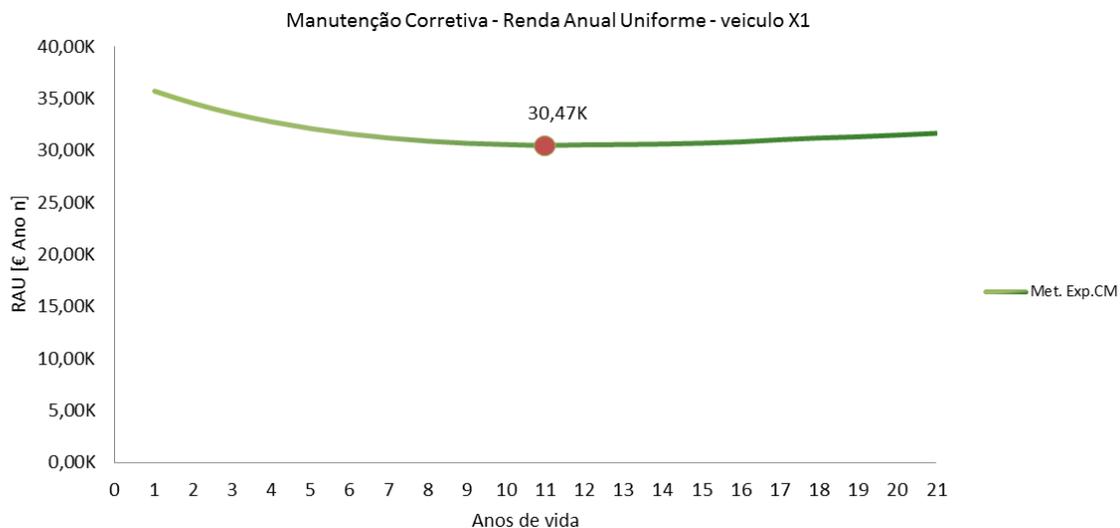


Figura 5.8 - Renda Anual Uniforme – Manutenção Corretiva – Autocarro X1

Segundo a tabela 5.20 e a figura 5.8 constata-se que existe um ponto de substituição evidente, que se situa nos 11 anos de vida, com um valor de 30.47 K. Pode também verificar-se que esse valor da Renda Anual Uniforme é bastante superior ao verificado na tabela 5.19 e na figura 5.7, tendo para o mesmo ano um valor de 29,49 K€.

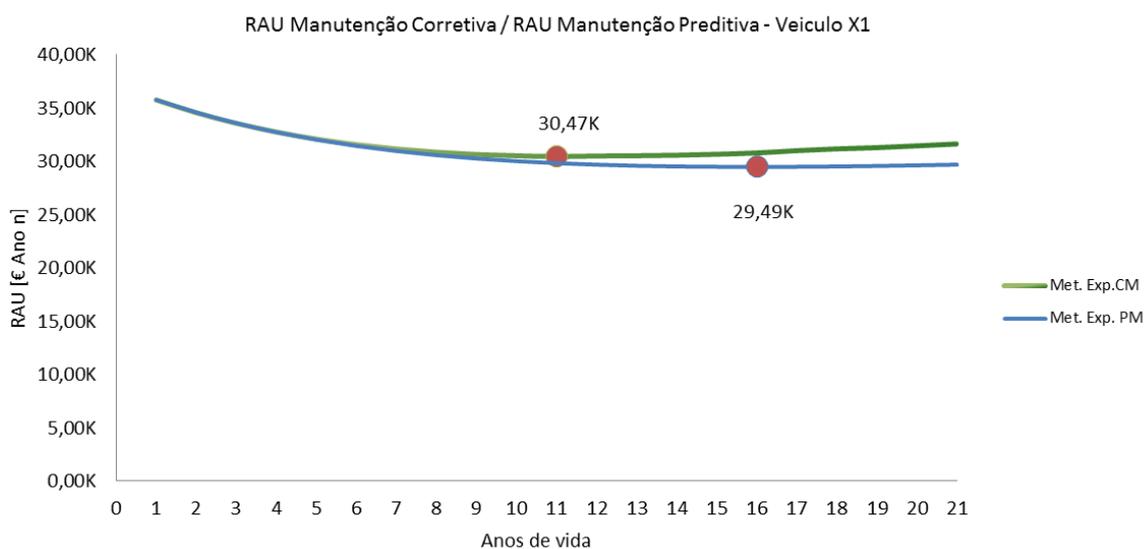


Figura 5.9 - Renda Anual Uniforme – Manutenção Corretiva – Autocarro X1

Através da figura 5.9 pode concluir-se que a renda anual uniforme de um autocarro ao longo do seu ciclo de vida é mais baixa quando se utiliza uma política de manutenção preditiva, e que

o ponto de substituição se situa cinco anos acima do ponto de substituição, quando se tem em conta uma manutenção correctiva e ou um tipo de manutenção indefinido. Pode também inferir-se que o valor mínimo da Renda Anual Uniforme é de 29,49 K e o ponto de substituição se situa nos 16 anos de vida do autocarro, segundo um tipo de manutenção condicionada/preditiva. Já segundo um tipo de manutenção correctiva o valor mínimo da Renda Anual Uniforme aumenta, sendo de 30.47 K€. Em relação ao ponto de substituição, este diminui e vai situar-se nos 11 anos de vida.

5.4. MTTR versus Ciclo Económico de Substituição

Nesta seção discutir-se-á a influência do MTTR no ciclo económico de substituição dos autocarros ao longo do seu ciclo de vida. Também se pretende fazer a integração do ROI de um autocarro com o ciclo económico de substituição. Para isso, são apresentados vários sistemas de equações, começando com o Método do Renda Anual Uniforme (RAU_n), tendo em consideração o Retorno de Investimento (ROI) em função do Tempo Médio de Reparação (MTTR). Estes sistemas incluem várias equações discutidas nos capítulos anteriores.

$$\begin{cases} RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^n - 1} * (CA + \sum_{j=0}^n \frac{(t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n}) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 39})$$

Onde,

t Número de intervalos considerados para MTTR;

d Número de dias por ano.

O Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT) e o ROI em função do MTTR podem ser descritos da seguinte forma:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} (CA - V_n + \sum_{j=1}^n ((t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j)) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 40})$$

O MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP) e o ROI em função do MTTR podem ser escritos da seguinte forma:

$$\begin{cases} C_{n(MCMT-RVP)} = \min_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t * MTTR * \frac{CM_j}{d}) + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \right) \\ ROI = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)^j} - CA \end{cases} \quad (\text{Eq. 41})$$

Ao longo da dissertação destacou-se a importância da monitorização da condição, da sua relação com o MTTR e a importância deste KPI para a substituição temporal de um autocarro. Para mostrar essa relevância, é dado um exemplo da influência dessa razão, utilizando o Método da Renda Anual Uniforme.

A tabela 5.21 e a figura 5.10 demonstram a influência do MTTR no tempo de substituição do autocarro. Para simular esta influência foram utilizados para MTTR os valores de 5, 10, 20, 25, 30 e 35 dias.

Tabela 5.21 – Influência do MTTR na RAU

		Veiculo								RAU [€ Ano n]					
Ano	Ano j	CA [€]	i _a [%]	MTTR ₁	MTTR ₂	MTTR ₃	MTTR ₄	MTTR ₅	MTTR ₆	RAU & MTTR ₁	RAU & MTTR ₂	RAU & MTTR ₃	RAU & MTTR ₄	RAU & MTTR ₅	RAU & MTTR ₆
1993	0	110,66K	8%												
1994	1		8%	5	10	20	25	30	35	25,99K	26,20K	26,61K	26,81K	27,02K	27,22K
1995	2		8%	5	10	20	25	30	35	24,88K	25,18K	25,79K	26,09K	26,40K	26,70K
1996	3		8%	5	10	20	25	30	35	23,94K	24,34K	25,14K	25,54K	25,95K	26,35K
1997	4		8%	5	10	20	25	30	35	23,17K	23,67K	24,65K	25,15K	25,64K	26,13K
1998	5		8%	5	10	20	25	30	35	22,54K	23,12K	24,29K	24,87K	25,46K	26,04K
1999	6		8%	5	10	20	25	30	35	22,02K	22,69K	24,04K	24,71K	25,38K	26,05K
2000	7		8%	5	10	20	25	30	35	21,61K	22,36K	23,88K	24,64K	25,39K	26,15K
2001	8		8%	5	10	20	25	30	35	21,28K	22,12K	23,80K	24,64K	25,48K	26,32K
2002	9		8%	5	10	20	25	30	35	21,03K	21,95K	23,79K	24,71K	25,63K	26,55K
2003	10		8%	5	10	20	25	30	35	20,84K	21,84K	23,83K	24,83K	25,83K	26,83K
2004	11		8%	5	10	20	25	30	35	20,70K	21,78K	23,92K	25,00K	26,07K	27,15K
2005	12		8%	5	10	20	25	30	35	20,62K	21,76K	24,06K	25,20K	26,35K	27,49K
2006	13		8%	5	10	20	25	30	35	20,57K	21,79K	24,22K	25,44K	26,65K	27,87K
2007	14		8%	5	10	20	25	30	35	20,56K	21,84K	24,41K	25,69K	26,98K	28,26K
2008	15		8%	5	10	20	25	30	35	20,57K	21,92K	24,62K	25,97K	27,32K	28,67K
2009	16		8%	5	10	20	25	30	35	20,61K	22,02K	24,85K	26,26K	27,67K	29,09K
2010	17		8%	5	10	20	25	30	35	20,67K	22,14K	25,09K	26,56K	28,04K	29,51K
2011	18		8%	5	10	20	25	30	35	20,74K	22,28K	25,34K	26,87K	28,40K	29,94K
2012	19		8%	5	10	20	25	30	35	20,83K	22,42K	25,60K	27,18K	28,77K	30,36K
2013	20		8%	5	10	20	25	30	35	20,93K	22,57K	25,86K	27,50K	29,14K	30,79K
2014	21		8%	5	10	20	25	30	35	21,04K	22,73K	26,12K	27,82K	29,51K	31,21K

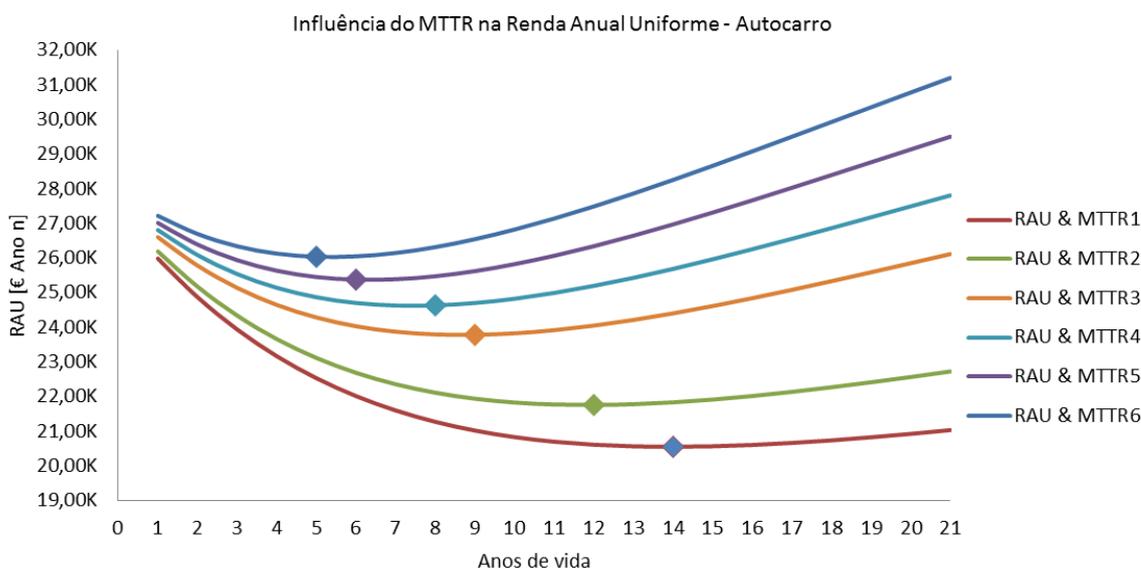


Figura 5.10 – Influência do MTTR na RAU

Na tabela 5.22 e na figura 5.11 pode verificar-se a influência do MTTR nos modelos econométricos. Um aumento ou diminuição no MTTR ao longo do tempo faz com que varie o ponto de retirada de funcionamento do equipamento. O ponto de substituição pode variar em mais de nove anos. Ou seja, o tempo para substituição é de cinco anos, mas se houver uma diminuição do MTTR, o tempo de substituição aumenta para 14 anos.

Adicionalmente, é relevante analisar a influência dos indicadores económicos para a avaliação de investimentos, como o ROI. Para enfatizar a sua importância, a influência do MTTR *versus* ROI nos modelos econométricos pode ser verificada.

Tabela 5.22 - MTTR na RAU+ROI

		Veículo								RAU[€ Ano n]						
Ano	Ano j	CA [€]	i _a [%]	MTTR ₁	MTTR ₂	MTTR ₃	MTTR ₄	MTTR ₅	MTTR ₆	RAU & MTTR ₁	RAU & MTTR ₂	RAU & MTTR ₃	RAU & MTTR ₄	RAU & MTTR ₅	RAU & MTTR ₆	ROI
1993	0	110,66K	8%													
1994	1		8%	5	10	20	25	30	35	25,99K	26,20K	26,61K	26,81K	27,02K	27,22K	-87,51K
1995	2		8%	5	10	20	25	30	35	24,88K	25,18K	25,79K	26,09K	26,40K	26,70K	-70,36K
1996	3		8%	5	10	20	25	30	35	23,94K	24,34K	25,14K	25,54K	25,95K	26,35K	-54,57K
1997	4		8%	5	10	20	25	30	35	23,17K	23,67K	24,65K	25,15K	25,64K	26,13K	-40,01K
1998	5		8%	5	10	20	25	30	35	22,54K	23,12K	24,29K	24,87K	25,46K	26,04K	-26,61K
1999	6		8%	5	10	20	25	30	35	22,02K	22,69K	24,04K	24,71K	25,38K	26,05K	-14,25K
2000	7		8%	5	10	20	25	30	35	21,61K	22,36K	23,88K	24,64K	25,39K	26,15K	-2,88K
2001	8		8%	5	10	20	25	30	35	21,28K	22,12K	23,80K	24,64K	25,48K	26,32K	7,61K
2002	9		8%	5	10	20	25	30	35	21,03K	21,95K	23,79K	24,71K	25,63K	26,55K	17,26K
2003	10		8%	5	10	20	25	30	35	20,84K	21,84K	23,83K	24,83K	25,83K	26,83K	26,15K
2004	11		8%	5	10	20	25	30	35	20,70K	21,78K	23,92K	25,00K	26,07K	27,15K	34,35K
2005	12		8%	5	10	20	25	30	35	20,62K	21,76K	24,06K	25,20K	26,35K	27,49K	41,89K
2006	13		8%	5	10	20	25	30	35	20,57K	21,79K	24,22K	25,44K	26,65K	27,87K	48,84K
2007	14		8%	5	10	20	25	30	35	20,56K	21,84K	24,41K	25,69K	26,98K	28,26K	55,24K
2008	15		8%	5	10	20	25	30	35	20,57K	21,92K	24,62K	25,97K	27,32K	28,67K	61,14K
2009	16		8%	5	10	20	25	30	35	20,61K	22,02K	24,85K	26,26K	27,67K	29,09K	66,56K
2010	17		8%	5	10	20	25	30	35	20,67K	22,14K	25,09K	26,56K	28,04K	29,51K	71,56K
2011	18		8%	5	10	20	25	30	35	20,74K	22,28K	25,34K	26,87K	28,40K	29,94K	76,17K
2012	19		8%	5	10	20	25	30	35	20,83K	22,42K	25,60K	27,18K	28,77K	30,36K	80,41K
2013	20		8%	5	10	20	25	30	35	20,93K	22,57K	25,86K	27,50K	29,14K	30,79K	84,31K
2014	21		8%	5	10	20	25	30	35	21,04K	22,73K	26,12K	27,82K	29,51K	31,21K	87,91K

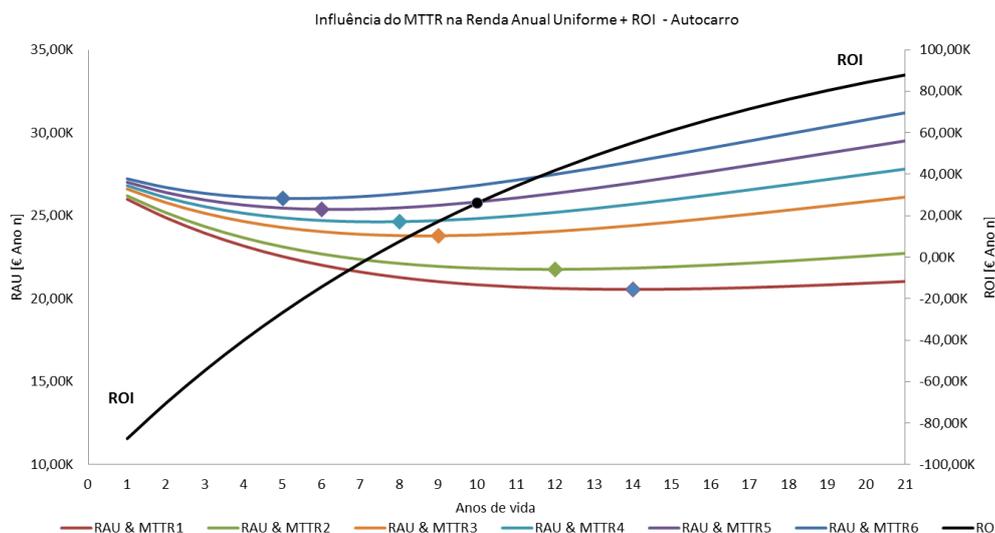


Figura 5.11 – Influência do MTTR na RAU+ROI

Se forem comparadas as curvas da Renda Anual Uniforme com o ROI, depreende-se que quanto menor for RAU_n maior é o lucro da empresa.

A tabela 5.23 e a figura 5.12 concentram-se num MTTR de cinco dias.

Tabela 5.23 – Influência do MTTR=5 dias na RAU+ROI

Veiculo					RAU[€ Anos n]	
Ano	Ano j	CA [€]	i_A [%]	MTTR ₁	RAU & MTTR ₁	ROI
1993	0	110,66K	8%			
1994	1		8%	5	25,99K	-87,51K
1995	2		8%	5	24,88K	-70,36K
1996	3		8%	5	23,94K	-54,57K
1997	4		8%	5	23,17K	-40,01K
1998	5		8%	5	22,54K	-26,61K
1999	6		8%	5	22,02K	-14,25K
2000	7		8%	5	21,61K	-2,88K
2001	8		8%	5	21,28K	7,61K
2002	9		8%	5	21,03K	17,26K
2003	10		8%	5	20,84K	26,15K
2004	11		8%	5	20,70K	34,35K
2005	12		8%	5	20,62K	41,89K
2006	13		8%	5	20,57K	48,84K
2007	14		8%	5	20,56K	55,24K
2008	15		8%	5	20,57K	61,14K
2009	16		8%	5	20,61K	66,56K
2010	17		8%	5	20,67K	71,56K
2011	18		8%	5	20,74K	76,17K
2012	19		8%	5	20,83K	80,41K
2013	20		8%	5	20,93K	84,31K
2014	21		8%	5	21,04K	87,91K

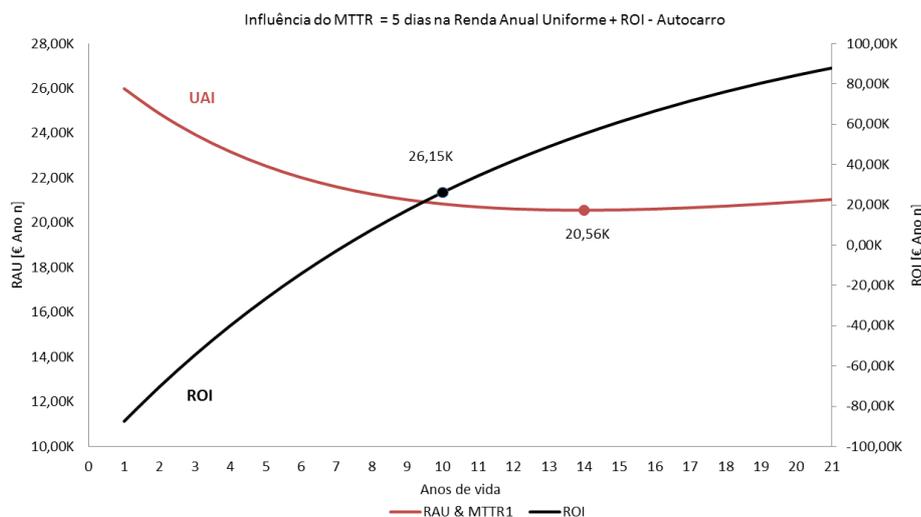


Figura 5.12 – Influência do MTTR=5 dias na RAU+ROI

Pode-se notar que para um MTTR = 5 dias, o tempo de substituição é de 14 anos e o valor da Renda Anual Uniforme de 20,56K €. Também pode ser observado que no 10.º ano o valor do ROI é 26,15K €. Portanto, o ROI é maior do que o valor de RAU_n , quando o equipamento começa a dar lucro para a empresa. O período entre o ano em que o equipamento começa a dar lucro (ano = 10) até ao ano em que o equipamento é substituído corresponde ao ano em que a RAU é mínima (ano = 14), sendo o valor de lucro de 103,19 K €. O exemplo a seguir (tabela 5.24 e figura 5.13) usa dados do exemplo anterior, com o valor do MTTR e da RAU_n , sendo o valor do ROI maior por ano.

Tabela 5.24 – Influência do MTTR=5 dias na RAU +> ROI

Veículo					RAU [€ Ano n]	
Ano	Ano j	CA [€]	i_A [%]	MTTR _t	RAU & MTTR _t	ROI
1993	0	110,66K	8%			
1994	1		8%	5	25,99K	-64,36K
1995	2		8%	5	24,88K	-21,41K
1996	3		8%	5	23,94K	18,44K
1997	4		8%	5	23,17K	55,41K
1998	5		8%	5	22,54K	89,71K
1999	6		8%	5	22,02K	121,54K
2000	7		8%	5	21,61K	151,06K
2001	8		8%	5	21,28K	178,45K
2002	9		8%	5	21,03K	203,80K
2003	10		8%	5	20,84K	227,44K
2004	11		8%	5	20,70K	249,32K
2005	12		8%	5	20,62K	269,61K
2006	13		8%	5	20,57K	288,44K
2007	14		8%	5	20,56K	305,90K
2008	15		8%	5	20,57K	322,10K
2009	16		8%	5	20,61K	337,14K
2010	17		8%	5	20,67K	348,38K
2011	18		8%	5	20,74K	358,82K
2012	19		8%	5	20,83K	368,50K
2013	20		8%	5	20,93K	377,49K
2014	21		8%	5	21,04K	385,83K

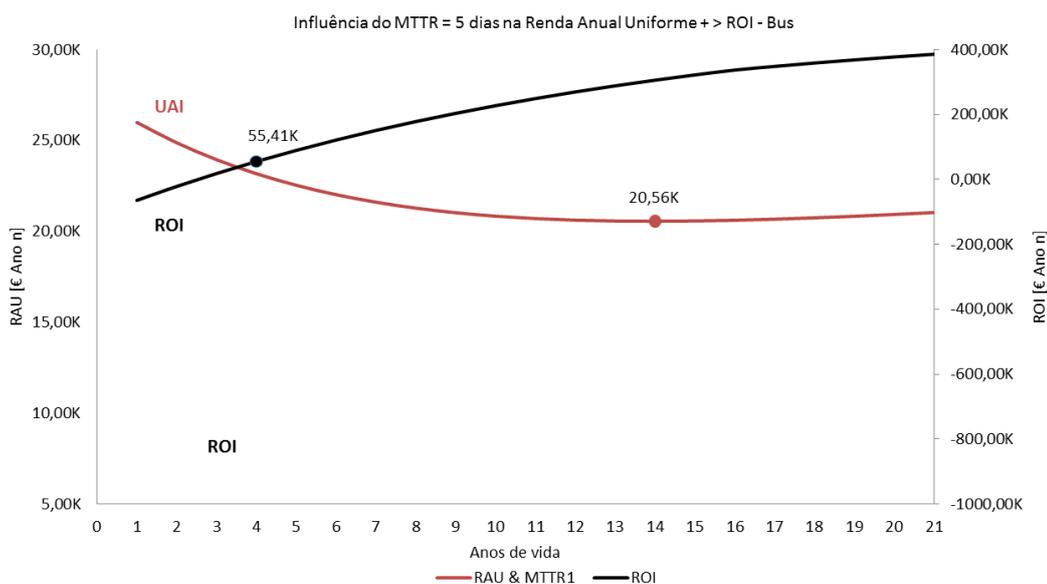


Figura 5.13 – Influência do MTTR=5 dias na RAU +> ROI

Dado que o valor do ROI é maior a cada ano, o autocarro começa a dar lucro em quatro anos com um ROI de 55,41K €. Então, desde o período em que o equipamento inicia os lucros (ano = 4) até ao ano em que o equipamento é substituído, quando a Renda Anual Uniforme é mínima (= 14 anos), o lucro do autocarro é de 1905.76K €.

5.5. Manutenção Preditiva *versus* Frota de Reserva

A consideração do custo do ciclo de vida do equipamento ou LCC, que engloba todos os custos desde o projecto até à cessão, é uma abordagem de grande importância para a determinação do momento óptimo de substituição de um autocarro.

Esta discussão tem implicação directa no dimensionamento da frota de reserva, a qual constitui um Activo Físico, de capital muito elevado, que importa racionalizar. Neste âmbito, serão utilizados os seguintes indicadores de fiabilidade para sustentar o seu dimensionamento: Disponibilidade; MTBF; e MTTR.

Aquando da tomada de decisão relativamente à gestão dos equipamentos devem ser considerados os custos de manutenção, o custo de funcionamento, o custo global de posse, os custos acumulados, e o ROI; em suma, as variáveis de ordem económica ao longo da utilização do autocarro. A consideração do custo do ciclo de vida do equipamento que engloba todos os

custos desde o projecto até à cessão, é uma abordagem de grande importância para a determinação do momento óptimo de substituição de um autocarro.

As figuras 5.14, 5.15 e 5.16 mostram que, quando o MTTR diminui a disponibilidade do equipamento aumenta. Embora esta conclusão pareça óbvia, estes KPI são estratégicos. Assim, o decisor pode decidir sobre a política de manutenção, nomeadamente a monitorização de condição, incluindo a análise de óleos.

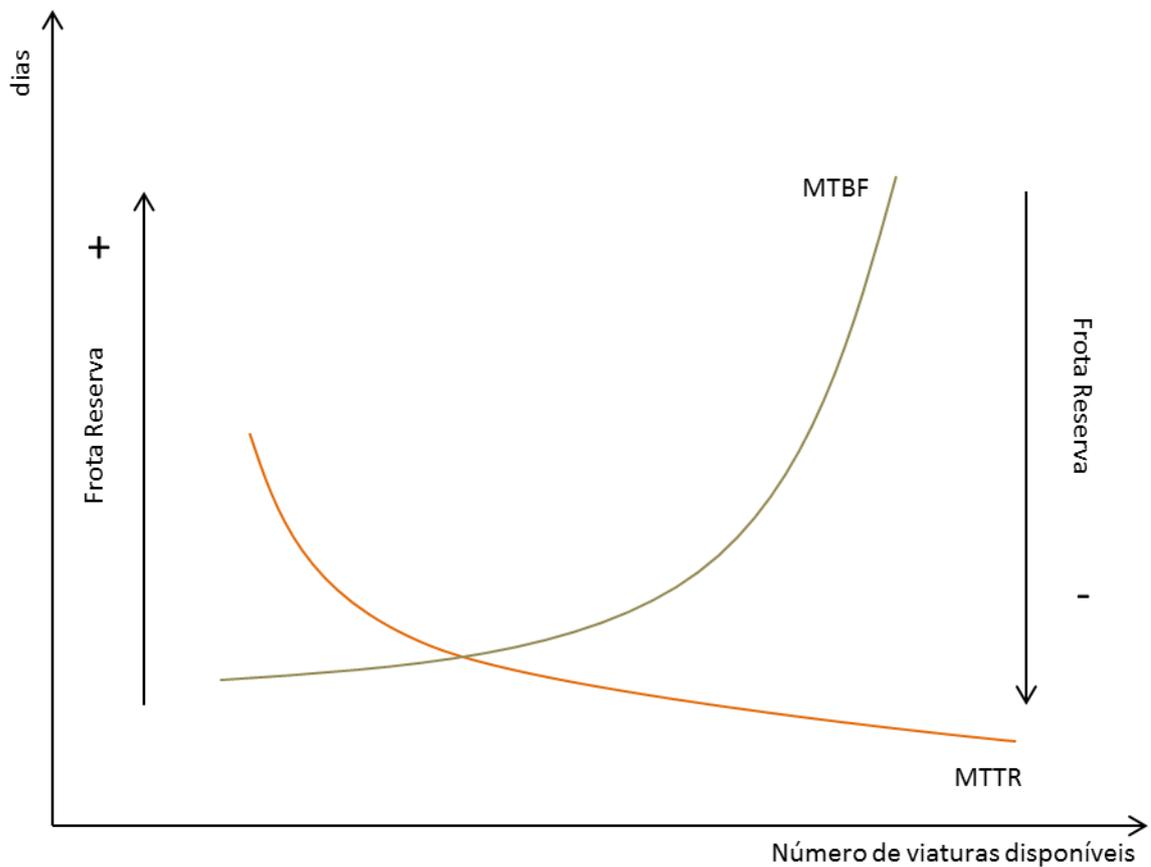


Figura 5.14 – MTTR e MTBF versus Frota de Reserva

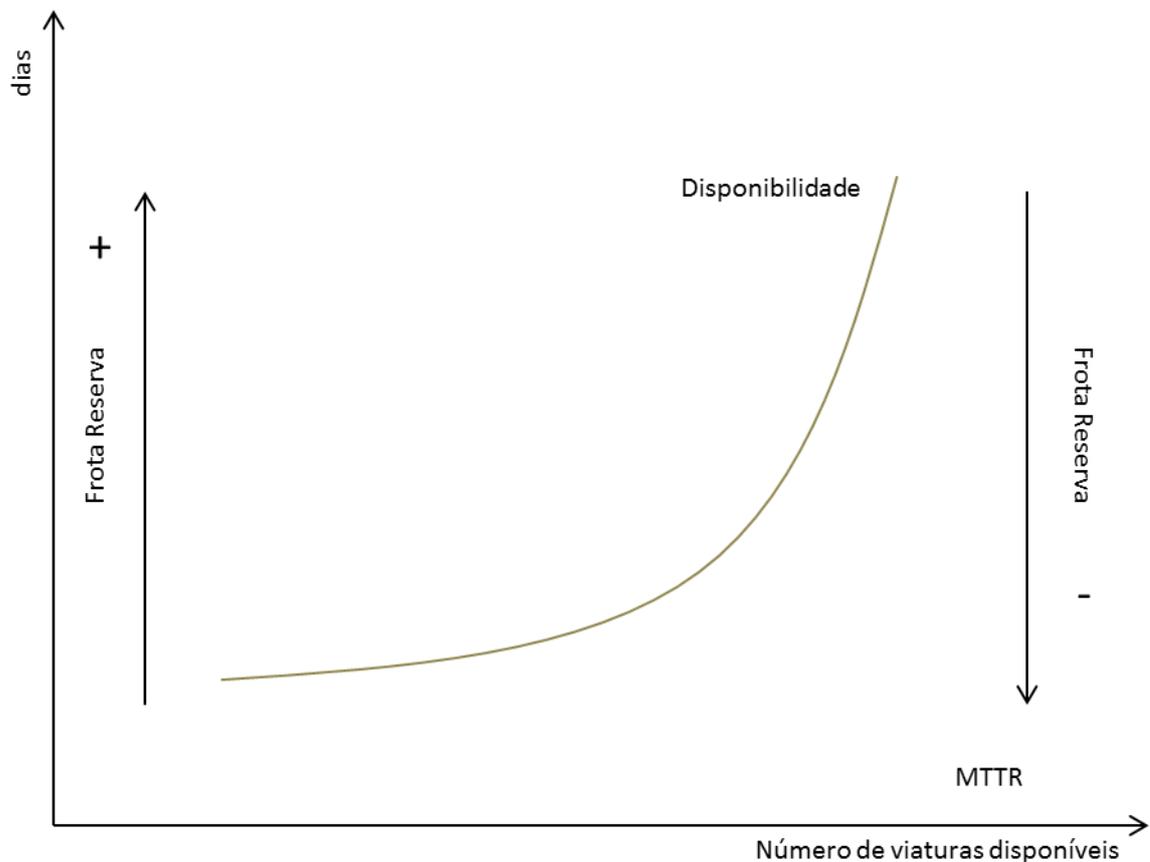


Figura 5.15 – Disponibilidade versus Frota Reserva

A figura 5.16 ilustra como um incremento do MTBF e um decréscimo do MTTR aumenta a disponibilidade do autocarro, designadamente através de uma política de manutenção preditiva. A tabela 5.25 e as figuras 5.17 e 5.18 ilustram quantitativamente esta relação. É obviamente importante demonstrar o efeito da interrelação destes indicadores com o tamanho da frota de reserva.

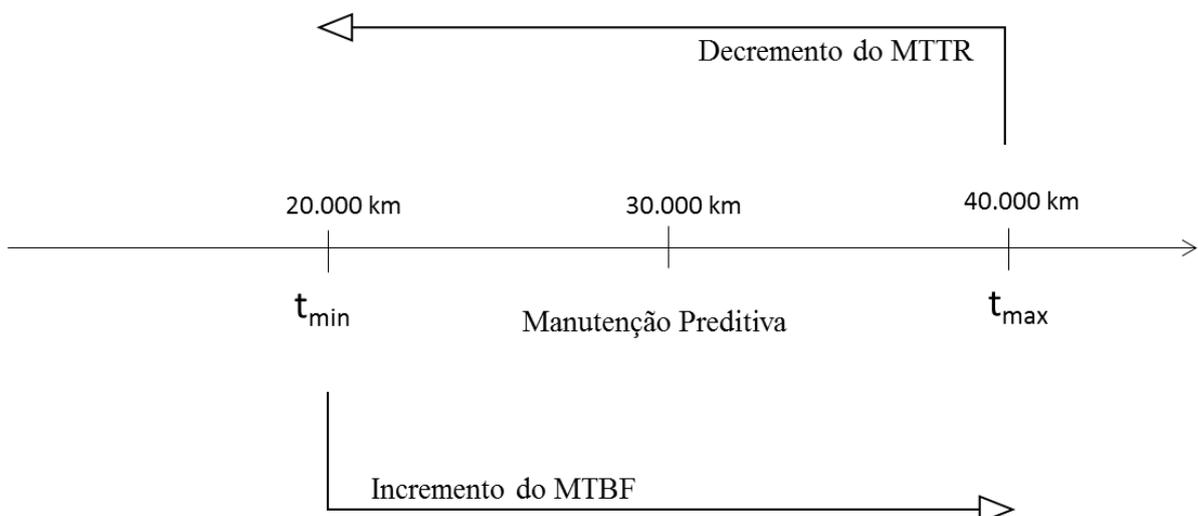


Figura 5.16 – Manutenção Preditiva versus MTTR/MTBF

A tabela 5.25 mostra a Disponibilidade *versus* MTTR para um determinado MTBF, onde a disponibilidade assume os valores de 80%, 85%, 90%, 95%, 96%, 97%, 98% e 99%.

Tabela 5.25 – Disponibilidade *versus* MTTR

Disponibilidade (%)	MTBF_1	MTTR_1	MTBF_2	MTTR_2	MTBF_3	MTTR_3	MTBF_4	MTTR_4	MTBF_5	MTTR_5
80,0%	365	91	360	90	340	85	320	80	300	75
85,0%	365	64	360	64	340	60	320	56	300	53
90,0%	365	41	360	40	340	38	320	36	300	33
95,0%	365	19	360	19	340	18	320	17	300	16
96,0%	365	15	360	15	340	14	320	13	300	13
97,0%	365	11	360	11	340	11	320	10	300	9
98,0%	365	7	360	7	340	7	320	7	300	6
99,0%	365	4	360	4	340	3	320	3	300	3

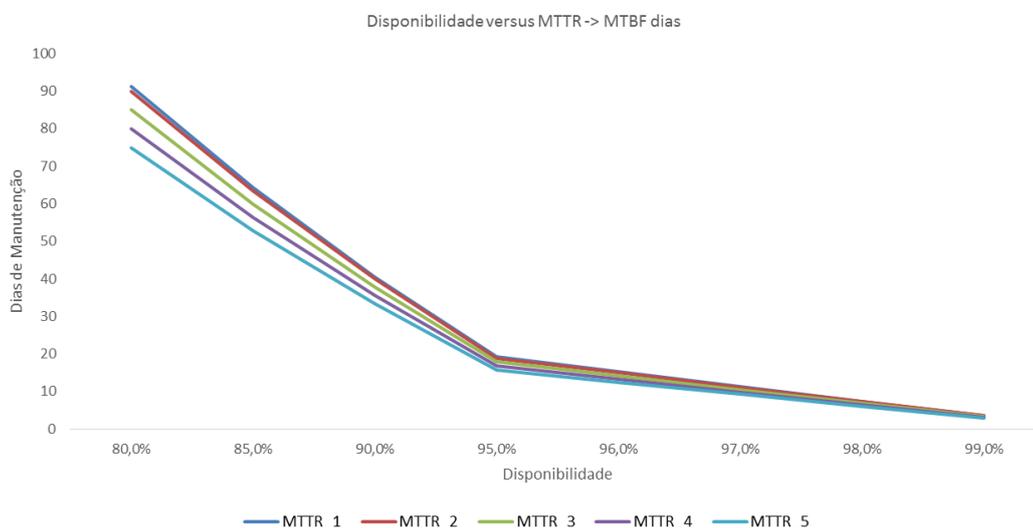


Figura 5.17 – Gráfico da disponibilidade *versus* MTTR -> MTBF

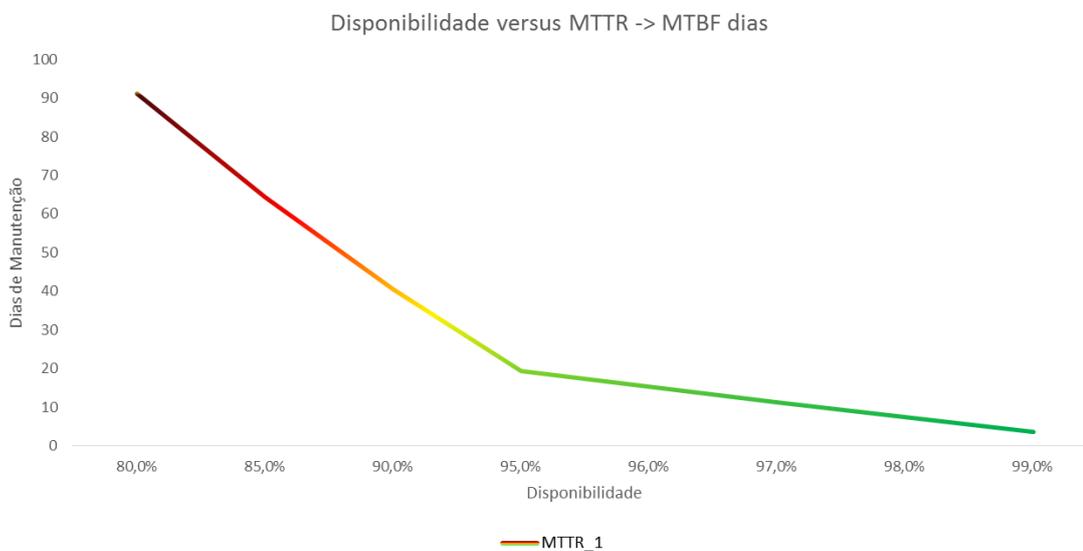


Figura 5.18 – Gráfico da disponibilidade *versus* MTTR -> MTBF

De um modo geral, pode considerar-se que quanto mais efectiva é a função manutenção numa organização, menor a taxa de falhas dos equipamentos e menor é o tempo gasto na sua resolução. Assim, valores de MTTR mais baixos e de MTBF mais altos indicam que a manutenção tem bom desempenho no apoio às operações produtivas. Pode constatar-se, através das figuras 5.17 e 5.18 que, quando o MTTR diminui a disponibilidade do autocarro aumenta. Neste sentido, importa demonstrar o entrosamento destes indicadores com a dimensão da frota de reserva em empresas de transporte. Tendo em consideração um MTTR médio real de uma empresa de transporte, podem identificar-se, na tabela 5.26, os seguintes dados:

- Disponibilidade (%) – Disponibilidade em percentagem;
- MTTR médio igual a 20 dias para a manutenção não planeada;
- Disponibilidade actual (D_{actual}) – Disponibilidade que resulta da realidade de uma empresa de transportes públicos, com valores reais do MTTR e do MTBF;
- Disponibilidade recomendada (D_{rec}) – Disponibilidade recomendada pelas marcas dos autocarros e pelos fornecedores dos óleos para determinação dos valores de MTBF e MTTR;
- Disponibilidade inerente a uma política de Manutenção de Condição - (D_{cbm}) - Disponibilidade baseada numa política de manutenção condicionada e determinação dos valores de MTBF e MTTR.

Tabela 5.26 – Disponibilidade versus Tipo de Manutenção/Indicadores

	Manutenção não planeada	Manutenção não planeada + Planeada					
	Médio	D_{actual}		D_{rec}		D_{cbm}	
Disponibilidade (%)	MTTR	MTTR	MTBF	MTTR	MTBF	MTTR	MTBF
80,0%	20	25	100	23	92	21,5	86
85,0%	20	25	142	23	130	21,5	122
90,0%	20	25	225	23	207	21,5	194
91,0%	20	25	253	23	233	21,5	217
92,0%	20	25	288	23	265	21,5	247
93,0%	20	25	332	23	306	21,5	286
94,0%	20	25	392	23	360	21,5	337
95,0%	20	25	475	23	437	21,5	409
96,0%	20	25	600	23	552	21,5	516
97,0%	20	25	808	23	744	21,5	695
98,0%	20	25	1225	23	1127	21,5	1054
99,0%	20	25	2475	23	2277	21,5	2129

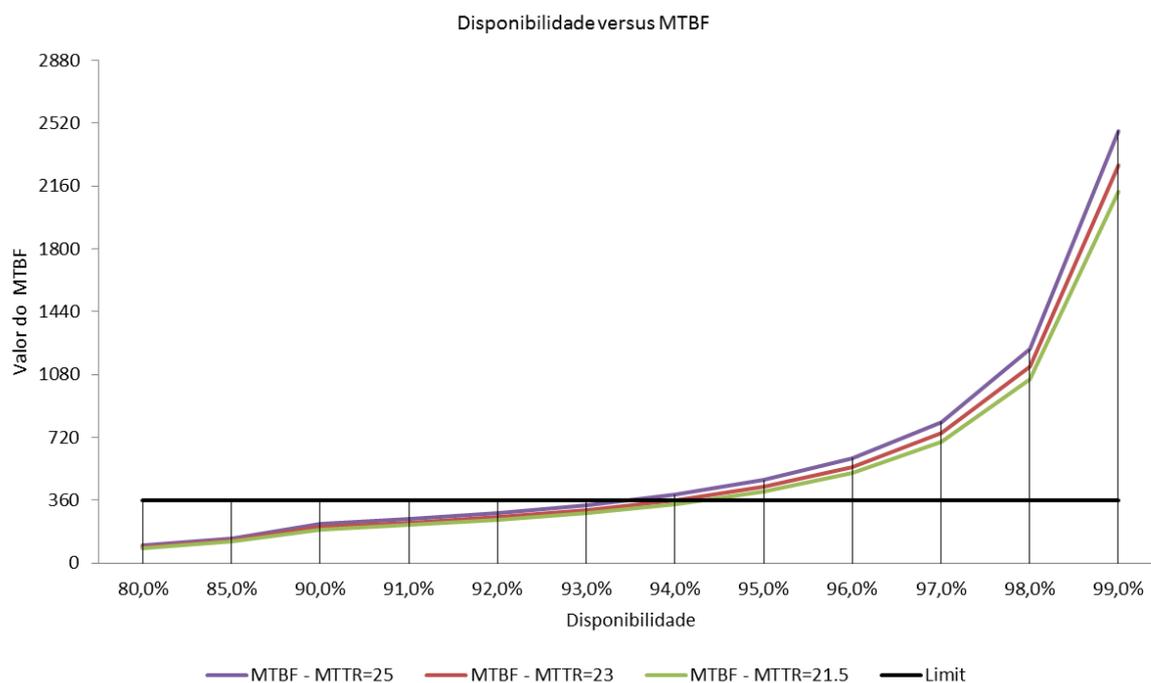


Figura 5.19 – Gráfico da disponibilidade versus MTBF -> MTTR

Constata-se, através da análise da tabela 5.26 e da figura 5.19, que a disponibilidade pode variar 1%, tendo em consideração a diminuição ou o aumento dos intervalos de mudas de óleo. Quando se diminuem os intervalos de mudas de óleo, verifica-se uma diminuição de 1% na disponibilidade da frota, passando de 94% para 93%, tendo como limite os 365 dias/ano.

Nesta sequência, apresentam-se na tabela 5.27 e no mapa radar (figura 5.20), a Disponibilidade *versus* Necessidade de Produção (autocarros necessários para efectuar as carreiras) da empresa em estudo, ao longo do ano.

Tabela 5.27 – Disponibilidade versus Necessidade

Meses	Frota de Autocarros	Disponibilidade	Necessidade	Manutenção	Frota de reserva
jan	115	97	90	18	7
fev	115	94	90	21	4
mar	115	96	90	19	6
abr	115	97	90	18	7
mai	115	97	90	18	7
jun	115	96	90	19	6
jul	115	93	90	22	3
ago	115	93	90	22	3
set	115	96	90	19	6
out	115	97	90	18	7
nov	115	99	90	16	9
dez	115	97	90	18	7

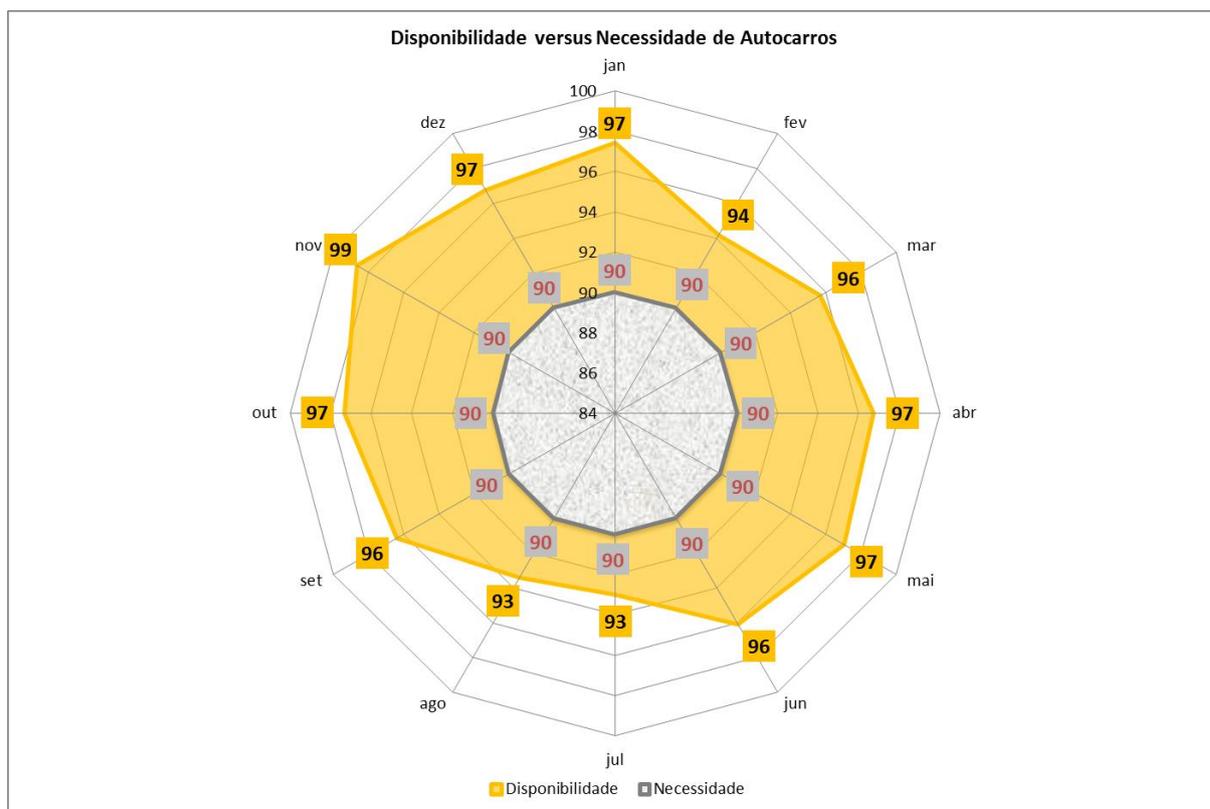


Figura 5.20 – Mapa radar da disponibilidade versus necessidade de autocarros

Nesta sequência, pode agora calcular-se a frota de reserva indexada aos valores do MTTR. A tabela e o gráfico seguintes mostram a variação da dimensão da frota de reserva segundo este indicador.

Tabela 5.28 – MTTR versus Frota de Reserva

MTTR	Frota de Autocarros [k]	Frota de Reserva [FR]	Intervalo [FR]
5	100	1,4	[1,2]
10	100	2,7	[2,3]
15	100	4,1	[4,5]
20	100	5,5	[5,6]
25	100	6,8	[6,7]
30	100	8,2	[8,9]

A partir da tabela 5.28, pode elaborar-se a fórmula (36) que permite determinar o tamanho da frota de reserva:

$$FR = \frac{m * MTTR}{k} \quad (\text{Eq. 44})$$

Sendo,

- FR* Frota de reserva;
m Número de veículos que compõem a frota;
MTTR Mean Time To Repair;
k Número de dias anos (365 dias).

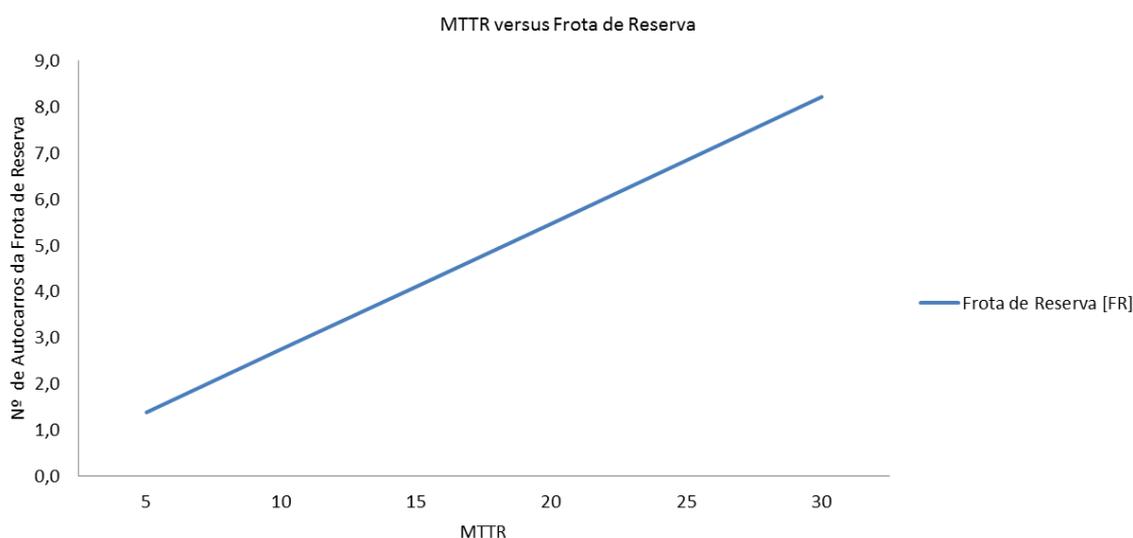


Figura 5.21 – Gráfico MTTR versus Frota de Reserva

De acordo com a tabela 5.28 e a figura 5.21, o tamanho da frota de reserva aumenta com o MTTR. Quanto menor for esse indicador, menor será o investimento da empresa numa frota de reserva. A ênfase é colocada no MTTR devido ao seu alto impacto nos custos de gestão, especialmente os indirectos. Mesmo um pequeno aumento no valor do MTTR corresponde a um aumento no custo da frota de reserva, devido ao alto custo de cada autocarro, como mencionado anteriormente.

Pode-se concluir, deste modo, que os KPI de fiabilidade em discussão e as políticas de manutenção praticadas pelas empresas de transporte rodoviário têm um enorme impacto nos custos de manutenção e na dimensão da frota de reserva.

De seguida, apresenta-se o cálculo do tamanho da frota de reserva para a empresa que serviu de apoio a esta investigação. Através da tabela 5.29 e do gráfico 5.22 podem verificar-se os resultados obtidos no presente estudo.

Tabela 5.29 – MTTR versus Frota de Reserva – Empresa em estudo

MTTR [dias]	Frota de Autocarros [k]	Frota de Reserva [FR]	Intervalo [FR]
5	115	2	[2,3]
10	115	3	[3,4]
15	115	5	[5,6]
20	115	6	[6,7]
25	115	8	[8,9]
30	115	9	[9,10]
35	115	11	[11,12]
40	115	13	[13,14]
45	115	14	[14,15]
50	115	16	[16,17]
55	115	17	[17,18]
60	115	19	[19,20]

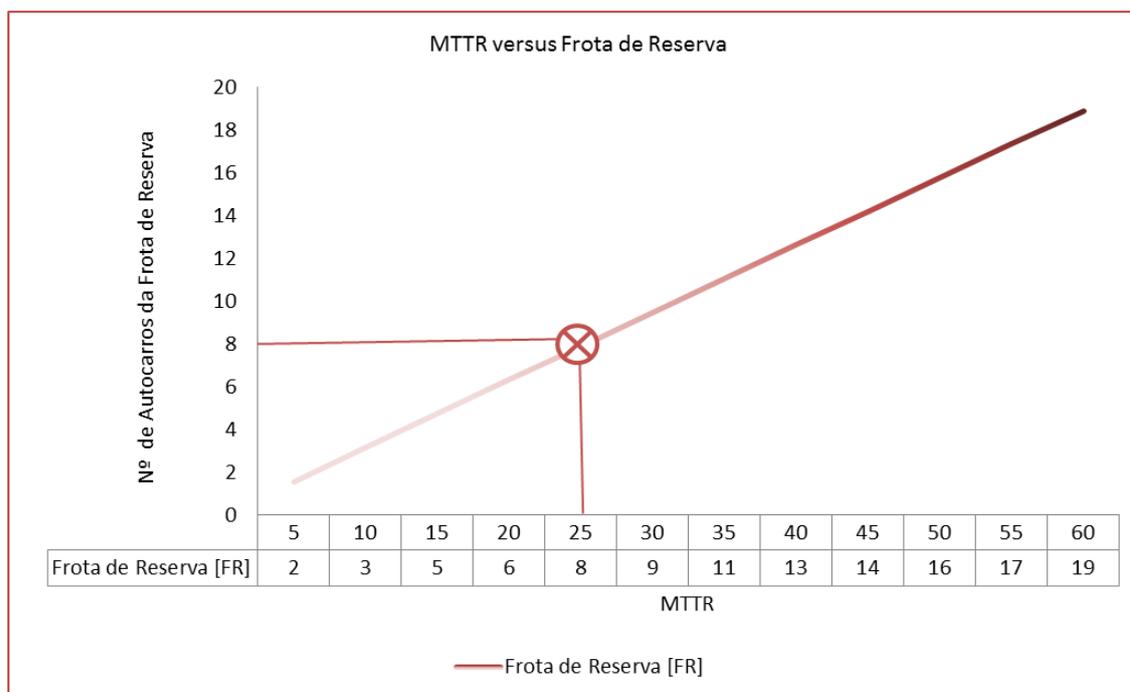


Figura 5.22 – Gráfico MTTR versus Frota de Reserva – Empresa em estudo

Pode constatar-se que para um MTTR real de 25 dias, numa frota de 115 autocarros, obtém-se um valor de 8 unidades para o tamanho da frota de reserva.

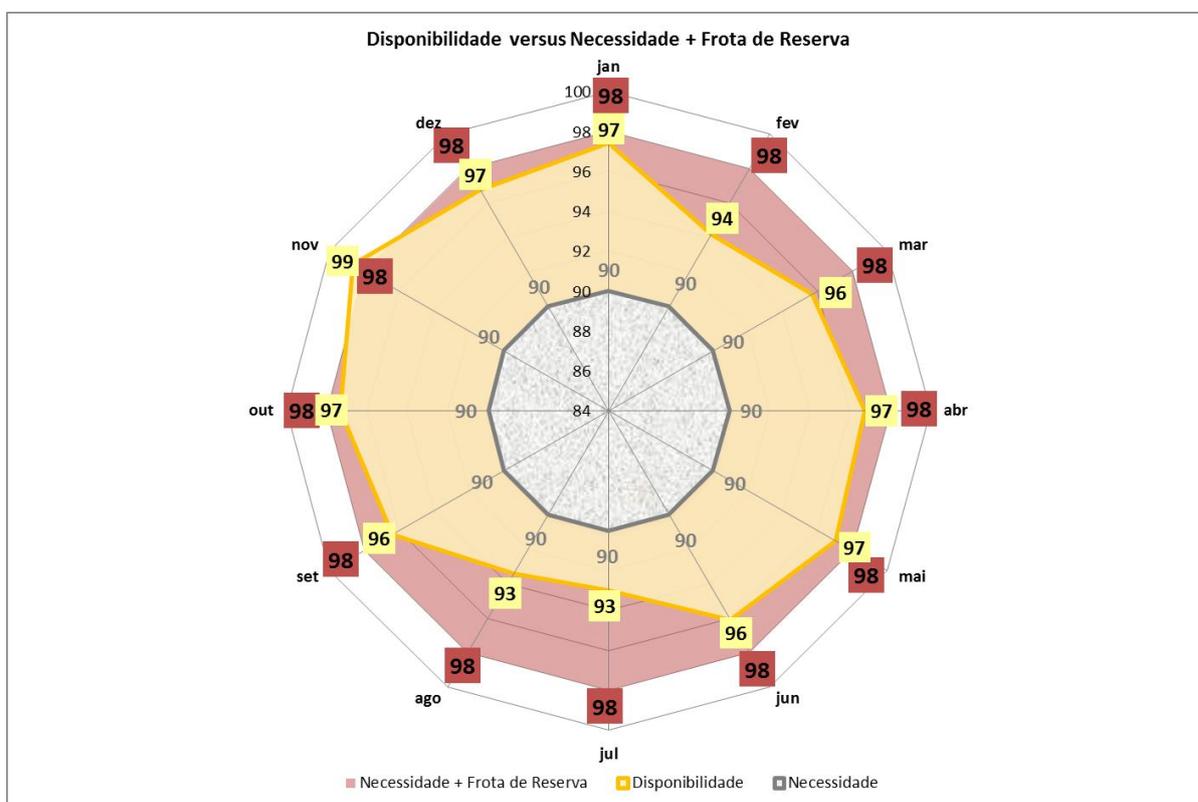


Figura 5.23 – Mapa radar da disponibilidade versus necessidade + frota de reserva

Através deste modelo, podem realizar-se os cálculos para obtenção do tamanho da frota de reserva para outras empresas, de maior ou menor dimensão, tendo em consideração o número de autocarros que compõem as suas frotas e o indicador de fiabilidade MTTR, como é apresentado seguidamente.

Tabela 5.30 – Frota de Autocarros versus Frota de Reserva

MTTR [dias]	Frota de Autocarros [k]	Frota de Reserva [FR]	Intervalo [FR]
25	100	7	[7,8]
25	500	34	[34,35]
25	1000	68	[68,69]
25	1500	103	[103,104]
25	2000	137	[137,138]
25	2500	171	[171,172]
25	3000	205	[205,206]
25	3500	240	[240,241]
25	4000	274	[274,275]

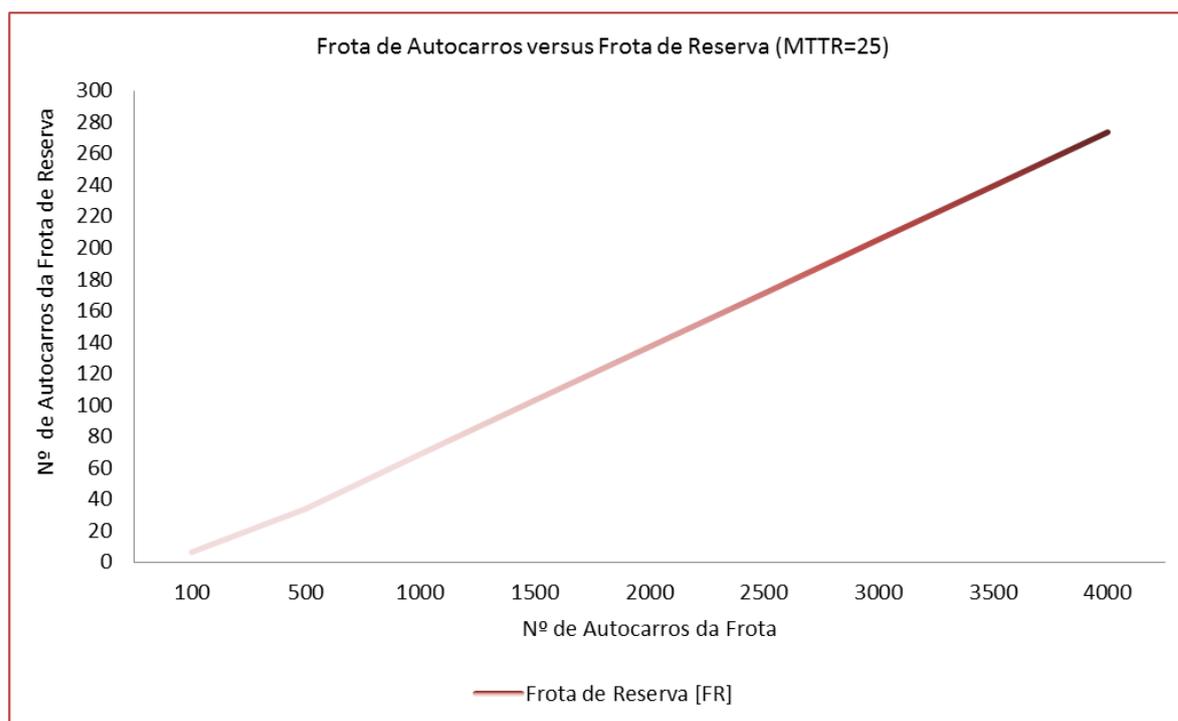


Figura 5.24 – Gráfico Frota de Autocarros versus Frota de Reserva

A tabela 5.30 e a figura 5.24 mostram o tamanho da frota de reserva para diversas empresas de transporte de passageiros, tendo em consideração um valor constante de 25 dias para o MTTR, variando, contudo, o tamanho da frota de autocarros estando, conseqüentemente, este valor relacionado com a dimensão da empresa. Assim sendo, podem obter-se os diversos valores do número de autocarros da frota de reserva consoante a dimensão da organização.

Deste modo, as várias abordagens ao longo desta dissertação levadas a efeito, visando a substituição dos autocarros e a avaliação do tamanho da frota de reserva, deram origem à criação de um novo modelo integrado de gestão que se designou por: Modelo Integrado de Avaliação de Frota de Reserva (MIAFRA), que sintetiza as seguintes abordagens:

- Modelos econométricos para determinação do valor mínimo do LCC
 - Renda Anual Uniforme tendo em consideração as seguintes variáveis:
 - Custos de funcionamento
 - Custos de manutenção
 - Custos de combustível
 - Valor de substituição
 - Taxa de inflação
 - Taxa de capitalização
- Modelo de Vida útil tendo em consideração as seguintes variáveis:
 - Custos de funcionamento
 - Custos de manutenção
 - Custos de combustível
 - Valor de substituição
 - Taxa de inflação
 - Taxa de capitalização
- Modelos de manutenção condicionada/preditiva para maximização da disponibilidade
 - MTBF
 - MTTR
 - Disponibilidade

As abordagens precedentes constituem-se num único modelo de análise que permite determinar o período mais racional para substituição dos autocarros e, por consequência, da frota de reserva, atendendo a que a primeira implica a segunda.

Importa destacar que a precedente abordagem integrada é válida para autocarros novos e usados, atendendo ao efeito da correcção monetária. Obviamente, ficam de fora desta análise os aspectos tecnológicos e ambientais.

A figura 5.25 apresenta o Modelo Integrativo para Avaliação da Frota de Reserva (MIAFRA), que sintetiza a abordagem global que esteve subjacente à presente dissertação.

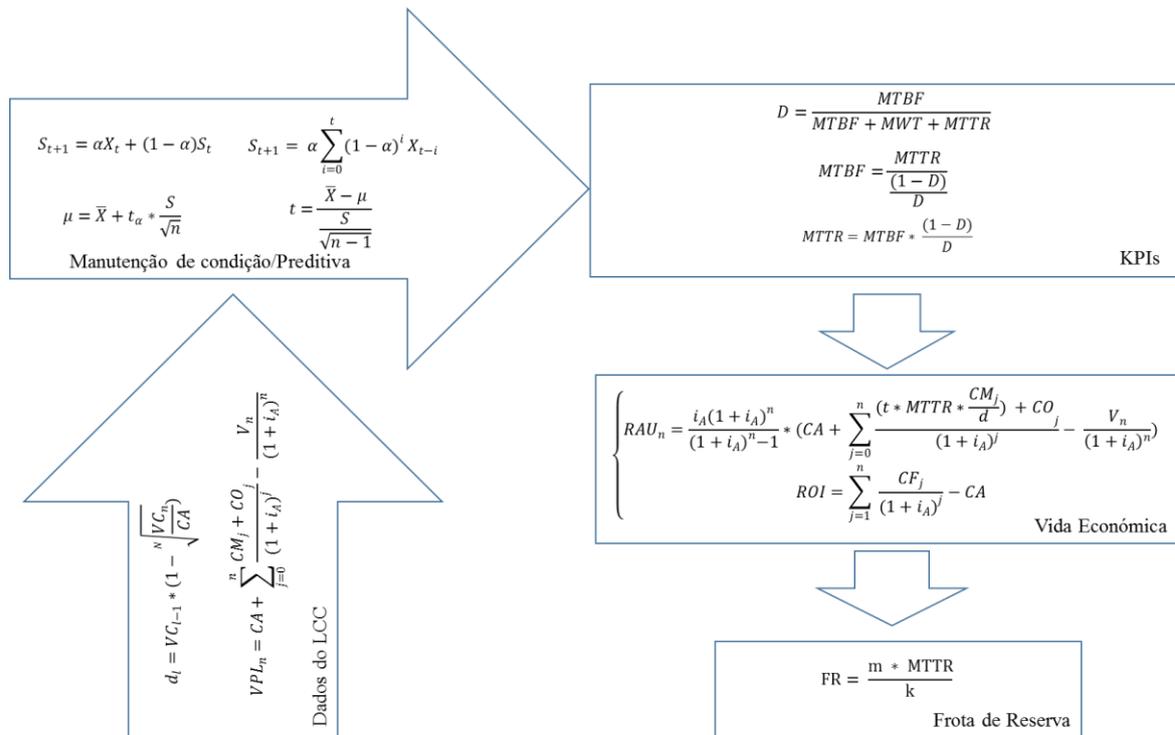


Figura 5.25 - Modelo Integrado de Avaliação da Frota de Reserva

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

A presente dissertação centra-se em modelos económicos para a determinação do momento mais racional para a substituição de autocarros em empresas de transporte, indexados à dimensão da frota de reserva.

O resultado global centra-se num modelo integrador para apoio à substituição de autocarros de transporte urbano, mas com potencial de se estender a outros tipos de equipamentos.

Os fios condutores da investigação levada a efeito foram os seguintes: Racionalizar a gestão do ciclo de vida dos equipamentos/autocarros; Racionalizar o tempo da substituição dos equipamentos/autocarros; Racionalizar a frota de reserva.

Os aspectos económicos foram orientados por indicadores diversos, tais como os custos associados à aquisição, manutenção, operação, *cash flow*, entre outros.

A dissertação suportou-se em ferramentas clássicas de para determinação do momento mais racional de substituição de equipamentos, mas tomando como referência as políticas de manutenção e a sua relação com o LCC, aplicadas a dados reais de uma empresa de transportes públicos urbanos.

A dissertação demonstra ainda que existe uma variação no tempo mais racional de substituição dos veículos, obtida pelos diversos métodos de cálculo usados, nomeadamente, o método da Renda Anual Uniforme, da Minimização do Custo Médio Total e da Minimização do Custo Médio Total com redução ao valor presente.

Demonstra-se, ainda, a influência das variáveis endógenas e exógenas, nomeadamente a taxa de inflação, de capitalização, o valor de substituição e o preço do gasóleo na determinação do momento mais racional de substituição dos autocarros.

Outro aspecto enfatizado na tese é a referente às políticas de manutenção condicionada/preditiva, atendendo a que as mesmas podem ser responsáveis pela diminuição das despesas gerais da empresa e pelo incremento da disponibilidade operacional dos equipamentos. Esta vertente é suportada através do caso das análises de óleo, comprovando-se que a utilização de uma política de manutenção condicionada/preditiva influencia o custo de manutenção dos equipamentos e a dimensão da frota de reserva.

Nesta vertente destacam-se algumas variáveis, tais como a Fuligem, a Viscosidade e o Teor de Ferro, as quais dão indicações relevantes sobre a condição dos motores Diesel. Esta mesma análise pode estender-se às restantes variáveis que permitem caracterizar os óleos lubrificantes.

A dissertação apresenta, também, a relação entre a abordagem precedente e a dimensão da frota de reserva no sector do transporte urbano de passageiros, demonstrando a relação que existe entre os intervalos de substituição dos óleos e os respectivos custos.

Finalmente, apresenta-se um modelo integrador das metodologias precedentes num modelo econométrico global para apoio à decisão para substituir autocarros e calcular a dimensão da frota de reserva, o qual foi designado por Modelo Integrado de Avaliação de Frota de Reserva (MIAFRA). Além disso, valida essas metodologias usando dados reais de uma frota de autocarros de transporte urbano de passageiros.

CAPÍTULO 7. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Importa neste capítulo apresentar as perspectivas sobre os desenvolvimentos futuros e também mencionar factores que podem influenciar trabalhos e directrizes estratégicas para o desenvolvimento deste modelo de apoio à decisão, no sentido de abrir novos caminhos nas organizações.

Face ao projecto levado a efeito, impõe-se perspectivar no futuro a evolução do MIAFRA, de forma a ser uma ferramenta que antecipa os novos desafios que, permanentemente, se colocam à gestão de activos e à manutenção industrial. Nesta sequência é necessário criar e introduzir:

- Um programa informático para o MIAFRA, de fácil *interface* com o utilizador;
- Variáveis ambientais, tecnológicas, de desempenho, de segurança, entre outras;
- Critérios económicos, mas também não-económicos, tais como decisões estratégicas e de gestão, sendo avaliados por intermédio de ferramentas de decisão múltipla, tais como, Redes Neurais, Lógica Fuzzy e Support Vector Machine (SVM).

Outra área relevante a desenvolver no futuro será a dos sistemas de diagnóstico de condição *on-board*, possibilitando que, em tempo real, o condutor possa conhecer a condição de um número muito alargado de órgãos do motor, transmissão, sistema eléctrico, etc.

O entrosamento das análises de óleos com um *Expert System* é outra vertente que poderá potenciar ganhos que serão tanto maiores, quanto maiores forem as avarias detectadas.

Estes dois últimos desenvolvimentos futuros podem, e devem influenciar os indicadores de manutenção que, por sua vez, influenciam o tempo e os novos modelos de substituição, nomeadamente através do MTTR e dos custos de manutenção, sendo que os precedentes influenciam a dimensão da frota de reserva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alsyouf, I. (2006), (2006): *Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 12 Issue: 2, pp.133 – 149. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510610667165>

Amaral, F. D. (2016): *Gestão da Manutenção na Indústria*. Lisboa: 1ª Edição, Lidel – Edições Técnicas Lda. ISBN 978-989-752-151-5.

Amaya, E. J.; Tonaco, R.;Souza, R. Q.; Álvares, A. J. (2007): *Sistema Inteligente de Manutenção Baseada em Condição para Usina Hidrelétrica de Balbina*. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Grupo de Inovação em Automação Industrial (GIAI), CEP 70910-900, 8th Congresso Engenharia Mecânica, Ibero-Americano, Brasília, DF, Brazil.

André, J. C. S. (2008): *Ensinar e Estudar Matemática em Engenharia*. Lisboa: 1ª Edição, Imprensa da Universidade de Coimbra. ISBN 978-989-8074-37-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0354-4>.

André, J. C. S. (2008): *Probabilidades e Estatística para Engenharia*. Lisboa: 1ª Edição, Lidel – Edições Técnicas Lda. ISBN 978-972-7574-77-3.

Aoudia, M.; Belmokhtar, O. (2008): Economic impact of maintenance management ineffectiveness of na oil gas company. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 14, Issue 3, pp. 237-261.

Araujo, M. S.; Bezerra, C. A. (2004): *Development of components for stochastic systems for decision support*. PUCPR Brazilian, Congress of Computer Science, Software Engineering, Brazil, pp 101-107.

Assaf Neto, A. (2005): *Finanças corporativas e valor*. São Paulo: Atlas. ISBN: 9788522460144.

Assis R.; Julião, J. (2009): *Gestão da Manutenção ou Gestão de Activos? (custos ao longo do Ciclo de Vida)*. Comunicação 10º Congresso Nacional Manutenção, APMI, Figueira da Foz, Portugal.

Assis, R. (2010): *Apoio à decisão em manutenção na gestão de activos físicos*. Lisboa: 1ª Edição, Lidel – Edições técnicas, Lda.ISBN: 9789897521126.

ASTM International (2002): *Standard practice for measuring life-cycle costs of buildings and building system*. Annual Book of ASTM Standards: 2002, Volume 4, ASTM International West Conshohocken, PA, E 917, No. 11.

-
- BAS PAS 55 (2008): Asset Management: PAS 55-1, Part 1: Specification for the optimized management of physical assets | PAS 55-2, Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1. British Standards, UK.
- Beichelt F. (2001): *A replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost*. Department of Statistics and Actuarial Science, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa; International Journal of Quality & Reliability Management, . MCB University Press, 0265-671X, Volume. 18 No. 1, pp. 76-83.
- Bescherer, F. (2005): *Established Life Cycle Concepts in the Business Environment – Introduction and terminology.*, Laboratory of Industrial Management Report Series, report 1/2005, Helsinki University. ISBN 951-22-7549.
- Bourne, M. (2005): *Researching performance measurement system implementation: the dynamics of success and failure*. Production Planning & Control, Volume 16, Issue: 2, pp. 101–113.
- Bourne, M., Neely, A., Platts, K., Mills, J. (2002): *The success and failure of performance measurement initiatives Perceptions of participating managers*. International Journal of Operations & Production Management, Volume 22, Issue: 11, pp. 1288-1310.
- Brown, M. (2003): *Applying the Predictive Approach*. New Standard Institute.
- Cabral, J. P. S. (2009): *Gestão da Manutenção de equipamentos, instalações e edifícios*. LIDEL, Biblioteca Industria & Serviços.
- Cabral, J. S (2006): *Organização e Gestão da Manutenção*. Lisboa: 6ª Edição, Lidel – Edições Técnicas Lda. ISBN: 9789727574407.
- Cabrita, C. P., Cardoso, A. J. M. (2013): *Concepts and definitions of failure and breakdown in the Portuguese maintenance standards NP EN 13306: 2007 and NP EN 15341: 2009*. CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, University of Beira Interior, 17 Ibero-American Congress on Maintenance, Cascais, Portugal.
- Campello, R. J. G. B.; Amaral, W. C. (2001): *Modelling And Linguistic Knowledge Extration From Systems Using Fuzzy Relation Models*. Fuzzy Sets and Systems, Volume n. 121, pp. 113-126.
- Campos, L. C. D.; Vellasco, M. M. B. R.; Lazo, J. G. L. (2010): *Um modelo estocástico baseado em redes neurais*. Tese de doutoramento (Ph.D.), UFJF, Juiz de Fora, Brazil.
- Casarotto F., N. (2000): *Análise de investimentos - matemática financeira, engenharia económica, tomada de decisão, estratégia empresarial*. – 9.ed. — São Paulo: Atlas. ISBN: 85-224-2572-8.
- Chena, D.; Wanga, L.; Li, L. (2015): *Position computation models for high-speed train based on supportvector machine approach*. Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.01.017>.
-

-
- Clifton, R. H., (1985): *Principles of planned maintenance*. London, Edward Arnold (Publishers), Ltd. ISBN: 0713133171: 0713133171.
- Costa A. H. P. (2008): *Transportes Públicos*. Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes, Universidade do Porto e Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Couellan, N.; Jana, S.; Jorquera T.; George J.P. (2015): *Self-adaptive Support Vector Machine: A multi-agent optimization perspective*. Université de Toulouse, UPS IMT, F-31062 Toulouse Cedex 9, France, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.028>.
- Di, J.; Hauke, L. (2000): *Optimal fleet utilization and replacement*. Transportation Research Part E, Volume 36, Issue 1, pp. 3–30. ISSN: 1366-5545.
- Durairaj, S.K., et al. (2002): *Evaluation of life cycle cost analysis methodologies*. Corporate Environment Strategy, Volume 9, Issue 1, pp. 30-9.
- Emblemsvag, J. (2001): *Activity-based life-cycle costing*. Managerial Auditing Journal, Volume 16, Issue 1, pp. 17-27.
- Farinha, J. M. T. (2011): *Manutenção – A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Lisboa: 1ª Edição, Monitor – Projecto e Edições, Lda. ISBN 978-972-9413-82-7.
- Farinha, J. M. T., (1997): *Manutenção de Instalações e Equipamentos Hospitalares – Uma Abordagem Terológica*. Livraria Minerva Editora, Coimbra, Portugal. ISBN: 9728318162.
- Feldens, A. G.; Muller, C. J.; Filomena, T. P.; Neto, F. J. K.; Castro, A. S.; Anzanello, M. J. (2010): *Política para Avaliação e Substituição de Frota por Meio da Adoção de Modelo Multicritério*. Porto Alegre, Brazil, ISSN 1980-4814.
- Ferreira, L. A. (2013): *Conferência – Gestão de Activos Físicos*. Ordem dos Engenheiros.
- Ferreira, L. A., (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Pubblindústria, Edições Técnicas, Porto - Portugal. ISBN 972-95794-4-X.
- Ferreira, L., Silva, (2002). *A Importância de Atingir Níveis Elevados de Disponibilidade e Segurança em Sistemas Complexos*. Comunicação ao 1º Congresso Mundial de Manutenção, Salvador-Bahia, Brasil.
- Figueiredo, L. M. J. (2009): *Modelo multicritério de apoio à substituição de equipamentos médicos hospitalares*. Tese de doutoramento (Ph.D.), IST, Lisboa, Portugal.
- Francis, K. N.; Leung and Ada; Cheng, L.M. (2000): *Determining replacement policies for bus engines*. City University of Hong Kong, Hong Kong; International Journal of Quality & Reliability Management, MCB University Press, 0265-671X, Volume 17 No. 7, pp. 771-783.
- Gits, C. W. (1994): *Structuring Maintenance control Systems*. International Journal of Operations & Production Management, Volume 14, Issue: 7, pp. 5-17.
-

-
- Grall, A., Bérenguer C., Dieulle, L. (2001): *A Condition-Based Maintenance Policy for Stochastically Deteriorating Systems*. Reliability Engineering & System Safety, Elsevier Science, Université de Technologie de Troyes, Volume 76, Issue 2, pp 167-180.
- Gurney, K. (1997): *An introduction to neural networks*. London, UCL Press. ISBN: 1857285034.
- Huang, Jia-Yen, Yao, Ming-Jong (2008): *On the coordination of maintenance scheduling for transportation fleets of many branches of a logistic service provider*. Ling Tung University1 Ling Tung Road, Nantun, Taichung 408, Taiwan, ROC. doi:10.1016/j.camwa.2008.01.037
- Husband, T. M., (1988): *Maintenance Management and Terotechnology*. Westmead: Saxon House. ISBN: 0566001462.
- ISO 55000:2014 (2014) - Asset management - Overview, principles and terminology; ISO 55001:2014 - Asset management - Management systems – Requirements; ISO 55002:2014 - Asset management - Management systems - Guidelines for the application of ISO 55001.
- Khasnabis, S.; Alsaidi, E.; Ellis, R. (2002): *Optimal allocation of resources to meet transit fleet requirements*. Journal of Transportation Engineering, Volume 128, Issue 6, pp. 509-518.
- Korpi, E. and Ala-Risku, T. (2008): *Life cycle costing: a review of public case studies*. Managerial Auditing Journal, Volume 23, Issue 3, pp. 240-61.
- Kumar, U. (2006): *Development and implementation of maintenance performance measurement system: issues and challenges*. Proceedings of the First World Congress on Engineering Asset Management, Springer, 2006. p. 738-743.
- Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C., Berges, L. (2013): *Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 19, Issue: 3, pp.233-277, <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0029>.
- l'Association Française de Normalisation (AFNOR), (2002): “FD X 60-000 –Normalisation Française - Maintenance industrielle Fonction maintenance”, France.
- Levitt, J., (2002): *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance*. Industrial Press, Inc. ISBN-10: 083113352X. ISBN-13: 978-0831133528.
- Lima, W. C., Sales, J. A. A. (2008): *Manutenção Preditiva Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva*.
- Lindholm, A. and Suomala, P (2004): *The possibilities of Life Cycle Costing in Outsourcing Decision Making*. Frontiers of E-Business Research, pp.226–241.
- Luna, I., Ballini, R., and Soares, S. (2006): *Identification technique of linear and nonlinear time series*. Magazine Automation and Control, Volume 17, Issue 3, pp. 245-256.
-

- Macian Martinez, V.; B Tormos; Gomez Estrada, YA.; Bermúdez, V. (2013). *Revisión del proceso de la degradación en los aceites lubricantes en motores de gas natural comprimido y diesel*. Dyna Ingeniería e Industria, Volume 88, Issue: 1, pp.49-58. doi:10.6036/5077.
- Macian, V., Tormos, B., Miro G., Pérez T. (2015): *Assessment of low-viscosity oil performance and degradation in a heavy duty engine real-world fleet test*. Proc IMechE Part J: Journal Engineering Tribology, Volume 0, Issue: 0, pp. 1–15. DOI: 10.1177/1350650115619612.
- Macian, V., Tormos, B., Ruiz, S., Ramirez L. (2015): *Potential of low viscosity oils to reduce CO2 emissions and fuel consumption of urban buses fleets*. Transportation Research Part D, Volume 39, pp.76–88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.06.006>.
- Macian, V., Tormos, B., Ruiz, S., Ramirez R., L. et al. (2014): *In-Use Comparison Test to Evaluate the Effect of Low Viscosity Oils on Fuel Consumption of Diesel and CNG Public Buses*. SAE Technical Paper 2014-01-2794. doi:10.4271/2014-01-2794.
- Makridakis, S.; Wheelwright, S. & Hyndman, R. F. (1998): *Forecasting -Methods and Applications*. New York: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-53233-9.
- Marco, A. R.; Angelo, A. D.; Leizer, S.; Silvio, A. B. V. (2010): *The use of Bayesian networks in the decision making process interventions in equipment*. Industrial Engineering Program, Federal University of Bahia, Polytechnic School, XVIII Brazilian Congress Auto / 12 to 16 September 2010 Federation, 40210-630, Salvador, Brazil, pp. 5058-5064.
- Martorell, S., Sanchez, A., Muñoz, A., Pitarch, J. L., Serradell, V., Roldan, J. (1999): *The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on Npp performance and safety*. Reliability engineering & System safety, Volume 65, pp. 85-94.
- Mather, D. (2005): *The Maintenance Scorecard – Creating Strategic Advantage*. 1st Ed. Industrial Press, New York, NY.
- Mirshawka, V., Olmedo, N. (1993): *Manutenção – Combate aos Custos da Não-Eficácia: A vez do Brasil*. Editora Makron Books, São Paulo, Brasil.
- Mobley, R. K., (2002): *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann – Elsevier, USA. ISBN 0-7506-7531-4.
- Motta, R. R.; Calôba, G. M. (2002): *Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais*. São Paulo: Atlas. ISBN: 9788522430796.
- Moubray, J. (2000): *Manutenção Centrada em Confiabilidade*. Aladon Ltda, São Paulo, Brasil.
- Moubray, J., (2004): *Reliability-Centered Maintenance*. Second Edition, Industrial Press, Inc.
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., Martin, H., (2011): *Development of maintenance function performance measurement framework and indicators*. International Journal of Production Economics, Volume 131 Issue: 1, pp. 295–302. doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.039.

-
- Müller, D. (2007): *Stochastic processes and applications*. Collection Economic Volume 2 Series off Financial Law and Tax. Almedina.
- Mutingi M., Nangolo V., Musiyarira H., Mbohwa C. (2016): *Adoption of Maintenance Key Performance Indicators in the Nambian Mining Industry*. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2016 Volume II WCECS, October 19-21, 2016, San Francisco, USA. ISBN: 978-988-14048-2-4; ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online).
- Natali, H.; Yuri Y. (2007): *Optimal equipment replacement without paradoxes: A continuous analysis*. Operations Research Letters. ELSEVIER. Volume 35, Issue 2, March, pp. 245–250.
- NP EN 13306:2007, (2007): Terminologia da *Manutenção*. Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- NP EN 15341:2009, (2009): *Manutenção – Indicadores de desempenho da manutenção (KPI)*. Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- Oliveira, J. A. N. (1982): *Engenharia Económica – Uma abordagem às Decisões de Investimento*. São Paulo: McGraw-Hill Brazil.
- Otani, M., Machado, W. V. (2008): *A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial*. Revista Gestão Industrial, Volume 4, Issue: 2, pp.01-16. ISSN 1808-0448.
- Parida, A. (2007): *Study and analysis of maintenance performance indicators (MPIs) for LKAB: A case study*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 13, Issue: 4, pp. 325–337. doi:10.1108/13552510710829434.
- Parida, A., Chattopadhyay, G. (2007): *Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM)*. Journal of Quality in Maintenance engineering, Volume 13, Issue: 3, pp. 241-258.
- Parida, A., Kumar U., (2006): Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 12 Issue: 3, pp.239 – 251. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510610685084>.
- Pinar, K.; Hartman, J. (2004): *Case Study: Bus Fleet Replacement*. The Engineering Economist, Volume 49, Issue 3, pp. 253-278.
- Pinto, C. V. (2002): *Organização e Gestão da Manutenção*. Lisboa: 2ª Edição, Monitor – Projecto e Edições, Lda.
- Pooyan N.; Shahbazian M., Salahshoor K.; Hadian M. (2015): *Simultaneous Fault Diagnosis using multi class support vector machine in a Dew Point process*. Department of Instrumentation and Automation, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2015.01.043>.
-

-
- Raposo H. D. N., Farinha, J. T., Ferreira, L. (2013): *Transporte público de passageiros – A importância da condição dos óleos na qualidade do serviço*. Revista Manutenção / 3º trimestre, Grupo Publindústria, Volume 117, pp. 4-11.
- Raposo H. D. N.; Farinha, J. T.; Oliveira, R.; Ferreira, L. A.; André, J. (2014): *Time Replacement Optimization Models for Urban Transportation Buses with Indexation to Fleet Reserve*. MPMM – Maintenance Performance Measurement and Management; Coimbra, Portugal. ISBN 978-972-8954-43-7; http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8954-42-2_7.
- Scarf, P. A.; Bouamra, O. A. (1999): *Capital equipment replacement model for a fleet with variable size*. Centre for OR and Applied Statistics, University of Salford, UK, Journal of Quality in Maintenance Engineering, © MCB University Press, 1355-251 Volume 5 No. 1, pp. 40-49.
- Seabra, J.; Graça, B. (1996): *Analysis of oils and greases in service*. Proceedings of the Fifth National Congress of Industrial Maintenance - APMI, Figueira da Foz.
- Simões, A. S. (2011): *Manutenção Condicionada às Emissões Poluentes em Autocarros Urbanos – Diagnóstico por Cadeias Escondidas de Markov*. Tese de doutoramento (Ph.D.), Instituto Superior Técnico.
- Slack, N., & Lewis, M. (2008): *Operations strategy (2ª ed.)*. London: Prentice-Hall Financial Times.
- Souza, F. (2002): *Decisões racionais em situações de incerteza*. Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- Souza, V. C. (2011): *Organização e Gerenciamento da Manutenção: Programa e Controle de Manutenção*, 4ª Edição, All Printe Editora, São Paulo.
- Stenström, C., Parida, A., Kumar, U., Galar, D. (2013): *Performance indicators and terminology for value driven maintenance*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 19, Issue: 3, pp.222-232, <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0024>
- Tsoukalas, L. H.; Uhrig, R. E. (1996): *Fuzzy and neural approaches in engineering*. New York: John Wiley. ISBN: 0471160032.
- Vey, I. H.; Rosa, R. M. (2004): *Fleet replacement in municipal passenger transportation company: a case study*. Federal University of Santa Maria, Electronic Accounting Journal, Volume 1, Issue 1, Sep-Nov, pp. 150–173.
- Visser, J., Kotze, R. L. M. (2010): *Maintenance performance indicators: An analysis in the mining industry*, pp. 1–32.
- Vujanovic, D.; Momčilo, V.; Bojovic, N.; Papic, V. (2012): *Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP*. University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Serbia. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>.
-

- Weber, A., Thomas, R. (2005): *Key Performance Measuring and Managing the Maintenance*. Burlington Ontario.
- Wijaya, A. R.; Lundberg, J.; Kumar, U. (2012): *Robust-optimum multi-attribute age-based replacement policy*. Division of Operation and Maintenance Engineering, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden; *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 18 No. 3, 2012 pp. 325-343, Emerald Group Publishing Limited 1355-2511, DOI 10.1108/13552511211265910.
- William, G. S.; Thomas, N. M.; Eileen M. V. A. (2002): *Equipment replacement decisions and lean manufacturing*. ELSEVIER. Volume 18, Issues 3–4, June–August 2002, pp. 255–265.
- Jennifer, L. R. and Joseph C. H. (2005): *Equipment replacement under continuous and discontinuous technological change*. *IMA Journal of Management Mathematics*; Volume 16, Issue 1, pp 23-36.
- Wireman, T. (2005): *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*. Industrial Press, Inc., New York.
- Yager, R. R. and Zadeh, L. A., ed. (1992): *Introduction to fuzzy logic applications*. An intelligent systems Boston, Kluwer Academic, Publishers. ISBN 0792391918.
- Zhao, H. (2009): *A chaotic time series prediction based on neural network: Evidence from the shanghai composite index in china*. In *Test and Measurement, 2009. ICTM 09. International Conference on*, Volume 2, pp. 382 –385.
- Zohrul Kabir, A. B. M. (1996): *Evaluation of overhaul/replacement policy for a fleet of buses*. King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia; *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, © MCB University Press, 1355-2511, Volume. 2 No. 3, 1996, pp. 49-59.

ANEXO A – MODELOS DE SUBSTITUIÇÃO DE AUTOCARROS – DADOS DE ANÁLISE

A.1. Caracterização dos Autocarros

A frota caracterizada para a comparação de diferentes tipos de veículos (decompostos em grupos homogéneos) é efectuada com base em variáveis descritivas dos componentes do veículo. O autocarro urbano é composto por um conjunto de dois componentes: *chassis* e carroçaria, geralmente adquiridos a fabricantes distintos. O fabricante da carroçaria é responsável pela montagem final do *chassi* na carroçaria do autocarro.

A classificação de veículos em grupos homogéneos deve utilizar as seguintes variáveis descritivas: ano de fabricação do autocarro (e ano de início de operação, caso seja diferente); modelo de *chassis*; modelo de carroçaria. Algumas características especiais também devem ser levantadas, principalmente aquelas que afectam significativamente o desempenho económico/operacional.

Os dados considerados foram os seguintes:

- Ano de fabrico dos autocarros;
- Ano de início de operação;
- Marca;
- Modelo;
- Tipo do veículo;
- Custos de manutenção;
- Custos de operação;
- Etc.

Foram seleccionadas 10 viaturas, divididas em duas marcas e cinco modelos diferentes, como se pode observar na tabela A.1.

Tabela A.1 – Tabela de Caracterização dos Autocarros

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	Ano de Fabrico	Data Entrada	Anos	Tipo Motor	Combustível	Potência	Capacidade	Custo de Aquisição
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	1993	1994	21	EURO 1	GASÓLEO	157 KW	96	110 658,31 €
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	1993	1994	21	EURO 1	GASÓLEO	157 KW	96	110 658,31 €
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	1993	1994	21	EURO 1	GASÓLEO	157 KW	96	110 658,31 €
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	1996	1997	18	EURO 2	GASÓLEO	245 HP	84	120 459,69 €
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	1998	1999	16	EURO 2	GASÓLEO	245 HP	87	130 005,68 €
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	2002	2003	12	EURO 3	GASÓLEO	205 KW 275 CV	95	164 453,66 €
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	2002	2003	12	EURO 3	GASÓLEO	205 KW 275 CV	95	164 453,66 €
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	2002	2003	12	EURO 3	GASÓLEO	205 KW 275 CV	95	164 453,66 €
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	2004	2005	10	EURO 3	GASÓLEO	202 KW / 275 HP	90	159 515,57 €
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	2004	2005	10	EURO 3	GASÓLEO	202 KW / 275 HP	90	159 515,57 €

A.2. Dados Históricos dos Autocarros

Foram recolhidos os dados históricos para cada viatura alvo do estudo, como se pode verificar nas tabelas A.2 a A.6.

Tabela A.2 – Tabela de Km/ano percorridos pelos Autocarros

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	Km / 2004	Km / 2005	Km / 2006	Km / 2007	Km / 2008	Km / 2009	Km / 2010	Km / 2011	Km / 2012	Km / 2013	Km / 2014
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	64 360	60 330	57 723	55 042	56 345	49 740	43 303	43 925	52 969	52 419	57 101
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	65 115	56 358	56 884	51 397	49 177	46 204	51 157	51 717	51 288	46 269	45 462
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	59 443	61 288	54 267	48 957	57 007	44 875	48 723	53 096	49 445	48 462	19 247
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	76 259	66 421	62 647	62 666	66 841	60 873	59 402	68 950	71 618	59 899	65 658
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	53 133	62 303	57 642	54 533	59 897	54 270	53 632	56 046	62 425	46 375	47 292
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	51 664	54 267	51 732	53 327	57 290	59 664	51 306	56 715	51 042	41 007	5 885
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	53 276	52 633	50 798	51 557	55 364	59 841	54 027	58 395	47 335	47 462	1 845
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	53 174	61 196	65 235	67 506	69 173	65 386	63 213	59 034	59 707	53 134	60 611
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	45 241	62 290	59 294	45 689	43 728	39 754	37 387	36 907	33 382	38 483	39 879
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	41 407	60 632	58 460	42 029	41 095	38 199	36 405	32 364	35 887	43 630	37 990

Tabela A.3 – Tabela de Litros de Combustível consumidos/ano pelos Autocarros

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	Lt / 2004	Lt / 2005	Lt / 2006	Lt / 2007	Lt / 2008	Lt / 2009	Lt / 2010	Lt / 2011	Lt / 2012	Lt / 2013	Lt / 2014
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	30 265	28 354	27 130	25 866	26 482	23 381	20 354	20 645	24 894	24 636	26 834
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	30 617	26 475	26 734	24 157	23 112	21 716	24 043	24 306	24 103	21 747	21 358
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	27 991	27 678	25 507	23 012	26 794	21 098	22 898	24 664	23 236	22 775	9 047
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	36 268	31 942	30 108	31 058	34 924	31 652	30 889	35 851	37 245	31 147	34 142
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	30 680	34 037	32 399	30 309	32 340	29 308	28 963	30 261	33 709	25 040	22 580
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	25 674	25 921	26 031	30 515	32 283	33 171	29 525	32 271	29 954	24 658	3 424
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	26 143	26 093	27 978	30 001	31 286	32 287	29 209	31 261	25 879	26 581	993
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	23 865	27 542	29 358	30 383	31 133	32 516	31 603	29 521	29 857	26 569	30 305
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	27 942	36 189	34 507	26 821	25 207	23 788	23 263	23 247	21 032	24 247	25 128
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	26 272	35 546	34 637	25 667	24 857	23 642	23 002	23 781	22 873	26 173	22 791

Tabela A.4 – Tabela de Custos de Operação

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	2004 [€]	2005 [€]	2006 [€]	2007 [€]	2008 [€]	2009 [€]	2010 [€]	2011 [€]	2012 [€]	2013 [€]	2014 [€]
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	18 465	20 747	22 011	21 733	26 302	17 919	17 987	21 460	27 518	25 959	26 826
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	18 680	19 372	21 689	20 297	22 954	16 643	21 247	25 266	26 643	22 915	21 352
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	17 077	20 252	20 694	19 335	26 611	16 169	20 235	25 639	25 685	23 998	9 044
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	22 127	23 372	25 296	26 095	34 687	24 258	27 297	37 267	41 171	32 820	34 132
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	18 718	24 905	26 285	25 466	32 120	22 461	25 594	31 456	37 262	26 385	22 573
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	15 664	18 967	21 119	25 638	32 063	25 422	26 091	33 546	33 111	25 982	3 423
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	15 950	19 092	22 698	25 207	31 073	24 745	25 812	32 496	28 607	28 008	992
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	14 560	20 152	23 818	25 528	30 922	24 921	27 928	30 687	33 004	27 995	30 296
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	17 047	26 479	27 995	22 535	25 036	18 231	20 557	24 165	23 248	25 549	25 120
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	16 028	26 009	28 101	21 565	24 688	18 119	20 327	24 720	25 283	27 579	22 784

Os dados de manutenção também foram levantados, destacando-se os custos de materiais e horas de mão-de-obra e de serviços. Estes dados serão utilizados para construir os fluxos de caixa para análise económica.

Tabela A.5 – Tabela de Custos de Manutenção

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	2004 [€]	2005 [€]	2006 [€]	2007 [€]	2008 [€]	2009 [€]	2010 [€]	2011 [€]	2012 [€]	2013 [€]	2014 [€]
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	3 909	5 971	5 135	5 397	6 064	7 050	10 061	8 610	6 378	8 717	9 360
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	5 517	5 318	5 067	5 709	14 500	7 273	6 116	5 342	4 127	13 217	11 557
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	4 997	3 770	7 375	5 380	6 815	10 834	3 978	3 265	4 876	10 624	4 732
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	7 115	5 316	4 833	7 096	6 802	7 106	12 329	8 211	7 300	8 142	16 838
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	10 501	9 115	9 223	4 097	11 546	7 894	7 688	10 847	5 617	17 882	8 270
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	5 446	6 426	3 865	10 921	13 182	8 095	10 019	6 841	8 514	14 833	3 928
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	3 336	2 125	6 297	12 937	16 911	5 472	7 819	8 973	12 976	10 702	2 745
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	3 687	5 074	4 285	10 163	10 810	10 152	7 435	11 036	3 442	14 438	7 868
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	1 252	1 342	2 728	4 739	4 789	3 223	3 458	7 153	10 595	6 805	6 584
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	358	1 707	2 332	4 950	8 310	8 078	8 422	5 909	8 360	6 091	11 485

Tabela A.6 – Intervalos e programação da manutenção preventiva sistemática

Nº Frota	Marca	Modelo	Tipo	Intervalos periódicos de Revisão [Kms]	Programação de Revisões	Intervalos periódicos de Lubrificação [Kms]	Programação de Lubrificações
X1	Marca A	Mod A	STANDARD	30 000	A1,A2,A1,A3,A1,A2...	25 000	L2,L4,L2,L4...
X2	Marca A	Mod A	STANDARD	30 000	A1,A2,A1,A3,A1,A2...	25 000	L2,L4,L2,L4...
X3	Marca A	Mod A	STANDARD	30 000	A1,A2,A1,A3,A1,A2...	25 000	L2,L4,L2,L4...
Y1	Marca B	Mod B	STANDARD	20 000	A1,A2,A1,A3,A1,A2...	15 000	L2,L3,L2,L4...
Y2	Marca B	Mod C	STANDARD	20 000	A1,A2,A1,A3,A1,A2...	15 000	L2,L3,L2,L4...
XX1	Marca A	Mod D	STANDARD	50 000	A1,A2,A3,A1,A2,A3...	50 000	L2,L3,L2,L4...
XX2	Marca A	Mod D	STANDARD	50 000	A1,A2,A3,A1,A2,A3...	50 000	L2,L3,L2,L4...
XX3	Marca A	Mod D	STANDARD	50 000	A1,A2,A3,A1,A2,A3...	50 000	L2,L3,L2,L4...
YY1	Marca B	Mod E	STANDARD	25 000	A1,A2,A3,A1,A2,A3...	15 000	L2,L3,L2,L3,L2,L4...
YY2	Marca B	Mod E	STANDARD	25 000	A1,A2,A3,A1,A2,A3...	15 000	L2,L3,L2,L3,L2,L4...

Intervalos Periódicos de Revisão por Viatura

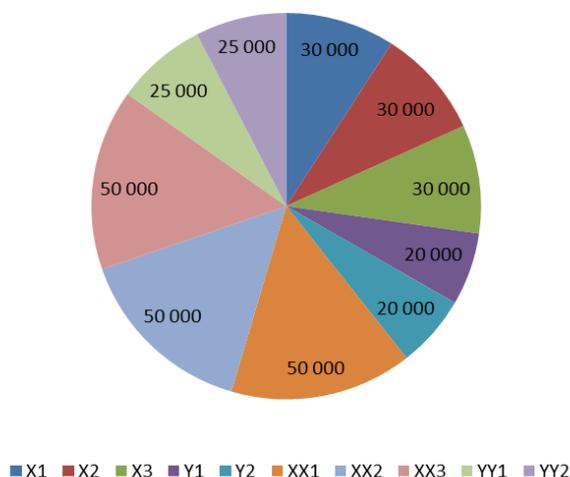


Figura A.1 – Intervalos periodicos de Revisão das Viaturas

Os valores da maioria das variáveis precedentes foram obtidos através do histórico, com excepção do valor de cessão. Neste caso, terá que se obter o valor de mercado para cada equipamento concreto, o que se poderá revelar difícil para muitos equipamentos. Como alternativa, simularam-se vários tipos de desvalorização, tal como atrás referido.

A tabela A.7 e a figura A.2 apresentam os valores referentes ao Método Linear de Depreciação, a tabela A.8 e a figura A.3 ao Método da Soma dos Dígitos e a tabela A.9 e a figura A.4 ao Método Exponencial. As tabelas e as figuras ilustram vários exemplos de cálculos, para os três métodos precedentes, para o caso da depreciação de vários autocarros, com custos iniciais diferentes, mas com o mesmo valor residual de 1.500,00 €.

Tabela A.7 – Método linear de depreciação

Nº Frota	Custo de Aquisição	Custo Abate	Quota anual depreciação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	110 658,31 €	1 500,00 €	2 728,96 €	107 929,35 €	105 200,39 €	102 471,44 €	99 742,48 €	97 013,52 €	94 284,56 €	91 555,61 €	88 826,65 €	86 097,69 €	83 368,73 €
X2	110 658,31 €	1 500,00 €	2 728,96 €	107 929,35 €	105 200,39 €	102 471,44 €	99 742,48 €	97 013,52 €	94 284,56 €	91 555,61 €	88 826,65 €	86 097,69 €	83 368,73 €
X3	110 658,31 €	1 500,00 €	3 638,61 €	107 019,70 €	103 381,09 €	99 742,48 €	96 103,87 €	92 465,26 €	88 826,65 €	85 188,04 €	81 549,43 €	77 910,82 €	74 272,21 €
Y1	120 459,69 €	1 500,00 €	3 965,32 €	116 494,37 €	112 529,04 €	108 563,72 €	104 598,40 €	100 633,08 €	96 667,75 €	92 702,43 €	88 737,11 €	84 771,78 €	80 806,46 €
Y2	130 005,68 €	1 500,00 €	4 283,52 €	125 722,16 €	121 438,63 €	117 155,11 €	112 871,59 €	108 588,07 €	104 304,54 €	100 021,02 €	95 737,50 €	91 453,98 €	87 170,45 €
XX1	164 453,66 €	1 500,00 €	5 431,79 €	159 021,87 €	153 590,08 €	148 158,29 €	142 726,51 €	137 294,72 €	131 862,93 €	126 431,14 €	120 999,35 €	115 567,56 €	110 135,77 €
XX2	164 453,66 €	1 500,00 €	5 431,79 €	159 021,87 €	153 590,08 €	148 158,29 €	142 726,51 €	137 294,72 €	131 862,93 €	126 431,14 €	120 999,35 €	115 567,56 €	110 135,77 €
XX3	164 453,66 €	1 500,00 €	5 431,79 €	159 021,87 €	153 590,08 €	148 158,29 €	142 726,51 €	137 294,72 €	131 862,93 €	126 431,14 €	120 999,35 €	115 567,56 €	110 135,77 €
YY1	159 515,57 €	1 500,00 €	5 267,19 €	154 248,38 €	148 981,20 €	143 714,01 €	138 446,83 €	133 179,64 €	127 912,46 €	122 645,27 €	117 378,08 €	112 110,90 €	106 843,71 €
YY2	159 515,57 €	1 500,00 €	5 267,19 €	154 248,38 €	148 981,20 €	143 714,01 €	138 446,83 €	133 179,64 €	127 912,46 €	122 645,27 €	117 378,08 €	112 110,90 €	106 843,71 €

Método Linear de Depreciação

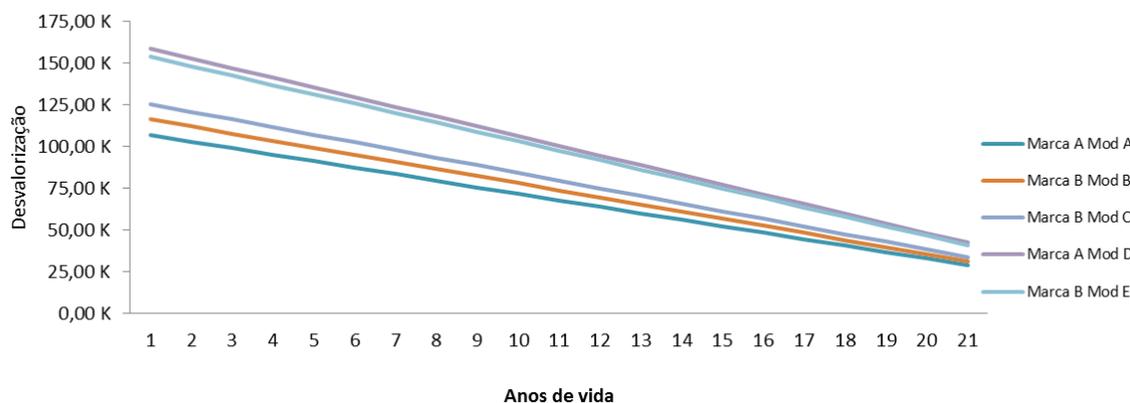


Figura A.2 – Método linear de depreciação

Tabela A.8 – Método da soma dos dígitos

Nº Frota	Custo de Aquisição	Custo Abate	Quota anual depreciação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	110 658,31 €	1 500,00 €	406	103 130,15 €	95 870,85 €	88 880,42 €	82 158,85 €	75 706,14 €	69 522,30 €	63 607,31 €	57 961,19 €	52 583,94 €	47 475,54 €
X1			Quota anual depreciação	7 528,16 €	7 259,30 €	6 990,43 €	6 721,57 €	6 452,71 €	6 183,85 €	5 914,98 €	5 646,12 €	5 377,26 €	5 108,39 €
X2	110 658,31 €	1 500,00 €	406	103 130,15 €	95 870,85 €	88 880,42 €	82 158,85 €	75 706,14 €	69 522,30 €	63 607,31 €	57 961,19 €	52 583,94 €	47 475,54 €
X2			Quota anual depreciação	7 528,16 €	7 259,30 €	6 990,43 €	6 721,57 €	6 452,71 €	6 183,85 €	5 914,98 €	5 646,12 €	5 377,26 €	5 108,39 €
X3	110 658,31 €	1 500,00 €	406	103 130,15 €	95 870,85 €	88 880,42 €	82 158,85 €	75 706,14 €	69 522,30 €	63 607,31 €	57 961,19 €	52 583,94 €	47 475,54 €
X3			Quota anual depreciação	7 528,16 €	7 259,30 €	6 990,43 €	6 721,57 €	6 452,71 €	6 183,85 €	5 914,98 €	5 646,12 €	5 377,26 €	5 108,39 €
Y1	120 459,69 €	1 500,00 €	406	112 255,57 €	104 344,46 €	96 726,35 €	89 401,25 €	82 369,15 €	75 630,05 €	69 183,96 €	63 030,87 €	57 170,79 €	51 603,71 €
Y1			Quota anual depreciação	8 204,12 €	7 911,11 €	7 618,11 €	7 325,10 €	7 032,10 €	6 739,10 €	6 446,09 €	6 153,09 €	5 860,08 €	5 567,08 €
Y2	130 005,68 €	1 500,00 €	406	121 143,22 €	112 597,28 €	104 367,85 €	96 454,94 €	88 858,54 €	81 578,66 €	74 615,30 €	67 968,46 €	61 638,13 €	55 624,31 €
Y2			Quota anual depreciação	8 862,46 €	8 545,94 €	8 229,43 €	7 912,91 €	7 596,39 €	7 279,88 €	6 963,36 €	6 646,85 €	6 330,33 €	6 013,81 €
XX1	164 453,66 €	1 500,00 €	406	153 215,48 €	142 378,66 €	131 943,20 €	121 909,11 €	112 276,38 €	103 045,01 €	94 215,01 €	85 786,38 €	77 759,10 €	70 133,19 €
XX1			Quota anual depreciação	11 238,18 €	10 836,82 €	10 435,46 €	10 034,09 €	9 632,73 €	9 231,36 €	8 830,00 €	8 428,64 €	8 027,27 €	7 625,91 €
XX2	164 453,66 €	1 500,00 €	406	153 215,48 €	142 378,66 €	131 943,20 €	121 909,11 €	112 276,38 €	103 045,01 €	94 215,01 €	85 786,38 €	77 759,10 €	70 133,19 €
XX2			Quota anual depreciação	11 238,18 €	10 836,82 €	10 435,46 €	10 034,09 €	9 632,73 €	9 231,36 €	8 830,00 €	8 428,64 €	8 027,27 €	7 625,91 €
XX3	164 453,66 €	1 500,00 €	406	153 215,48 €	142 378,66 €	131 943,20 €	121 909,11 €	112 276,38 €	103 045,01 €	94 215,01 €	85 786,38 €	77 759,10 €	70 133,19 €
XX3			Quota anual depreciação	11 238,18 €	10 836,82 €	10 435,46 €	10 034,09 €	9 632,73 €	9 231,36 €	8 830,00 €	8 428,64 €	8 027,27 €	7 625,91 €
YY1	159 515,57 €	1 500,00 €	406	148 617,94 €	138 109,52 €	127 990,30 €	118 260,27 €	108 919,45 €	99 967,83 €	91 405,41 €	83 232,19 €	75 448,17 €	68 053,36 €
YY1			Quota anual depreciação	10 897,63 €	10 508,42 €	10 119,22 €	9 730,02 €	9 340,82 €	8 951,62 €	8 562,42 €	8 173,22 €	7 784,02 €	7 394,82 €
YY2	159 515,57 €	1 500,00 €	406	148 617,94 €	138 109,52 €	127 990,30 €	118 260,27 €	108 919,45 €	99 967,83 €	91 405,41 €	83 232,19 €	75 448,17 €	68 053,36 €
YY2			Quota anual depreciação	10 897,63 €	10 508,42 €	10 119,22 €	9 730,02 €	9 340,82 €	8 951,62 €	8 562,42 €	8 173,22 €	7 784,02 €	7 394,82 €

Método da Soma dos Dígitos

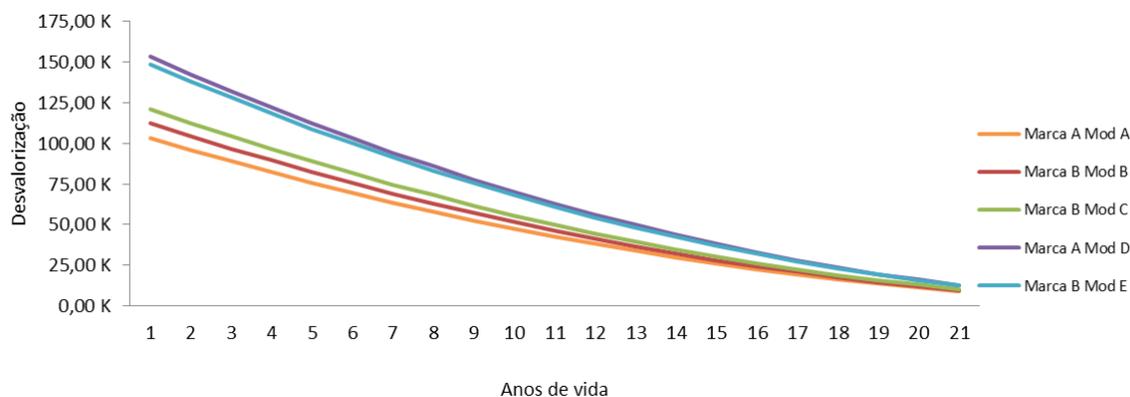


Figura A.3 – Método da soma dos dígitos

Tabela A.9 – Método exponencial

Nº Frota	Custo de Aquisição	Custo Abate	Quota anual depreciação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	110 658,31 €	1 500,00 €	0,14	94 901,61 €	81 388,51 €	69 799,56 €	59 860,76 €	51 337,15 €	44 027,22 €	37 758,16 €	32 381,76 €	27 770,90 €	23 816,58 €
X1			Quota anual depreciação	15 756,70 €	13 513,09 €	11 588,96 €	9 938,80 €	8 523,61 €	7 309,93 €	6 269,06 €	5 376,41 €	4 610,86 €	3 954,31 €
X2	110 658,31 €	1 500,00 €	0,14	94 901,61 €	81 388,51 €	69 799,56 €	59 860,76 €	51 337,15 €	44 027,22 €	37 758,16 €	32 381,76 €	27 770,90 €	23 816,58 €
X2			Quota anual depreciação	15 756,70 €	13 513,09 €	11 588,96 €	9 938,80 €	8 523,61 €	7 309,93 €	6 269,06 €	5 376,41 €	4 610,86 €	3 954,31 €
X3	110 658,31 €	1 500,00 €	0,14	94 901,61 €	81 388,51 €	69 799,56 €	59 860,76 €	51 337,15 €	44 027,22 €	37 758,16 €	32 381,76 €	27 770,90 €	23 816,58 €
X3			Quota anual depreciação	15 756,70 €	13 513,09 €	11 588,96 €	9 938,80 €	8 523,61 €	7 309,93 €	6 269,06 €	5 376,41 €	4 610,86 €	3 954,31 €
Y1	120 459,69 €	1 500,00 €	0,14	102 994,71 €	88 061,92 €	75 294,17 €	64 377,56 €	55 043,71 €	47 063,14 €	40 239,64 €	34 405,46 €	29 417,14 €	25 152,07 €
Y1			Quota anual depreciação	17 464,98 €	14 932,80 €	12 767,75 €	10 916,60 €	9 333,85 €	7 980,57 €	6 823,50 €	5 834,19 €	4 988,31 €	4 265,08 €
Y2	130 005,68 €	1 500,00 €	0,15	110 854,33 €	94 524,19 €	80 599,67 €	68 726,40 €	58 602,20 €	49 969,41 €	42 608,33 €	36 331,63 €	30 979,56 €	26 415,91 €
Y2			Quota anual depreciação	19 151,35 €	16 330,14 €	13 924,52 €	11 873,27 €	10 124,20 €	8 632,79 €	7 361,08 €	6 276,70 €	5 352,07 €	4 563,65 €
XX1	164 453,66 €	1 500,00 €	0,15	139 055,48 €	117 579,79 €	99 420,79 €	84 066,27 €	71 083,10 €	60 105,04 €	50 822,44 €	42 973,43 €	36 336,63 €	30 724,81 €
XX1			Quota anual depreciação	25 398,18 €	21 475,69 €	18 158,99 €	15 354,52 €	12 983,17 €	10 978,06 €	9 282,61 €	7 849,00 €	6 636,81 €	5 611,82 €
XX2	164 453,66 €	1 500,00 €	0,15	139 055,48 €	117 579,79 €	99 420,79 €	84 066,27 €	71 083,10 €	60 105,04 €	50 822,44 €	42 973,43 €	36 336,63 €	30 724,81 €
XX2			Quota anual depreciação	25 398,18 €	21 475,69 €	18 158,99 €	15 354,52 €	12 983,17 €	10 978,06 €	9 282,61 €	7 849,00 €	6 636,81 €	5 611,82 €
XX3	164 453,66 €	1 500,00 €	0,15	139 055,48 €	117 579,79 €	99 420,79 €	84 066,27 €	71 083,10 €	60 105,04 €	50 822,44 €	42 973,43 €	36 336,63 €	30 724,81 €
XX3			Quota anual depreciação	25 398,18 €	21 475,69 €	18 158,99 €	15 354,52 €	12 983,17 €	10 978,06 €	9 282,61 €	7 849,00 €	6 636,81 €	5 611,82 €
YY1	159 515,57 €	1 500,00 €	0,15	135 026,97 €	114 297,82 €	96 750,98 €	81 897,91 €	69 325,06 €	58 682,38 €	49 673,54 €	42 047,73 €	35 592,62 €	30 128,49 €
YY1			Quota anual depreciação	24 488,60 €	20 729,15 €	17 546,84 €	14 853,07 €	12 572,85 €	10 642,68 €	9 008,83 €	7 625,81 €	6 455,11 €	5 464,13 €
YY2	159 515,57 €	1 500,00 €	0,15	135 026,97 €	114 297,82 €	96 750,98 €	81 897,91 €	69 325,06 €	58 682,38 €	49 673,54 €	42 047,73 €	35 592,62 €	30 128,49 €
YY2			Quota anual depreciação	24 488,60 €	20 729,15 €	17 546,84 €	14 853,07 €	12 572,85 €	10 642,68 €	9 008,83 €	7 625,81 €	6 455,11 €	5 464,13 €

Método Exponencial

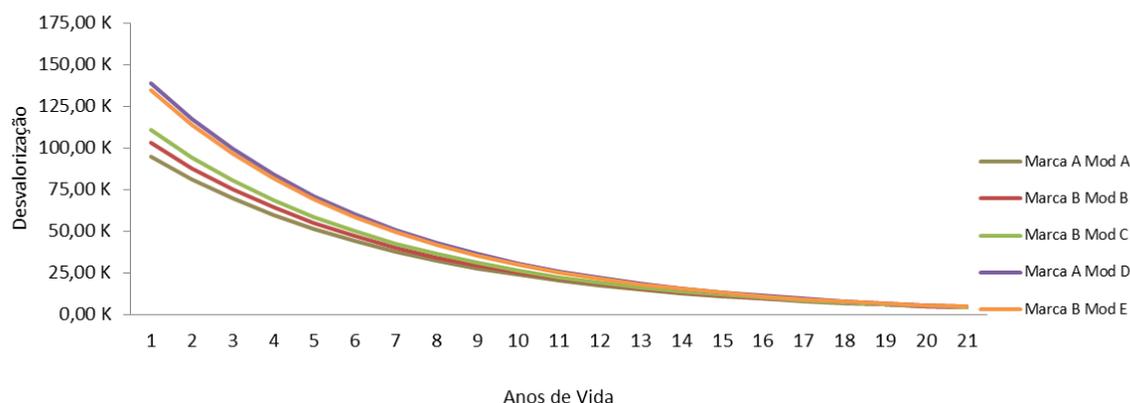


Figura A.4 – Método exponencial

Nas secções seguintes serão analisados os métodos de determinação do ciclo económico de substituição de autocarros referentes a uma empresa do sector dos transportes urbanos.

A.3. Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (MRAU)

Para a aplicação do MRAU utilizaram-se dados históricos de um grupo de viaturas. Estes foram agrupados por grupos homogéneos, num período compreendido ente 1993 a 2014. Foram estudadas viaturas com 21, 18, 16, 12 e 11 anos.

As tabelas seguintes mostram os resultados obtidos quando se aplica o Método da Renda Anual Uniforme (MRAU), segundo os três métodos de depreciação, para os Autocarros X1, X2, X3, Y1, Y2, XX1, XX2, XX3, YY1 e YY2.

Tabela A.10 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Linear)

MRAU [€ Ano n]															
Veiculos						X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)$	Mét. Linear									
0	7%	9%	0,16	16%											
1	5%	8%	0,14	14%	1,14	31,43K	31,88K	32,68K	30,19K	23,83K	31,32K	34,09K	34,34K	31,32K	29,40K
2	4%	8%	0,13	13%	1,13	29,54K	30,17K	30,88K	29,09K	26,40K	33,11K	33,64K	33,26K	36,02K	34,99K
3	3%	6%	0,09	9%	1,09	25,10K	25,87K	26,51K	28,88K	26,93K	35,60K	34,63K	35,65K	41,81K	41,00K
4	2%	4%	0,06	6%	1,06	22,49K	23,38K	23,95K	31,37K	26,43K	39,99K	40,18K	40,74K	42,57K	41,77K
5	3%	3%	0,05	5%	1,05	21,34K	22,31K	22,82K	31,93K	26,61K	42,90K	43,33K	43,37K	41,66K	41,56K
6	2%	3%	0,05	5%	1,05	21,15K	22,19K	22,65K	31,37K	27,55K	44,32K	45,08K	44,23K	32,20K	33,00K
7	3%	4%	0,07	7%	1,07	23,28K	24,35K	24,77K	30,61K	29,63K	37,42K	37,68K	37,47K	35,15K	36,39K
8	4%	3%	0,07	7%	1,07	23,72K	24,79K	25,18K	30,54K	33,48K	41,02K	40,98K	40,99K	41,88K	42,76K
9	4%	3%	0,07	7%	1,07	23,25K	24,31K	24,67K	31,23K	34,41K	47,19K	47,29K	47,32K	40,59K	41,42K
10	3%	2%	0,05	5%	1,05	22,68K	23,61K	23,97K	33,97K	34,99K	46,37K	46,46K	46,09K	37,00K	37,94K
11	2%	2%	0,05	5%	1,05	22,45K	23,44K	23,62K	34,84K	30,44K	43,02K	42,77K	42,67K	35,86K	36,95K
12	2%	2%	0,05	5%	1,05	23,27K	24,06K	24,19K	34,91K	32,82K	38,60K	38,20K	40,78K		
13	3%	4%	0,07	7%	1,07	25,66K	26,42K	26,64K	30,60K	37,18K					
14	2%	5%	0,07	7%	1,07	26,34K	27,02K	27,18K	33,08K	36,92K					
15	3%	4%	0,06	6%	1,06	26,20K	27,05K	27,02K	37,04K	35,80K					
16	-1%	1%	0,00	0%	1,00	22,88K	23,60K	23,59K	36,91K	35,23K					
17	1%	1%	0,03	3%	1,03	24,57K	25,24K	25,12K	35,72K						
18	4%	3%	0,07	7%	1,07	27,49K	28,22K	28,17K	36,18K						
19	3%	3%	0,06	6%	1,06	27,12K	27,71K	27,62K							
20	0%	3%	0,03	3%	1,03	26,19K	26,74K	26,51K							
21	0%	2%	0,02	2%	1,02	26,03K	26,76K	25,73K							

Tabela A.11 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Soma de Dígitos)

MRAU [€ Ano n]															
Veiculos						X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_A	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)$	Mét. S. Dig.									
0	7%	9%	0,16	16%											
1	5%	8%	0,14	14%	1,14	35,06K	35,51K	36,31K	34,14K	28,10K	34,41K	37,18K	37,43K	36,57K	34,66K
2	4%	8%	0,13	13%	1,13	32,83K	33,46K	34,17K	32,80K	30,37K	35,94K	36,46K	36,08K	40,96K	39,93K
3	3%	6%	0,09	9%	1,09	28,19K	28,95K	29,59K	32,36K	30,61K	38,17K	37,20K	38,22K	46,35K	45,54K
4	2%	4%	0,06	6%	1,06	25,42K	26,31K	26,88K	34,53K	29,87K	42,23K	42,42K	42,99K	46,75K	45,95K
5	3%	3%	0,05	5%	1,05	24,11K	25,08K	25,59K	34,84K	29,88K	44,87K	45,30K	45,35K	45,60K	45,50K
6	2%	3%	0,05	5%	1,05	23,75K	24,80K	25,25K	34,11K	30,65K	46,10K	46,86K	46,00K	36,44K	37,23K
7	3%	4%	0,07	7%	1,07	25,56K	26,63K	27,05K	33,21K	32,51K	39,28K	39,54K	39,33K	38,91K	40,16K
8	4%	3%	0,07	7%	1,07	25,79K	26,86K	27,25K	33,02K	35,95K	42,55K	42,51K	42,53K	44,90K	45,78K
9	4%	3%	0,07	7%	1,07	25,21K	26,27K	26,63K	33,53K	36,64K	48,30K	48,40K	48,43K	43,51K	44,33K
10	3%	2%	0,05	5%	1,05	24,56K	25,49K	25,85K	35,87K	37,11K	43,78K	43,87K	43,50K	40,08K	41,01K
11	2%	2%	0,05	5%	1,05	24,25K	25,24K	25,42K	36,55K	33,07K	42,34K	42,09K	41,99K	38,89K	39,98K
12	2%	2%	0,05	5%	1,05	24,91K	25,71K	25,84K	36,54K	34,99K	38,51K	38,11K	40,69K		
13	3%	4%	0,07	7%	1,07	26,96K	27,72K	27,94K	32,74K	38,70K					
14	2%	5%	0,07	7%	1,07	27,48K	28,16K	28,32K	34,79K	38,41K					
15	3%	4%	0,06	6%	1,06	27,29K	28,14K	28,11K	38,17K	37,48K					
16	-1%	1%	0,00	0%	1,00	24,44K	25,16K	25,14K	38,02K	36,89K					
17	1%	1%	0,03	3%	1,03	25,75K	26,42K	26,30K	37,00K						
18	4%	3%	0,07	7%	1,07	28,19K	28,92K	28,87K	37,44K						
19	3%	3%	0,06	6%	1,06	27,81K	28,40K	28,31K							
20	0%	3%	0,03	3%	1,03	27,01K	27,56K	27,32K							
21	0%	2%	0,02	2%	1,02	26,82K	27,55K	26,52K							

Tabela A.12 – Método da Renda Anual Uniforme – Autocarros (Exponencial)

Veiculos						MRAU [€ Ano n]									
Ano j	φ [%]	i [%]	i _A	i _A [%]	π ₁ (1+i _A)	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
						Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.
0	7%	9%	0,16	16%											
1	5%	8%	0,14	14%	1,14	43,29K	43,74K	44,54K	43,41K	38,39K	48,57K	51,34K	51,59K	50,16K	48,25K
2	4%	8%	0,13	13%	1,13	39,65K	40,27K	40,98K	40,73K	39,10K	48,05K	48,58K	48,20K	52,59K	51,56K
3	3%	6%	0,09	9%	1,09	34,02K	34,79K	35,43K	39,15K	37,99K	48,51K	47,54K	48,56K	56,06K	55,25K
4	2%	4%	0,06	6%	1,06	30,49K	31,37K	31,94K	40,16K	36,17K	50,75K	50,94K	51,51K	54,90K	54,10K
5	3%	3%	0,05	5%	1,05	28,49K	29,46K	29,96K	39,57K	35,30K	51,98K	52,41K	52,46K	52,57K	52,47K
6	2%	3%	0,05	5%	1,05	27,49K	28,53K	28,99K	38,15K	35,34K	52,19K	52,96K	52,10K	43,24K	44,03K
7	3%	4%	0,07	7%	1,07	28,54K	29,61K	30,03K	36,71K	36,47K	45,40K	45,66K	45,44K	44,41K	45,65K
8	4%	3%	0,07	7%	1,07	28,26K	29,33K	29,72K	36,06K	39,03K	47,42K	47,37K	47,39K	48,90K	49,78K
9	4%	3%	0,07	7%	1,07	27,33K	28,39K	28,75K	36,08K	39,16K	51,74K	51,84K	51,87K	47,00K	47,83K
10	3%	2%	0,05	5%	1,05	26,40K	27,33K	27,69K	37,79K	39,29K	50,37K	50,45K	50,09K	43,41K	44,34K
11	2%	2%	0,05	5%	1,05	25,85K	26,84K	27,02K	38,09K	35,50K	46,86K	46,61K	46,61K	41,84K	42,94K
12	2%	2%	0,05	5%	1,05	25,48K	26,28K	26,41K	37,87K	36,81K	41,98K	41,58K	44,16K		
13	3%	4%	0,07	7%	1,07	27,89K	28,65K	28,87K	34,31K	39,84K					
14	2%	5%	0,07	7%	1,07	28,21K	28,89K	29,05K	35,91K	39,41K					
15	3%	4%	0,06	6%	1,06	27,92K	28,76K	28,73K	38,82K	38,48K					
16	-1%	1%	0,00	0%	1,00	25,23K	25,94K	25,93K	38,60K	37,77K					
17	1%	1%	0,03	3%	1,03	26,28K	26,95K	26,82K	37,56K						
18	4%	3%	0,07	7%	1,07	28,46K	29,19K	29,14K	37,93K						
19	3%	3%	0,06	6%	1,06	28,04K	28,63K	28,54K							
20	0%	3%	0,03	3%	1,03	27,23K	27,78K	27,55K							
21	0%	2%	0,02	2%	1,02	27,01K	27,73K	26,70K							

As tabelas e os gráficos seguintes apresentam os cálculos da Renda Anual Uniforme para o grupo homogéneo: Marca A, Modelo A, composto por três viaturas de 21 anos, designados por X1, X2 e X3.

Tabela A.13 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro XI

Veiculo: X1						VC [€]				VPL [€ Year 0]				RAU [€ Ano n]			
Ano	Ano j	i _A [%]	π ₁ (1+i _A)	CM [€]	CO [€]	Σ _t [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
1993	0	16%				110,66K											
1994	1	14%	1,14	0,98K	11,22K	12,20K	121,38K	93,77K	90,58K	83,35K	27,61K	30,80K	38,02K	31,43K	35,06K	43,29K	
1995	2	13%	1,13	1,02K	10,71K	11,73K	130,76K	81,19K	75,67K	64,24K	49,57K	55,09K	66,52K	29,54K	32,83K	39,65K	
1996	3	9%	1,09	1,12K	10,46K	11,58K	140,81K	76,97K	69,13K	54,29K	63,84K	71,68K	86,52K	25,10K	28,19K	34,02K	
1997	4	6%	1,06	1,27K	10,48K	11,76K	151,24K	74,08K	64,02K	46,65K	77,16K	87,22K	104,60K	22,49K	25,42K	30,49K	
1998	5	5%	1,05	1,49K	10,76K	12,25K	161,22K	69,95K	58,08K	39,39K	91,28K	103,14K	121,83K	21,34K	24,11K	28,49K	
1999	6	5%	1,05	1,77K	11,31K	13,07K	171,75K	64,74K	51,57K	32,66K	107,01K	120,17K	139,09K	21,15K	23,75K	27,49K	
2000	7	7%	1,07	2,10K	12,12K	14,22K	176,88K	51,69K	39,44K	23,41K	125,18K	137,44K	153,46K	23,28K	25,56K	28,54K	
2001	8	7%	1,07	2,50K	13,19K	15,69K	185,28K	45,25K	33,01K	18,44K	140,03K	152,27K	166,84K	23,72K	25,79K	28,26K	
2002	9	7%	1,07	2,95K	14,53K	17,48K	197,63K	42,87K	29,83K	15,75K	154,76K	167,80K	181,88K	23,25K	25,21K	27,33K	
2003	10	5%	1,05	3,64K	15,54K	19,18K	213,05K	42,00K	27,82K	13,96K	171,05K	185,23K	199,09K	22,68K	24,56K	26,40K	
2004	11	5%	1,05	3,91K	18,46K	22,37K	231,46K	41,23K	25,94K	12,43K	190,23K	205,53K	219,04K	22,45K	24,25K	25,85K	
2005	12	5%	1,05	5,97K	20,75K	26,72K	246,00K	36,66K	21,85K	16,73K	209,33K	224,15K	229,27K	23,27K	24,91K	25,48K	
2006	13	7%	1,07	5,13K	22,01K	27,15K	238,94K	24,80K	13,96K	6,21K	214,14K	224,98K	232,73K	25,66K	26,96K	27,89K	
2007	14	7%	1,07	5,40K	21,73K	27,13K	246,12K	20,73K	10,99K	4,76K	225,39K	235,13K	241,36K	26,34K	27,48K	28,21K	
2008	15	6%	1,06	6,06K	26,30K	32,37K	268,79K	20,62K	10,26K	4,37K	248,17K	258,53K	264,43K	26,20K	27,29K	27,92K	
2009	16	0%	1,00	7,05K	17,92K	24,97K	397,09K	44,87K	20,88K	8,81K	352,22K	376,21K	388,28K	22,88K	24,44K	25,23K	
2010	17	3%	1,03	10,06K	17,99K	28,05K	359,09K	28,13K	12,20K	5,15K	330,96K	346,90K	353,94K	24,57K	25,75K	26,28K	
2011	18	7%	1,07	8,61K	21,46K	30,07K	285,60K	11,71K	4,71K	2,02K	273,88K	280,88K	283,58K	27,49K	28,19K	28,46K	
2012	19	6%	1,06	6,38K	27,52K	33,90K	319,02K	12,46K	4,63K	2,04K	306,56K	314,39K	316,99K	27,12K	27,81K	28,04K	
2013	20	3%	1,03	8,72K	25,96K	34,68K	413,11K	18,57K	6,35K	2,91K	394,53K	406,75K	410,19K	26,19K	27,01K	27,23K	
2014	21	2%	1,02	9,36K	26,83K	36,19K	474,52K	20,02K	6,28K	3,06K	454,49K	468,24K	471,46K	26,03K	26,82K	27,01K	

Pode ver-se na tabela A.13 todos os dados referentes ao cálculo da Renda Anual Uniforme, tais como, ano, taxa aparente, custos de manutenção, custos de operação, valores presentes líquidos dos diversos métodos de desvalorização e, por fim, a renda anual uniforme, tendo em consideração os diversos métodos de desvalorizados referidos. Com estes dados, os gestores poderão acompanhar o ciclo de vida do autocarro e decidir a melhor altura para o substituir.

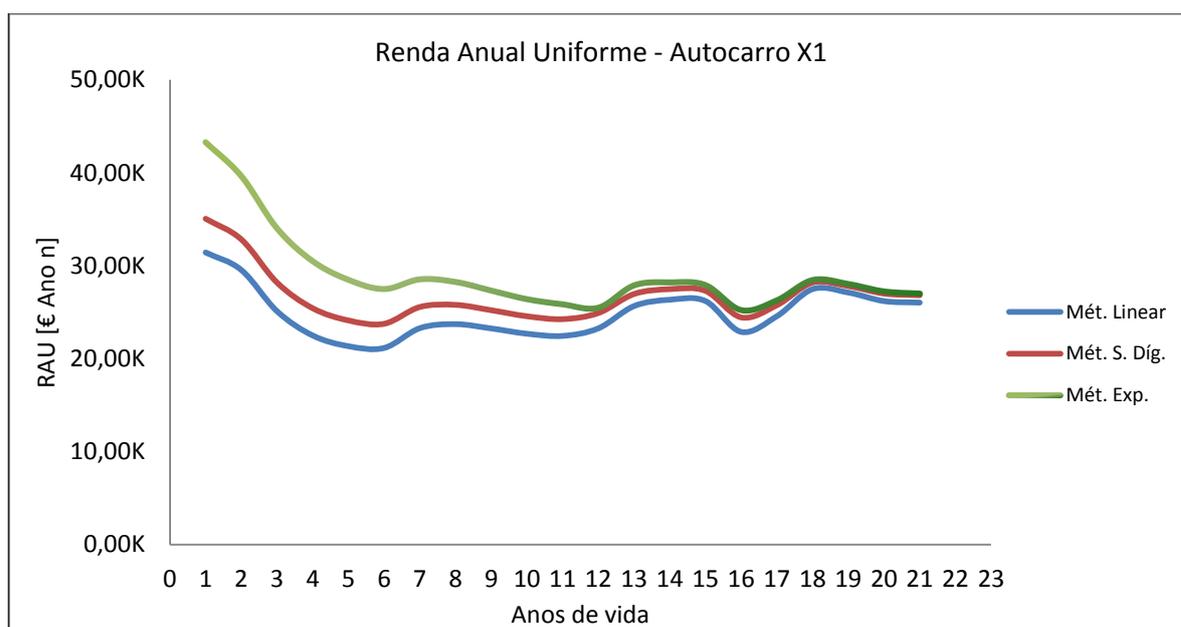


Figura A.5 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X1

Através da tabela A.13 e da figura A.5 pode constatar-se que existe um ponto mínimo no valor da renda anual uniforme. Este ponto é, pois, uma referência para a tomada de decisão por parte do responsável pelo acompanhamento e gestão do equipamento, podendo o gestor tomar a decisão de substituir o autocarro por um novo ou recuperar o presente autocarro, realizando uma intervenção de fundo e fazendo um *upgrade* à viatura.

De seguida, apresenta-se a análise a duas viaturas pertencentes ao mesmo grupo homogéneo do autocarro precedente, com o objectivo de consolidar os resultados obtidos e assim validar os valores obtidos.

Tabela A.14 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro X2

Veículo: X2								VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]		
Ano	Ano j	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
1993	0	16%				110,66K										
1994	1	14%	1,14	0,98K	11,68K	12,65K	121,77K	93,77K	90,58K	83,35K	28,00K	31,19K	38,42K	31,88K	35,51K	43,74K
1995	2	13%	1,13	1,01K	11,53K	12,55K	131,80K	81,19K	75,67K	64,24K	50,61K	56,13K	67,56K	30,17K	33,46K	40,27K
1996	3	9%	1,09	1,11K	11,56K	12,67K	142,76K	76,97K	69,13K	54,29K	65,79K	73,63K	88,47K	25,87K	28,95K	34,79K
1997	4	6%	1,06	1,26K	11,77K	13,04K	154,29K	74,08K	64,02K	46,65K	80,21K	90,27K	107,64K	23,38K	26,31K	31,37K
1998	5	5%	1,05	1,48K	12,15K	13,63K	165,37K	69,95K	58,08K	39,39K	95,43K	107,29K	125,98K	22,31K	25,08K	29,46K
1999	6	5%	1,05	1,75K	12,72K	14,47K	177,02K	64,74K	51,57K	32,66K	112,28K	125,44K	144,36K	22,19K	24,80K	28,53K
2000	7	7%	1,07	2,09K	13,45K	15,54K	182,60K	51,69K	39,44K	23,41K	130,91K	143,16K	159,19K	24,35K	26,63K	29,61K
2001	8	7%	1,07	2,48K	14,37K	16,85K	191,61K	45,25K	33,01K	18,44K	146,36K	158,60K	173,17K	24,79K	26,86K	29,33K
2002	9	7%	1,07	2,94K	15,46K	18,39K	204,70K	42,87K	29,83K	15,75K	161,83K	174,87K	188,95K	24,31K	26,27K	28,39K
2003	10	5%	1,05	1,90K	16,51K	18,41K	220,02K	42,00K	27,82K	13,96K	178,02K	192,20K	206,06K	23,61K	25,49K	27,33K
2004	11	5%	1,05	5,52K	18,68K	24,20K	239,82K	41,23K	25,94K	12,43K	198,59K	213,88K	227,39K	23,44K	25,24K	26,84K
2005	12	5%	1,05	5,32K	19,37K	24,69K	253,14K	36,66K	21,85K	16,73K	216,48K	231,29K	236,42K	24,06K	25,71K	26,28K
2006	13	7%	1,07	5,07K	21,69K	26,76K	245,25K	24,80K	13,96K	6,21K	220,45K	231,29K	239,04K	26,42K	27,72K	28,65K
2007	14	7%	1,07	5,71K	20,30K	26,01K	251,93K	20,73K	10,99K	4,76K	231,20K	240,94K	247,17K	27,02K	28,16K	28,89K
2008	15	6%	1,06	14,50K	22,95K	37,45K	276,81K	20,62K	10,26K	4,37K	256,19K	266,55K	272,44K	27,05K	28,14K	28,76K
2009	16	0%	1,00	7,27K	16,64K	23,92K	408,08K	44,87K	20,88K	8,81K	363,22K	387,20K	399,28K	23,60K	25,16K	25,94K
2010	17	3%	1,03	6,12K	21,25K	27,36K	368,14K	28,13K	12,20K	5,15K	340,01K	355,94K	362,99K	25,24K	26,42K	26,95K
2011	18	7%	1,07	5,34K	25,27K	30,61K	292,86K	11,71K	4,71K	2,02K	281,15K	288,15K	290,84K	28,22K	28,92K	29,19K
2012	19	6%	1,06	4,13K	26,64K	30,77K	325,76K	12,46K	4,63K	2,04K	313,30K	321,13K	323,72K	27,71K	28,40K	28,63K
2013	20	3%	1,03	13,22K	22,91K	36,13K	421,40K	18,57K	6,35K	2,91K	402,82K	415,04K	418,48K	26,74K	27,56K	27,78K
2014	21	2%	1,02	11,56K	21,35K	32,91K	487,15K	20,02K	6,28K	3,06K	467,13K	480,88K	484,10K	26,76K	27,55K	27,73K

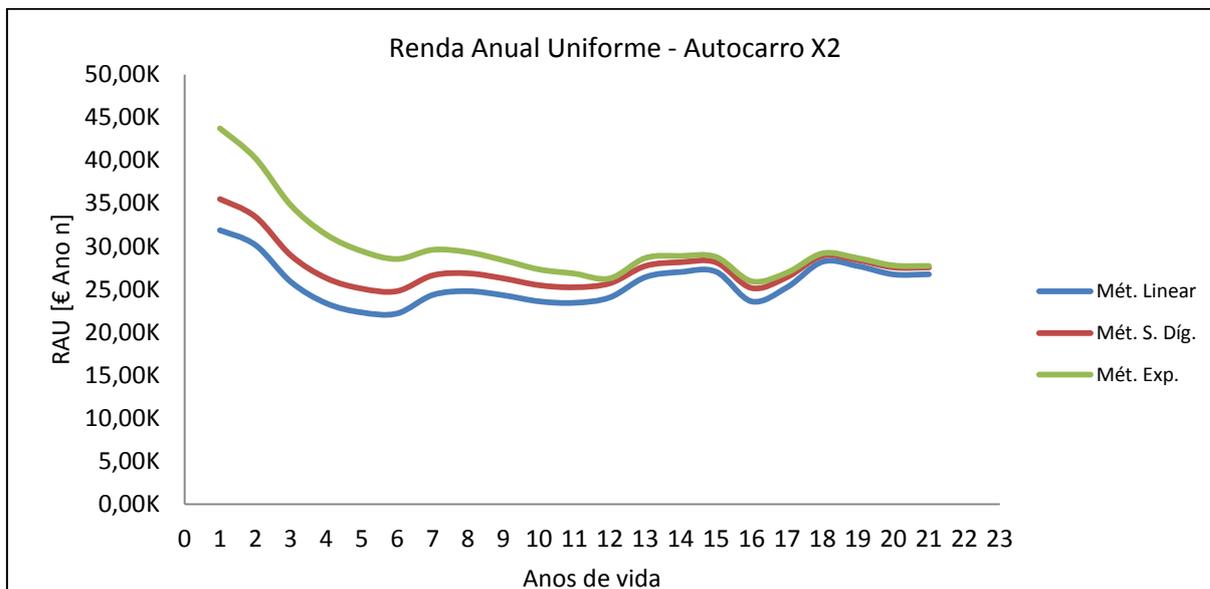


Figura A.6 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X2

Pela análise das tabelas A.14 e A.15 e dos gráficos A.6 e A.7 verifica-se que os resultados obtidos são muito similares aos do autocarro X1. Esta constatação é bastante perceptível nas curvas dos respectivos gráficos, o que leva à conclusão de que os cálculos efectuados da Renda Anual Uniforme para as viaturas pertencentes ao mesmo grupo homogéneo, apresentam a mesma tendência.

Tabela A.15 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro X3

Veículo: X3						VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]						
Ano	Ano j	i [%]	i _A [%]	i _A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
1993	0	0,09	16%	16%				110,66K										
1994	1	0,1	14%	14%	1,14	0,84K	12,61K	13,45K	122,47K	93,77K	90,58K	83,35K	28,70K	31,89K	39,12K	32,68K	36,31K	44,54K
1995	2	0,1	13%	13%	1,13	0,77K	12,40K	13,17K	133,00K	81,19K	75,67K	64,24K	51,81K	57,33K	68,76K	30,88K	34,17K	40,98K
1996	3	0,1	9%	9%	1,09	0,79K	12,35K	13,14K	144,39K	76,97K	69,13K	54,29K	67,42K	75,26K	90,10K	26,51K	29,59K	35,43K
1997	4	0	6%	6%	1,06	0,90K	12,47K	13,38K	156,24K	74,08K	64,02K	46,65K	82,16K	92,22K	109,60K	23,95K	26,88K	31,94K
1998	5	0	5%	5%	1,05	1,10K	12,77K	13,87K	167,54K	69,95K	58,08K	39,39K	97,59K	109,45K	128,15K	22,82K	25,59K	29,96K
1999	6	0	5%	5%	1,05	1,39K	13,24K	14,63K	179,33K	64,74K	51,57K	32,66K	114,59K	127,75K	146,67K	22,65K	25,25K	28,99K
2000	7	0	7%	7%	1,07	1,78K	13,87K	15,65K	184,87K	51,69K	39,44K	23,41K	133,18K	145,43K	161,46K	24,77K	27,05K	30,03K
2001	8	0	7%	7%	1,07	2,25K	14,68K	16,93K	193,92K	45,25K	33,01K	18,44K	148,67K	160,91K	175,48K	25,18K	27,25K	29,72K
2002	9	0	7%	7%	1,07	2,81K	15,66K	18,47K	207,11K	42,87K	29,83K	15,75K	164,23K	177,27K	191,35K	24,67K	26,63K	28,75K
2003	10	0	5%	5%	1,05	3,89K	15,02K	18,91K	222,77K	42,00K	27,82K	13,96K	180,78K	194,96K	208,82K	23,97K	25,85K	27,69K
2004	11	0	5%	5%	1,05	5,00K	17,08K	22,07K	241,37K	41,23K	25,94K	12,43K	200,14K	215,44K	228,95K	23,62K	25,42K	27,02K
2005	12	0	5%	5%	1,05	3,77K	20,25K	24,02K	254,31K	36,66K	21,85K	16,73K	217,65K	232,46K	237,59K	24,19K	25,84K	26,41K
2006	13	0	7%	7%	1,07	7,37K	20,69K	28,07K	247,11K	24,80K	13,96K	6,21K	222,31K	233,15K	240,90K	26,64K	27,94K	28,87K
2007	14	0	7%	7%	1,07	5,38K	19,33K	24,71K	253,31K	20,73K	10,99K	4,76K	232,58K	242,32K	248,55K	27,18K	28,32K	29,05K
2008	15	0	6%	6%	1,06	6,82K	26,61K	33,43K	276,54K	20,62K	10,26K	4,37K	255,93K	266,28K	272,18K	27,02K	28,11K	28,73K
2009	16	0	0%	0%	1,00	10,83K	16,17K	27,00K	407,90K	44,87K	20,88K	8,81K	363,03K	387,02K	399,09K	23,59K	25,14K	25,93K
2010	17	0	3%	3%	1,03	3,98K	20,24K	24,21K	366,48K	28,13K	12,20K	5,15K	338,35K	354,28K	361,33K	25,12K	26,30K	26,82K
2011	18	0	7%	7%	1,07	3,27K	25,64K	28,90K	292,35K	11,71K	4,71K	2,02K	280,63K	287,63K	290,33K	28,17K	28,87K	29,14K
2012	19	0	6%	6%	1,06	4,88K	25,68K	30,56K	324,69K	12,46K	4,63K	2,04K	312,23K	320,06K	322,65K	27,62K	28,31K	28,54K
2013	20	0	3%	3%	1,03	10,62K	24,00K	34,62K	417,81K	18,57K	6,35K	2,91K	399,24K	411,46K	414,90K	26,51K	27,32K	27,55K
2014	21	0	2%	2%	1,02	4,73K	9,04K	13,78K	469,18K	20,02K	6,28K	3,06K	449,16K	462,90K	466,12K	25,73K	26,52K	26,70K

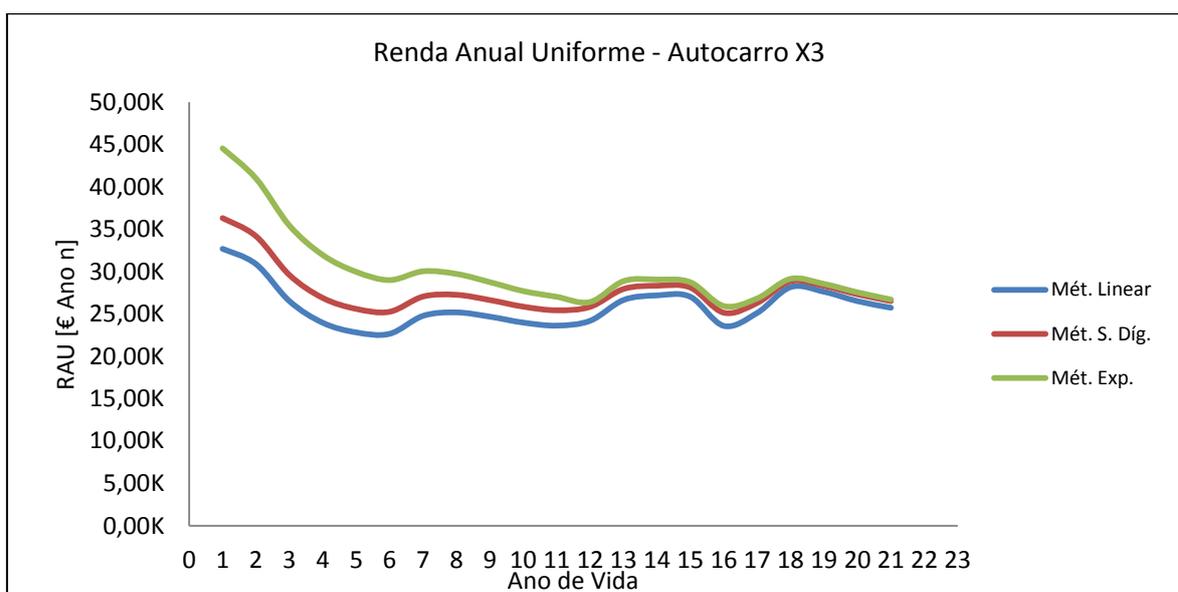


Figura A.7 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro X3

Tendo em consideração a tabela A.13 e, segundo o Método de Depreciação Exponencial, constata-se que o Custo Anual Uniforme é mínimo entre o décimo segundo e o décimo sexto ano (vida económica), com um valor aproximado de 25.00K €/ano.

O menor valor RAU calculado indica qual o período respectivo (múltiplos do ano) em que o equipamento deve ser substituído. Este valor é equivalente a uma renda mínima que o equipamento custaria anualmente. Nos casos anteriores, constata-se que o ano de substituição é de 12 anos.

Pode concluir-se que este período corresponde ao momento ideal para substituir os autocarros, tendo como base o Método Exponencial para a depreciação dos autocarros. Se forem utilizados os métodos de Depreciação Linear e da Soma dos Dígitos, verifica-se que os valores RAU descem. Todavia, há um aumento no período onde o valor RAU é mínimo, que está compreendido entre o sexto ano e o décimo sexto, o que dificulta a decisão de qual é o momento mais racional para substituir o equipamento.

Para garantir uma percepção mais robusta deste método apresentam-se os cálculos efetuados para outro grupo homogéneo de autocarros urbanos. Pode verificar-se, de seguida, o cálculo da Renda Anual Uniforme para o grupo homogéneo: Marca B, Modelo B e C, composto por duas viaturas de 18 e 16 anos (Tabela A.16 e A.17).

Tabela A.16 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y1

Veículo: Y1										VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]		
Ano	Ano j	i [%]	i _a	i _a [%]	π _t (1+i _{a,j})	CM [€]	CO [€]	Σ _t [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
1996	0	0,06	9%	9%	1,09			120,46K										
1997	1	0	6%	6%	1,06	1,23K	16,96K	18,19K	137,55K	109,19K	105,47K	96,77K	28,36K	32,08K	40,78K	30,19K	34,14K	43,41K
1998	2	0	5%	5%	1,05	1,53K	17,10K	18,63K	154,47K	100,70K	93,85K	79,21K	53,76K	60,61K	75,26K	29,09K	32,80K	40,73K
1999	3	0	5%	5%	1,05	1,88K	17,43K	19,31K	171,26K	92,77K	83,31K	64,85K	78,49K	87,95K	106,41K	28,88K	32,36K	39,15K
2000	4	0	7%	7%	1,07	2,30K	17,93K	20,24K	184,83K	78,74K	68,03K	48,99K	106,09K	116,80K	135,84K	31,37K	34,53K	40,16K
2001	5	0	7%	7%	1,07	2,79K	18,62K	21,41K	199,69K	69,78K	57,93K	38,71K	129,90K	141,75K	160,97K	31,93K	34,84K	39,57K
2002	6	0	7%	7%	1,07	3,34K	19,49K	22,83K	216,94K	65,08K	51,83K	32,25K	151,86K	165,12K	184,69K	31,37K	34,11K	38,15K
2003	7	0	5%	5%	1,05	3,62K	19,95K	23,57K	236,39K	62,40K	47,59K	27,68K	173,99K	188,80K	208,71K	30,61K	33,21K	36,71K
2004	8	0	5%	5%	1,05	7,12K	22,13K	29,24K	260,65K	60,24K	43,91K	23,97K	200,41K	216,74K	236,68K	30,54K	33,02K	36,06K
2005	9	0	5%	5%	1,05	5,32K	23,37K	28,69K	278,88K	54,22K	37,70K	19,40K	224,66K	241,18K	259,48K	31,23K	33,53K	36,08K
2006	10	0	7%	7%	1,07	4,83K	25,30K	30,13K	277,79K	39,53K	26,16K	12,75K	238,26K	251,63K	265,04K	33,97K	35,87K	37,79K
2007	11	0	7%	7%	1,07	7,10K	26,09K	33,19K	290,30K	33,73K	21,20K	9,84K	256,57K	269,10K	280,46K	34,84K	36,55K	38,09K
2008	12	0	6%	6%	1,06	6,80K	34,69K	41,49K	319,60K	33,05K	19,67K	8,75K	286,55K	299,93K	310,86K	34,91K	36,54K	37,87K
2009	13	0	0%	0%	1,00	7,11K	24,26K	31,36K	446,77K	61,46K	34,54K	14,81K	385,32K	412,23K	431,96K	30,60K	32,74K	34,31K
2010	14	0	3%	3%	1,03	12,33K	27,30K	39,63K	422,82K	41,89K	22,17K	9,23K	380,93K	400,65K	413,58K	33,08K	34,79K	35,91K
2011	15	0	7%	7%	1,07	8,21K	37,27K	45,48K	354,76K	20,18K	10,02K	4,09K	334,57K	344,74K	350,67K	37,04K	38,17K	38,82K
2012	16	0	6%	6%	1,06	7,30K	41,17K	48,47K	398,55K	21,19K	9,83K	3,97K	377,36K	388,71K	394,58K	36,91K	38,02K	38,60K
2013	17	0	3%	3%	1,03	8,14K	32,82K	40,96K	505,23K	29,83K	12,89K	5,35K	475,40K	492,34K	499,87K	35,72K	37,00K	37,56K
2014	18	0	2%	2%	1,02	16,84K	34,13K	50,97K	587,02K	32,22K	12,90K	5,41K	554,80K	574,12K	581,61K	36,18K	37,44K	37,93K

Tabela A.17 – Tabelas da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y2

Veículo: Y2										VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]			
Ano	Ano j	φ [%]	i [%]	i _a	i _a [%]	π _t (1+i _{a,j})	CM [€]	CO [€]	Σ _t [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
1998	0								130,01K										
1999	1	2%	3%	0,05	5%	1,05	0,84K	11,76K	12,61K	142,00K	119,33K	115,26K	105,47K	22,67K	26,74K	36,53K	23,83K	28,10K	38,39K
2000	2	3%	4%	0,07	7%	1,07	0,83K	12,13K	12,96K	153,09K	105,40K	98,22K	82,46K	47,69K	54,86K	70,63K	26,40K	30,37K	39,10K
2001	3	4%	3%	0,07	7%	1,07	0,97K	13,11K	14,08K	164,41K	94,11K	84,50K	65,26K	70,30K	79,91K	99,16K	26,93K	30,61K	37,99K
2002	4	4%	3%	0,07	7%	1,07	1,25K	14,69K	15,94K	177,32K	86,78K	74,97K	53,42K	90,53K	102,34K	123,90K	26,43K	29,87K	36,17K
2003	5	3%	2%	0,05	5%	1,05	5,61K	16,81K	22,41K	195,63K	81,95K	68,02K	44,86K	113,68K	127,61K	150,77K	26,61K	29,88K	35,30K
2004	6	2%	2%	0,05	5%	1,05	10,50K	18,72K	29,22K	219,66K	78,14K	62,21K	38,10K	141,52K	157,45K	181,55K	27,55K	30,65K	36,47K
2005	7	2%	2%	0,05	5%	1,05	9,12K	24,90K	34,02K	243,89K	70,80K	53,98K	30,82K	173,09K	189,92K	213,07K	29,63K	32,51K	35,34K
2006	8	3%	4%	0,07	7%	1,07	9,22K	26,29K	35,51K	253,90K	54,18K	39,48K	21,10K	199,72K	214,42K	232,80K	33,48K	35,95K	39,03K
2007	9	2%	5%	0,07	7%	1,07	4,10K	25,47K	29,56K	267,52K	46,78K	32,51K	16,34K	220,74K	235,02K	251,19K	34,41K	36,64K	39,16K
2008	10	3%	4%	0,06	6%	1,06	11,55K	32,12K	43,67K	298,19K	45,29K	29,95K	14,22K	252,90K	268,24K	283,97K	34,99K	37,11K	39,29K
2009	11	-1%	1%	0,00	0%	1,00	7,89K	22,46K	30,36K	401,39K	75,61K	47,47K	21,42K	325,77K	353,91K	379,97K	30,44K	33,07K	35,50K
2010	12	1%	1%	0,03	3%	1,03	7,69K	25,59K	33,28K	386,54K	54,31K	32,29K	13,92K	332,23K	354,25K	372,62K	32,82K	34,99K	36,81K
2011	13	4%	3%	0,07	7%	1,07	10,85K	31,46K	42,30K	337,18K	28,72K	16,12K	6,69K	308,45K	321,05K	330,49K	37,18K	38,70K	39,84K
2012	14	3%	3%	0,06	6%	1,06	5,62K	37,26K	42,88K	376,47K	29,73K	15,71K	6,31K	346,74K	360,76K	370,16K	36,92K	38,41K	39,41K
2013	15	0%	3%	0,03	3%	1,03	17,88K	26,83K	44,72K	471,60K	40,03K	19,83K	7,79K	431,57K	451,77K	463,81K	35,80K	37,48K	38,48K
2014	16	0%	2%	0,02	2%	1,02	8,27K	22,57K	30,84K	531,10K	42,90K	19,86K	7,70K	488,20K	511,24K	523,40K	35,23K	36,89K	37,77K

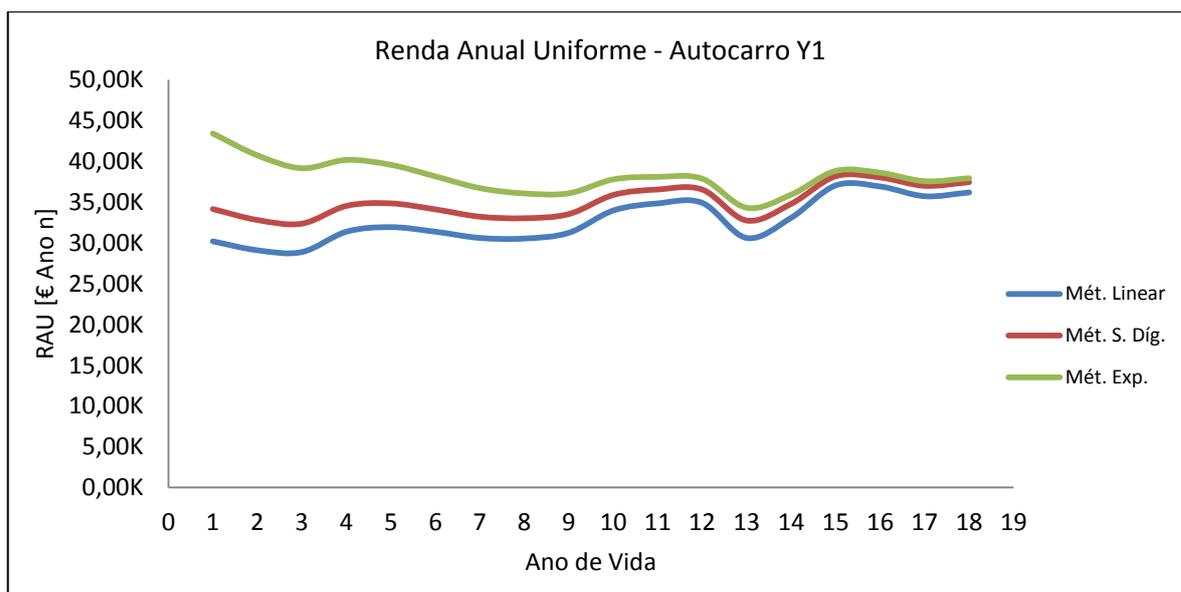


Figura A.8 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y1

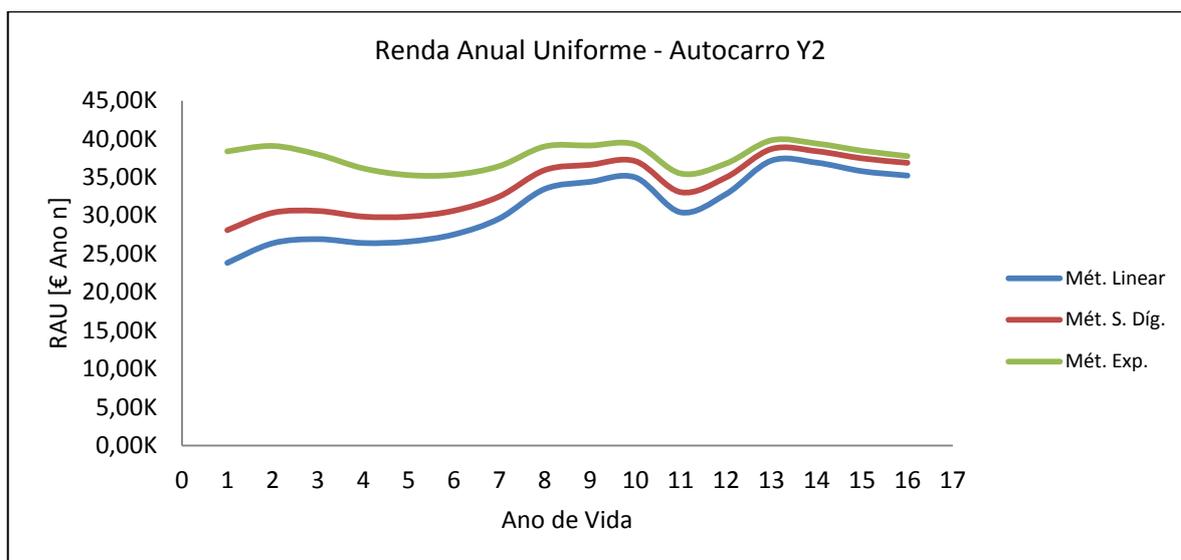


Figura A.9 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro Y2

Através da análise dos gráficos da RAU, dos autocarros Y1 e Y2, constata-se que os valores das rendas dos veículos não são idênticos.

Em relação à viatura Y2, verifica-se que a RAU será mínima entre o quarto e o décimo primeiro ano (vida económica), com um valor aproximado de 35.00K €/ano.

Se forem utilizados os métodos de Depreciação Linear e da Soma dos Dígitos, pode verificar-se que os valores RAU descem, mas há um aumento de um ano no período onde o valor RAU é mínimo.

As tabelas A.18, A.19 e A.20 exemplificam os cálculos da RAU para os autocarros do grupo homogêneo: Marca A, Modelo D, composto por três viaturas de 12 anos.

Tabela A.18 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XXI

Veículo: XXI										VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]				
Ano	Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_a	i_a [%]	π_1 (1+i _a) _j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
2001																				
2002	0								164,45K											
2003	1	3%	2%	0,05	5%	1,05	0,33K	13,81K	14,14K	177,86K	148,17K	145,24K	131,82K	29,69K	32,62K	46,04K	31,32K	34,41K	48,57K	
2004	2	2%	2%	0,05	5%	1,05	5,45K	15,66K	21,11K	197,25K	135,36K	130,08K	107,42K	61,90K	67,18K	89,83K	33,11K	35,94K	48,05K	
2005	3	2%	2%	0,05	5%	1,05	6,43K	18,97K	25,39K	219,30K	121,87K	114,85K	86,54K	97,43K	104,46K	132,76K	35,60K	38,17K	48,51K	
2006	4	3%	4%	0,07	7%	1,07	3,86K	21,12K	24,98K	235,85K	100,49K	92,91K	64,07K	135,35K	142,94K	171,78K	39,99K	42,23K	50,75K	
2007	5	2%	5%	0,07	7%	1,07	10,92K	25,64K	36,56K	260,87K	86,71K	78,69K	49,82K	174,17K	182,18K	211,06K	42,90K	44,87K	51,98K	
2008	6	3%	4%	0,06	6%	1,06	13,18K	32,06K	45,24K	295,03K	79,71K	71,08K	41,46K	215,31K	223,95K	253,57K	44,32K	46,10K	52,19K	
2009	7	-1%	1%	0,00	0%	1,00	8,10K	25,42K	33,52K	361,23K	104,03K	91,24K	49,22K	257,20K	269,99K	312,01K	37,42K	39,28K	45,40K	
2010	8	1%	1%	0,03	3%	1,03	10,02K	26,09K	36,11K	371,51K	80,10K	69,22K	34,68K	291,41K	302,29K	336,83K	41,02K	42,55K	47,42K	
2011	9	4%	3%	0,07	7%	1,07	6,84K	33,55K	40,39K	354,72K	49,02K	41,83K	19,55K	305,70K	312,89K	335,17K	47,19K	48,30K	51,74K	
2012	10	3%	3%	0,06	6%	1,06	8,51K	33,11K	41,63K	391,08K	47,07K	66,27K	17,43K	344,01K	324,81K	373,65K	46,37K	43,78K	50,37K	
2013	11	0%	3%	0,03	3%	1,03	14,83K	25,98K	40,81K	455,84K	54,83K	61,16K	19,04K	401,01K	394,69K	436,81K	43,02K	42,34K	46,86K	
2014	12	0%	2%	0,02	2%	1,02	3,93K	3,42K	7,35K	468,83K	54,19K	55,12K	17,85K	414,64K	413,71K	450,98K	38,60K	38,51K	41,98K	

Tabela A.19 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX2

Veículo: XX2										VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]			
Ano	Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_a	i_a [%]	$\pi_1 (1+i_a)^j$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
2001									164,45K										
2002	0						0,35K	16,56K	16,91K	180,48K	148,17K	145,24K	131,82K	32,31K	35,24K	48,66K	34,09K	37,18K	51,34K
2003	1	3%	2%	0,05	5%	1,05	3,34K	15,95K	19,29K	198,23K	135,36K	130,08K	107,42K	62,88K	68,16K	90,81K	33,64K	36,46K	48,58K
2004	2	2%	2%	0,05	5%	1,05	2,12K	19,09K	21,22K	216,65K	121,87K	114,85K	86,54K	94,78K	101,80K	130,11K	34,63K	37,20K	47,54K
2005	3	2%	2%	0,05	5%	1,05	2,12K	22,70K	29,00K	236,49K	100,49K	92,91K	64,07K	136,00K	143,58K	172,42K	40,18K	42,42K	50,94K
2006	4	3%	4%	0,07	7%	1,07	6,30K	25,21K	38,14K	262,63K	86,71K	78,69K	49,82K	175,92K	183,94K	212,81K	43,33K	45,30K	52,41K
2007	5	2%	5%	0,07	7%	1,07	12,94K	31,07K	47,98K	298,73K	79,71K	71,08K	41,46K	219,02K	227,66K	257,27K	45,08K	46,86K	52,96K
2008	6	3%	4%	0,06	6%	1,06	16,91K	24,74K	30,22K	363,02K	104,03K	91,24K	49,22K	258,99K	271,78K	313,80K	37,68K	39,54K	45,66K
2009	7	-1%	1%	0,00	0%	1,00	5,47K	25,81K	33,63K	371,21K	80,10K	69,22K	34,68K	291,10K	301,99K	336,53K	40,98K	42,51K	47,37K
2010	8	1%	1%	0,03	3%	1,03	7,82K	28,01K	38,71K	453,50K	54,83K	61,16K	19,04K	398,67K	434,46K	42,77K	42,09K	46,61K	
2011	9	4%	3%	0,07	7%	1,07	8,97K	32,50K	41,47K	355,41K	49,02K	41,83K	19,55K	306,40K	313,59K	335,87K	47,29K	48,40K	51,84K
2012	10	3%	3%	0,06	6%	1,06	12,98K	28,61K	41,58K	391,71K	47,07K	66,27K	17,43K	344,64K	325,45K	374,28K	46,46K	43,87K	50,45K
2013	11	0%	3%	0,03	3%	1,03	10,70K	28,01K	38,71K	453,50K	54,83K	61,16K	19,04K	398,67K	434,46K	42,77K	42,09K	46,61K	
2014	12	0%	2%	0,02	2%	1,02	2,75K	0,99K	3,74K	464,59K	54,19K	55,12K	17,85K	410,40K	409,46K	446,74K	38,20K	38,11K	41,58K

Tabela A.20 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX3

Veículo: XX3										VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]				
Ano	Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_a	i_a [%]	$\pi_1 (1+i_a)^j$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
2001									164,45K											
2002	0						0,88K	16,29K	17,17K	180,73K	148,17K	145,24K	131,82K	32,56K	35,49K	48,91K	34,34K	37,43K	51,59K	
2003	1	3%	2%	0,05	5%	1,05	3,69K	14,56K	18,25K	197,53K	135,36K	130,08K	107,42K	62,18K	67,46K	90,11K	33,26K	36,08K	48,20K	
2004	2	2%	2%	0,05	5%	1,05	5,07K	20,15K	25,23K	219,44K	121,87K	114,85K	86,54K	97,57K	104,59K	132,90K	35,65K	38,22K	48,56K	
2005	3	2%	2%	0,05	5%	1,05	4,29K	23,82K	28,10K	238,42K	100,49K	92,91K	64,07K	137,92K	145,51K	174,35K	40,74K	42,99K	51,51K	
2006	4	3%	4%	0,07	7%	1,07	10,16K	25,53K	35,69K	262,82K	86,71K	78,69K	49,82K	176,11K	184,12K	213,00K	43,37K	45,35K	52,46K	
2007	5	2%	5%	0,07	7%	1,07	10,16K	30,92K	41,73K	294,58K	79,71K	71,08K	41,46K	214,86K	223,50K	253,12K	44,23K	46,00K	52,10K	
2008	6	3%	4%	0,06	6%	1,06	10,81K	24,92K	35,07K	361,55K	104,03K	91,24K	49,22K	257,52K	270,30K	312,33K	37,47K	39,33K	45,44K	
2009	7	-1%	1%	0,00	0%	1,00	10,15K	27,93K	35,36K	371,33K	80,10K	69,22K	34,68K	291,22K	302,10K	336,65K	40,99K	42,53K	47,39K	
2010	8	1%	1%	0,03	3%	1,03	7,44K	11,04K	30,69K	41,72K	355,59K	49,02K	41,83K	19,55K	306,58K	313,77K	336,05K	47,32K	48,43K	51,87K
2011	9	4%	3%	0,07	7%	1,07	11,04K	30,69K	41,72K	355,59K	49,02K	41,83K	19,55K	306,58K	313,77K	336,05K	47,32K	48,43K	51,87K	
2012	10	3%	3%	0,06	6%	1,06	3,44K	33,00K	36,45K	389,01K	47,07K	66,27K	17,43K	341,94K	322,74K	371,58K	46,09K	43,50K	50,09K	
2013	11	0%	3%	0,03	3%	1,03	14,44K	28,00K	42,43K	452,54K	54,83K	61,16K	19,04K	397,71K	391,39K	433,51K	42,67K	41,99K	46,51K	
2014	12	0%	2%	0,02	2%	1,02	7,87K	30,30K	38,16K	492,31K	54,19K	55,12K	17,85K	438,12K	437,18K	474,46K	40,78K	40,69K	44,16K	

As figuras A.10, A.11 e A.12 ilustram a evolução de RAU para os autocarros XX1, XX2 e XX3, respectivamente.

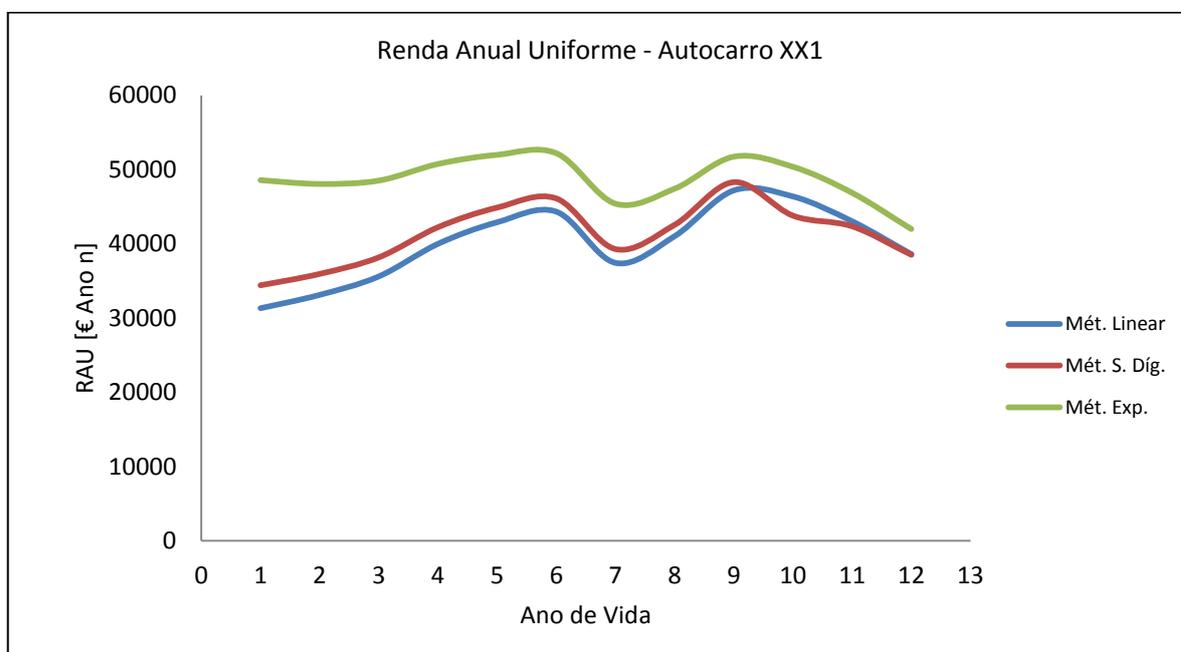


Figura A.10 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX1

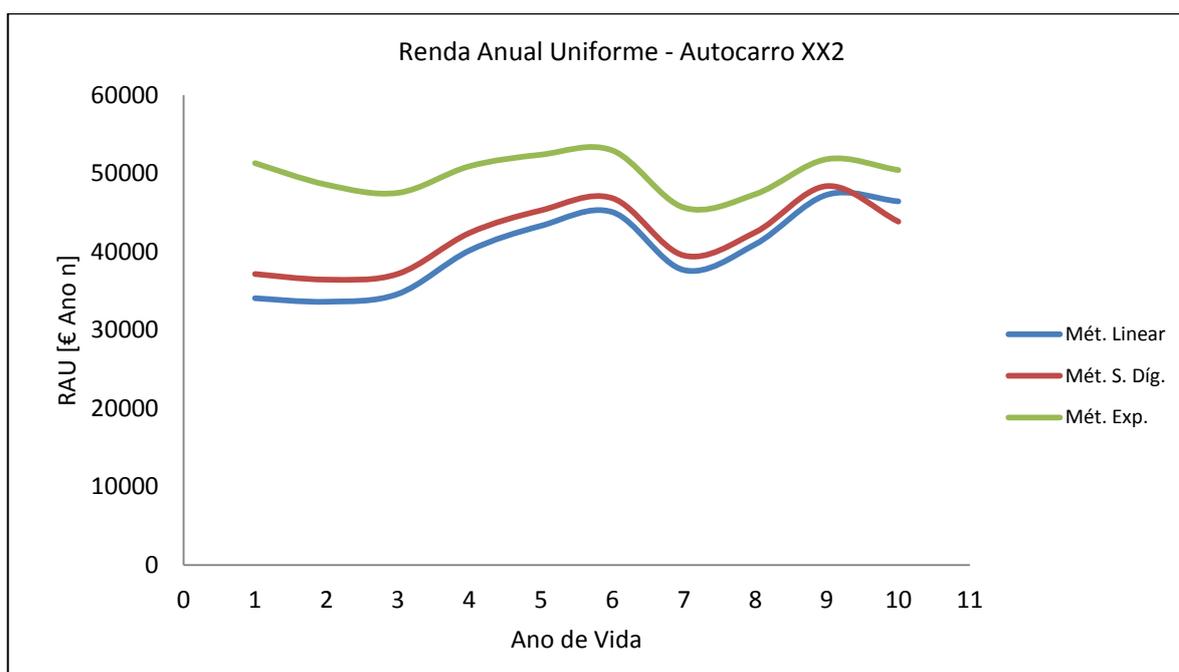


Figura A.11 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX2

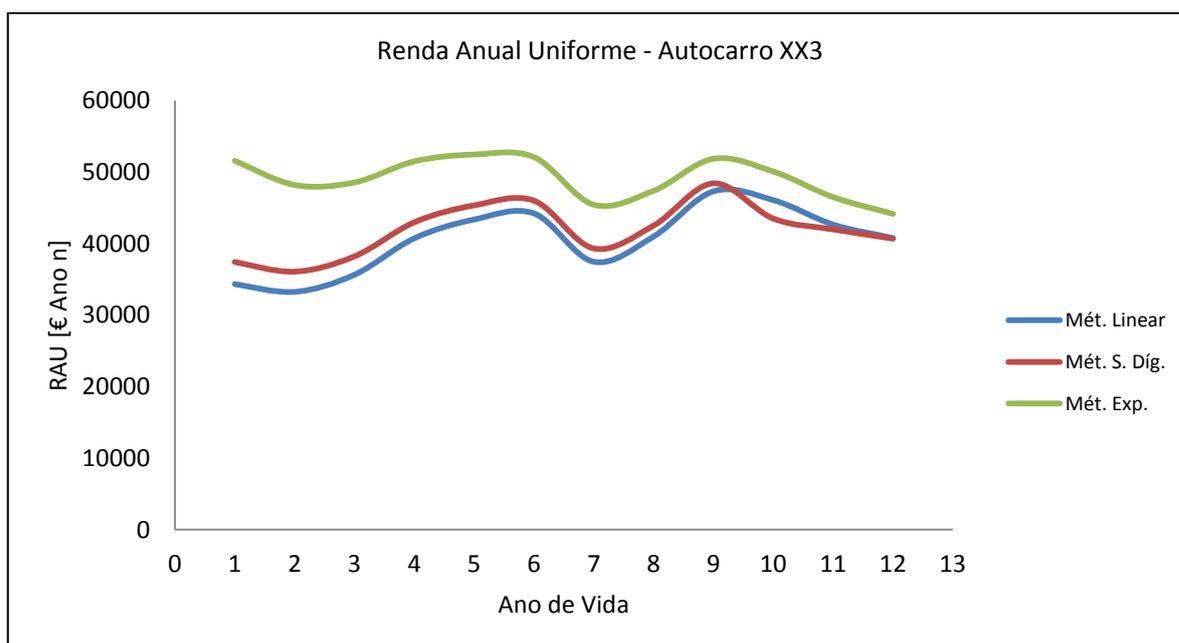


Figura A.12 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro XX3

Embora o período de estudo destas viaturas seja bastante menor do que as outras viaturas estudadas, os gestores podem acompanhar o ciclo de vida dos autocarros, verificando deste modo a evolução dos seus custos ao longo dos anos, podendo intervir antecipadamente de forma a prolongar a vida dos seus activos. Averigua-se, ainda, através das tabelas e dos gráficos, que este tipo de viaturas tem um valor de renda anual uniforme superior aos grupos de viaturas

estudadas anteriormente, e que este aumento de valor pode resultar de vários factores como, por exemplo, os custos de exploração destes autocarros.

As tabelas e os gráficos seguintes apresentam os cálculos da Renda Anual Uniforme para o grupo homogéneo: Marca B, Modelo E, composto por três viaturas de 11 anos, designados por YY1 e YY2.

Tabela A.21 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY1

Veículo: YY1											VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]			
Ano	Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_a	i_a [%]	$\pi_1 (1+i_a)$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
2003	0								159,52K											
2004	1	2%	2%	0,05	5%	1,05	1,25K	17,05K	18,30K	177,01K	147,07K	142,05K	129,06K	29,93K	34,95K	47,94K	31,32K	36,57K	50,16K	
2005	2	2%	2%	0,05	5%	1,05	1,34K	26,48K	27,82K	202,35K	135,13K	125,90K	104,20K	67,22K	76,45K	98,15K	36,02K	40,96K	52,59K	
2006	3	3%	4%	0,07	7%	1,07	2,73K	28,00K	30,72K	225,96K	116,30K	104,40K	78,92K	109,66K	121,56K	147,04K	41,81K	46,35K	56,06K	
2007	4	2%	5%	0,07	7%	1,07	4,74K	22,53K	27,27K	246,04K	103,05K	88,99K	61,63K	142,99K	157,05K	184,41K	42,57K	46,75K	54,90K	
2008	5	3%	4%	0,06	6%	1,06	4,79K	25,04K	29,82K	269,99K	96,35K	79,93K	50,87K	173,64K	190,06K	219,12K	41,66K	45,60K	52,57K	
2009	6	-1%	1%	0,00	0%	1,00	3,22K	18,23K	21,45K	312,40K	122,25K	97,26K	57,09K	190,15K	215,14K	255,31K	32,20K	36,44K	43,24K	
2010	7	1%	1%	0,03	3%	1,03	3,46K	20,56K	24,01K	320,80K	99,47K	75,76K	41,17K	221,33K	245,04K	279,63K	35,15K	38,91K	44,41K	
2011	8	4%	3%	0,07	7%	1,07	7,15K	24,17K	31,32K	314,72K	65,91K	47,96K	24,23K	248,82K	266,76K	290,49K	41,88K	44,90K	48,90K	
2012	9	3%	3%	0,06	6%	1,06	10,60K	23,25K	33,84K	343,40K	65,28K	45,30K	21,37K	278,13K	298,10K	322,03K	40,59K	43,51K	47,00K	
2013	10	0%	3%	0,03	3%	1,03	6,80K	25,55K	32,35K	395,49K	77,70K	51,30K	22,71K	317,79K	344,20K	372,78K	37,00K	40,08K	43,41K	
2014	11	0%	2%	0,02	2%	1,02	6,58K	25,12K	31,70K	436,63K	80,56K	50,47K	21,09K	356,07K	386,16K	415,55K	35,86K	38,89K	41,84K	

Tabela A.22 – Tabela da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY2

Veículo: YY2											VC [€]			VPL [€ Ano 0]			RAU [€ Ano n]			
Ano	Ano j	ϕ [%]	i [%]	i_a	i_a [%]	$\pi_1 (1+i_a)$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	VP [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	
2003	0								159,52K											
2004	1	2%	2%	0,05	5%	1,05	0,36K	16,03K	16,39K	175,18K	147,07K	142,05K	129,06K	28,10K	33,13K	46,12K	29,40K	34,66K	48,25K	
2005	2	2%	2%	0,05	5%	1,05	1,71K	26,01K	27,72K	200,43K	135,13K	125,90K	104,20K	65,30K	74,52K	96,23K	34,99K	39,93K	51,56K	
2006	3	3%	4%	0,07	7%	1,07	2,33K	28,10K	30,43K	223,84K	116,30K	104,40K	78,92K	107,54K	119,45K	144,93K	41,00K	45,54K	55,25K	
2007	4	2%	5%	0,07	7%	1,07	4,95K	21,57K	26,52K	243,36K	103,05K	88,99K	61,63K	140,31K	154,37K	181,73K	41,77K	45,95K	54,10K	
2008	5	3%	4%	0,06	6%	1,06	8,31K	24,69K	33,00K	269,60K	96,35K	79,93K	50,87K	173,25K	189,67K	218,73K	41,56K	45,50K	52,47K	
2009	6	-1%	1%	0,00	0%	1,00	8,08K	18,12K	26,20K	317,08K	122,25K	97,26K	57,09K	194,83K	219,82K	259,99K	33,00K	37,23K	44,03K	
2010	7	1%	1%	0,03	3%	1,03	8,42K	20,33K	28,75K	328,62K	99,47K	75,76K	41,17K	229,15K	252,86K	287,45K	36,39K	40,16K	45,65K	
2011	8	4%	3%	0,07	7%	1,07	5,91K	24,72K	30,63K	319,95K	65,91K	47,96K	24,23K	254,04K	271,98K	295,72K	42,76K	45,78K	49,78K	
2012	9	3%	3%	0,06	6%	1,06	8,36K	25,28K	33,64K	349,04K	65,28K	45,30K	21,37K	283,77K	303,75K	327,67K	41,42K	44,33K	47,83K	
2013	10	0%	3%	0,03	3%	1,03	6,09K	27,58K	33,67K	403,52K	77,70K	51,30K	22,71K	325,82K	352,22K	380,81K	37,94K	41,01K	44,34K	
2014	11	0%	2%	0,02	2%	1,02	11,48K	22,78K	34,27K	447,51K	80,56K	50,47K	21,09K	366,95K	397,03K	426,42K	36,95K	39,98K	42,94K	

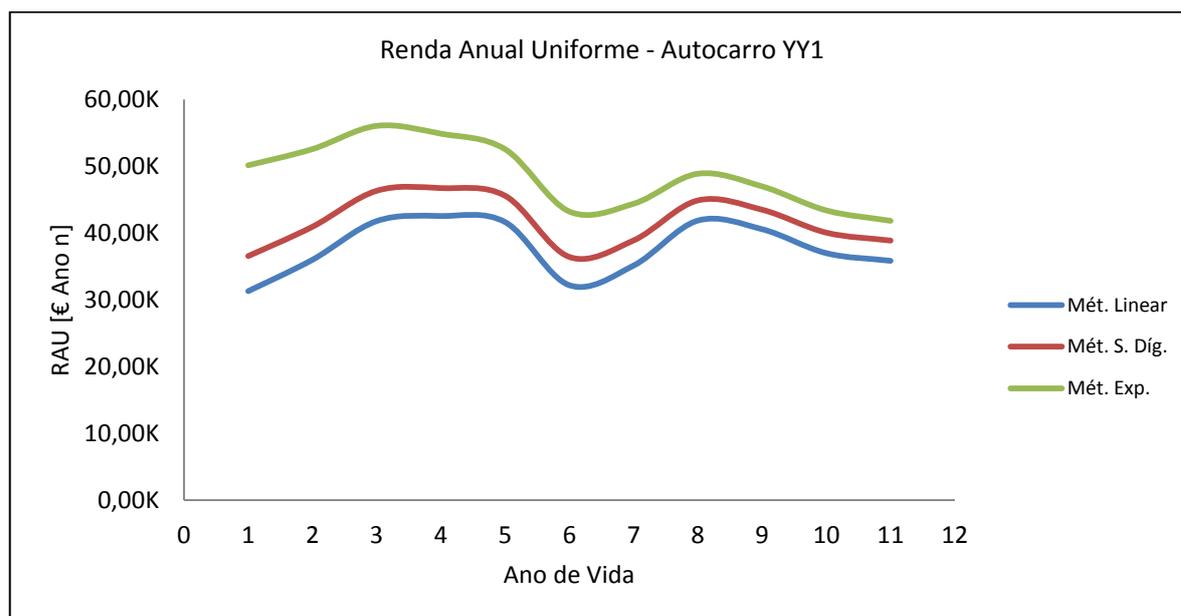


Figura A.13 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY1

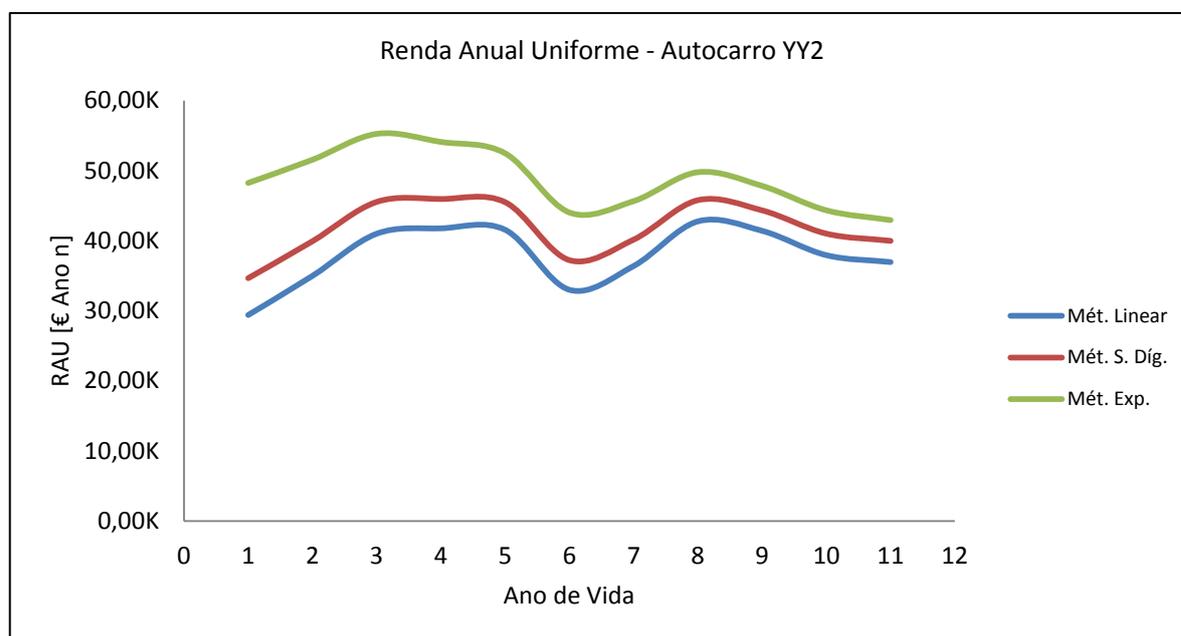


Figura A.14 – Gráfico da Renda Anual Uniforme – Autocarro YY2

Pode constatar-se que o comportamento das curvas dos autocarros YY1 e YY2 são muito idênticas, evidenciando mais uma vez que as viaturas pertencentes ao mesmo grupo homogéneo têm valores muito similares entre elas.

Face ao precedente, verifica-se que o período de substituição varia de grupo homogéneo para grupo homogéneo de viaturas e que existem várias variáveis que podem influenciar o resultado e a decisão final do gestor, tais como, a taxa aparente de cada ano, bem como o modelo de depreciação utilizado. Outra variável muito importante que pode influenciar significativamente os resultados é o custo de manutenção. Este, por sua vez, depende bastante das políticas e da gestão de manutenção que é realizada nas empresas de transporte público.

A.4. Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT)

O Método da Minimização do Custo Médio Total permite determinar o custo médio de posse do autocarro e o respectivo período em que o seu valor mínimo ocorre, que corresponde ao momento óptimo de substituição. Não são considerados os custos de capital e a taxa de inflação.

De seguida, é aplicado o método MCMT, utilizando as mesmas viaturas estudadas no ponto anterior, no período entre 1993 e 2014. As tabelas seguintes mostram os resultados do cálculo

do Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT), pelo Método Linear, Soma de Dígitos e Exponencial, para os autocarros X1, X2, X3, Y1, Y2, XX1, XX2, XX3, YY1 e YY2.

Tabela A.23 – Minimização do Custo Médio Total – Método Linear

C _{n(MCMT)} [€ Ano]										
Ano j	Mét. Linear									
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	16,10K	16,55K	17,35K	22,44K	17,20K	18,91K	21,48K	21,71K	23,94K	22,03K
2	15,87K	16,50K	17,21K	22,66K	17,37K	21,42K	21,91K	21,59K	28,70K	27,69K
3	15,74K	16,52K	17,15K	22,96K	17,81K	22,94K	22,16K	23,01K	31,26K	30,49K
4	15,72K	16,63K	17,18K	23,34K	18,49K	23,25K	23,41K	23,88K	31,67K	30,91K
5	15,80K	16,81K	17,30K	23,80K	20,19K	24,74K	25,08K	25,12K	32,43K	32,45K
6	16,00K	17,07K	17,51K	24,35K	22,46K	26,34K	26,91K	26,29K	31,54K	32,35K
7	16,30K	17,41K	17,80K	24,84K	24,77K	26,20K	26,42K	26,29K	31,27K	32,64K
8	16,71K	17,82K	18,18K	25,92K	26,68K	26,09K	26,11K	26,12K	31,98K	33,10K
9	17,23K	18,32K	18,64K	26,70K	27,51K	26,08K	26,16K	26,18K	32,82K	33,78K
10	17,82K	18,72K	19,06K	27,47K	29,59K	25,99K	26,05K	25,83K	33,34K	34,34K
11	18,58K	19,57K	19,69K	28,38K	30,07K	25,74K	25,72K	25,18K	33,70K	34,84K
12	19,59K	20,32K	20,37K	29,82K	30,72K	24,33K	24,19K	24,63K		
13	20,47K	21,12K	21,26K	30,27K	31,97K					
14	21,22K	21,75K	21,79K	31,24K	33,07K					
15	22,23K	23,05K	22,83K	32,47K	34,16K					
16	22,64K	23,35K	23,33K	33,74K	34,24K					
17	23,19K	23,82K	23,61K	34,41K						
18	23,79K	24,41K	24,12K	35,57K						
19	24,52K	24,95K	24,67K							
20	25,23K	25,70K	25,36K							
21	25,93K	26,23K	24,99K							

Tabela A.24 – Minimização do Custo Médio Total – Método Soma de Dígitos

C _{n(MCMT)} [€ Ano]										
Ano j	Mét. S. Dig.									
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	19,73K	20,18K	20,98K	26,40K	21,47K	24,33K	26,89K	27,13K	29,20K	27,28K
2	19,36K	19,99K	20,70K	26,47K	21,49K	26,63K	27,13K	26,81K	33,76K	32,75K
3	19,10K	19,88K	20,51K	26,62K	21,76K	27,95K	27,18K	28,02K	36,12K	35,35K
4	18,94K	19,85K	20,41K	26,86K	22,29K	28,06K	28,22K	28,69K	36,34K	35,58K
5	18,89K	19,90K	20,39K	27,17K	23,83K	29,35K	29,70K	29,74K	36,91K	36,93K
6	18,96K	20,02K	20,46K	27,57K	25,94K	30,75K	31,33K	30,70K	35,82K	36,63K
7	19,12K	20,23K	20,62K	27,92K	28,09K	30,41K	30,63K	30,50K	35,36K	36,73K
8	19,40K	20,51K	20,87K	28,85K	29,85K	30,10K	30,13K	30,13K	35,88K	36,99K
9	19,78K	20,87K	21,20K	29,49K	30,52K	29,90K	29,98K	29,99K	36,52K	37,48K
10	20,24K	21,14K	21,48K	30,11K	32,44K	29,60K	29,67K	29,45K	36,84K	37,84K
11	20,87K	21,86K	21,97K	30,87K	32,76K	29,16K	29,14K	28,60K	37,01K	38,15K
12	21,74K	22,47K	22,52K	32,17K	33,26K	27,54K	27,40K	27,84K		
13	22,48K	23,13K	23,28K	32,47K	34,34K					
14	23,10K	23,63K	23,67K	33,29K	35,29K					
15	23,97K	24,80K	24,57K	34,38K	36,21K					
16	24,25K	24,96K	24,94K	35,50K	36,14K					
17	24,67K	25,29K	25,09K	36,03K						
18	25,13K	25,75K	25,47K	37,03K						
19	25,73K	26,16K	25,88K							
20	26,30K	26,78K	26,43K							
21	26,88K	27,17K	25,93K							

Tabela A.25 – Minimização do Custo Médio Total – Método Exponencial

Ano j	$C_n(\text{MCMT})$ [€ Ano]									
	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	27,96K	28,41K	29,21K	35,66K	31,76K	38,49K	63,62K	41,29K	42,79K	40,87K
2	26,60K	27,23K	27,94K	34,61K	30,53K	39,03K	61,21K	39,21K	45,67K	44,66K
3	25,46K	26,24K	26,87K	33,76K	29,68K	38,79K	59,22K	38,87K	46,54K	45,77K
4	24,52K	25,43K	25,98K	33,11K	29,22K	37,52K	57,63K	38,15K	45,43K	44,67K
5	23,77K	24,77K	25,27K	32,64K	29,88K	37,59K	56,41K	37,98K	44,83K	44,85K
6	23,20K	24,27K	24,71K	32,33K	31,21K	37,91K	55,54K	37,86K	42,70K	43,51K
7	22,82K	23,92K	24,31K	32,06K	32,66K	36,61K	54,87K	36,70K	41,32K	42,69K
8	22,60K	23,71K	24,06K	32,43K	33,80K	35,46K	55,03K	35,48K	41,02K	42,14K
9	22,54K	23,63K	23,95K	32,57K	33,93K	34,50K	55,11K	34,60K	40,94K	41,91K
10	22,60K	23,50K	23,84K	32,75K	35,36K	33,54K	55,35K	33,39K	40,63K	41,63K
11	22,89K	23,88K	23,99K	33,12K	35,26K	32,51K	56,01K	31,95K	40,24K	41,38K
12	23,45K	24,19K	24,24K	34,08K	35,37K	30,38K	57,53K	30,68K		
13	23,93K	24,58K	24,72K	34,08K	36,12K					
14	24,31K	24,83K	24,88K	34,64K	36,77K					
15	24,97K	25,79K	25,57K	35,49K	37,44K					
16	25,07K	25,78K	25,76K	36,40K	37,14K					
17	25,32K	25,95K	25,74K	36,76K						
18	25,65K	26,27K	25,98K	37,61K						
19	26,14K	26,56K	26,28K							
20	26,60K	27,08K	26,74K							
21	27,10K	27,39K	26,15K							

As tabelas precedentes mostram uma visão global dos vários valores e resultados obtidos segundo o método MCMT para todos os autocarros que foram alvo deste trabalho.

Nesta sequência, seguidamente apresentam-se em detalhe todos os cálculos efectuados para cada grupo homogéneo de veículos. As tabelas e as figuras seguintes ilustram os cálculos do Custo Médio Total para o grupo homogéneo: Marca A, Modelo A, composto por três viaturas de 21 anos, designados por X1, X2 e X3.

Tabela A.26 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X1

Ano j	Veiculo X1		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_n(\text{MCMT})$ [€ Ano]		
	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			110,66K							
1	0,98K	11,22K	12,20K	12,20K	3,90K	7,53K	15,76K	16,10K	19,73K	27,96K
2	1,02K	10,71K	11,73K	11,97K	3,90K	7,39K	14,63K	15,87K	19,36K	26,60K
3	1,12K	10,46K	11,58K	11,84K	3,90K	7,26K	13,62K	15,74K	19,10K	25,46K
4	1,27K	10,48K	11,76K	11,82K	3,90K	7,12K	12,70K	15,72K	18,94K	24,52K
5	1,49K	10,76K	12,25K	11,90K	3,90K	6,99K	11,86K	15,80K	18,89K	23,77K
6	1,77K	11,31K	13,07K	12,10K	3,90K	6,86K	11,11K	16,00K	18,96K	23,20K
7	2,10K	12,12K	14,22K	12,40K	3,90K	6,72K	10,41K	16,30K	19,12K	22,82K
8	2,50K	13,19K	15,69K	12,81K	3,90K	6,59K	9,78K	16,71K	19,40K	22,60K
9	2,95K	14,53K	17,48K	13,33K	3,90K	6,45K	9,21K	17,23K	19,78K	22,54K
10	3,64K	15,54K	19,18K	13,92K	3,90K	6,32K	8,68K	17,82K	20,24K	22,60K
11	3,91K	18,46K	22,37K	14,69K	3,90K	6,18K	8,20K	18,58K	20,87K	22,89K
12	5,97K	20,75K	26,72K	15,69K	3,90K	6,05K	7,76K	19,59K	21,74K	23,45K
13	5,13K	22,01K	27,15K	16,57K	3,90K	5,91K	7,36K	20,47K	22,48K	23,93K
14	5,40K	21,73K	27,13K	17,32K	3,90K	5,78K	6,98K	21,22K	23,10K	24,31K
15	6,06K	26,30K	32,37K	18,33K	3,90K	5,65K	6,64K	22,23K	23,97K	24,97K
16	7,05K	17,92K	24,97K	18,74K	3,90K	5,51K	6,32K	22,64K	24,25K	25,07K
17	10,06K	17,99K	28,05K	19,29K	3,90K	5,38K	6,03K	23,19K	24,67K	25,32K
18	8,61K	21,46K	30,07K	19,89K	3,90K	5,24K	5,76K	23,79K	25,13K	25,65K
19	6,38K	27,52K	33,90K	20,63K	3,90K	5,11K	5,51K	24,52K	25,73K	26,14K
20	8,72K	25,96K	34,68K	21,33K	3,90K	4,97K	5,28K	25,23K	26,30K	26,60K
21	9,36K	26,83K	36,19K	22,04K	3,90K	4,84K	5,06K	25,93K	26,88K	27,10K

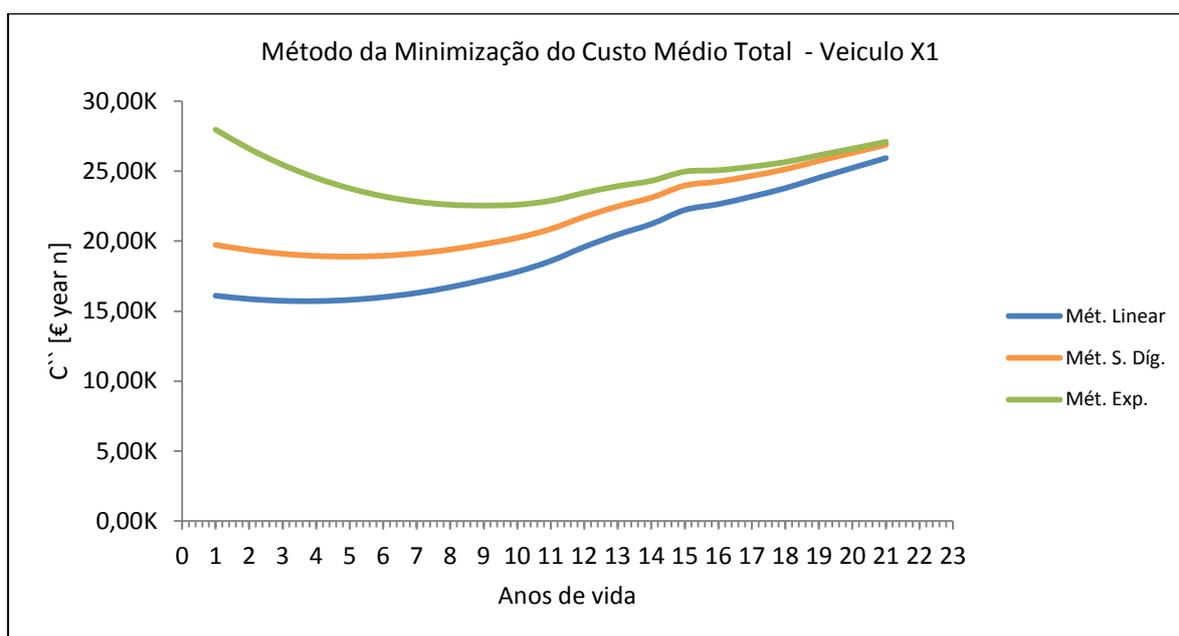


Figura A.15 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X1

Pode constatar-se, quer pelo quadro A.26 quer pela figura A.15, que o intervalo de substituição, tendo em consideração os métodos de depreciação linear e soma de dígitos, se situa entre os quatro e os cinco anos. Se for tido em consideração o Método de Depreciação Exponencial, o momento óptimo de substituição situa-se nos 10 anos de vida, indo este método mais ao encontro do que é usualmente expectável.

Tabela A.27 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X2

Veículo X2			C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_{n(MCMT)}$ [€ Ano]		
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			110,66K							
1	0,98K	11,68K	12,65K	12,65K	3,90K	7,53K	15,76K	16,55K	20,18K	28,41K
2	1,01K	11,53K	12,55K	12,60K	3,90K	7,39K	14,63K	16,50K	19,99K	27,23K
3	1,11K	11,56K	12,67K	12,62K	3,90K	7,26K	13,62K	16,52K	19,88K	26,24K
4	1,26K	11,77K	13,04K	12,73K	3,90K	7,12K	12,70K	16,63K	19,85K	25,43K
5	1,48K	12,15K	13,63K	12,91K	3,90K	6,99K	11,86K	16,81K	19,90K	24,77K
6	1,75K	12,72K	14,47K	13,17K	3,90K	6,86K	11,11K	17,07K	20,02K	24,27K
7	2,09K	13,45K	15,54K	13,51K	3,90K	6,72K	10,41K	17,41K	20,23K	23,92K
8	2,48K	14,37K	16,85K	13,92K	3,90K	6,59K	9,78K	17,82K	20,51K	23,71K
9	2,94K	15,46K	18,39K	14,42K	3,90K	6,45K	9,21K	18,32K	20,87K	23,63K
10	1,90K	16,51K	18,41K	14,82K	3,90K	6,32K	8,68K	18,72K	21,14K	23,50K
11	5,52K	18,68K	24,20K	15,67K	3,90K	6,18K	8,20K	19,57K	21,86K	23,88K
12	5,32K	19,37K	24,69K	16,42K	3,90K	6,05K	7,76K	20,32K	22,47K	24,19K
13	5,07K	21,69K	26,76K	17,22K	3,90K	5,91K	7,36K	21,12K	23,13K	24,58K
14	5,71K	20,30K	26,01K	17,85K	3,90K	5,78K	6,98K	21,75K	23,63K	24,83K
15	14,50K	22,95K	37,45K	19,15K	3,90K	5,65K	6,64K	23,05K	24,80K	25,79K
16	7,27K	16,64K	23,92K	19,45K	3,90K	5,51K	6,32K	23,35K	24,96K	25,78K
17	6,12K	21,25K	27,36K	19,92K	3,90K	5,38K	6,03K	23,82K	25,29K	25,95K
18	5,34K	25,27K	30,61K	20,51K	3,90K	5,24K	5,76K	24,41K	25,75K	26,27K
19	4,13K	26,64K	30,77K	21,05K	3,90K	5,11K	5,51K	24,95K	26,16K	26,56K
20	13,22K	22,91K	36,13K	21,80K	3,90K	4,97K	5,28K	25,70K	26,78K	27,08K
21	11,56K	21,35K	32,91K	22,33K	3,90K	4,84K	5,06K	26,23K	27,17K	27,39K

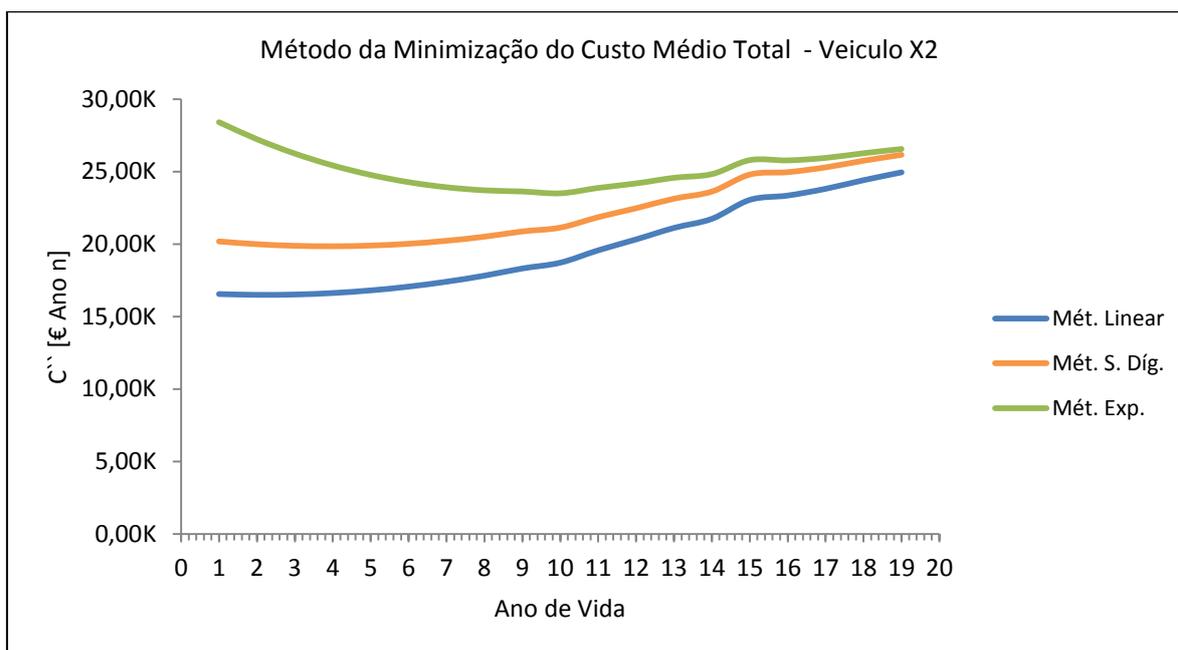


Figura A.16 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X2

Tabela A.28 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro X3

Veículo X3		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_n(MCMT)$ [€ Ano]			
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			110,66K							
1	0,84K	12,61K	13,45K	13,45K	3,90K	7,53K	15,76K	17,35K	20,98K	29,21K
2	0,77K	12,40K	13,17K	13,31K	3,90K	7,39K	14,63K	17,21K	20,70K	27,94K
3	0,79K	12,35K	13,14K	13,25K	3,90K	7,26K	13,62K	17,15K	20,51K	26,87K
4	0,90K	12,47K	13,38K	13,28K	3,90K	7,12K	12,70K	17,18K	20,41K	25,98K
5	1,10K	12,77K	13,87K	13,40K	3,90K	6,99K	11,86K	17,30K	20,39K	25,27K
6	1,39K	13,24K	14,63K	13,61K	3,90K	6,86K	11,11K	17,51K	20,46K	24,71K
7	1,78K	13,87K	15,65K	13,90K	3,90K	6,72K	10,41K	17,80K	20,62K	24,31K
8	2,25K	14,68K	16,93K	14,28K	3,90K	6,59K	9,78K	18,18K	20,87K	24,06K
9	2,81K	15,66K	18,47K	14,74K	3,90K	6,45K	9,21K	18,64K	21,20K	23,95K
10	3,89K	15,02K	18,91K	15,16K	3,90K	6,32K	8,68K	19,06K	21,48K	23,84K
11	5,00K	17,08K	22,07K	15,79K	3,90K	6,18K	8,20K	19,69K	21,97K	23,99K
12	3,77K	20,25K	24,02K	16,47K	3,90K	6,05K	7,76K	20,37K	22,52K	24,24K
13	7,37K	20,69K	28,07K	17,37K	3,90K	5,91K	7,36K	21,26K	23,28K	24,72K
14	5,38K	19,33K	24,71K	17,89K	3,90K	5,78K	6,98K	21,79K	23,67K	24,88K
15	6,82K	26,61K	33,43K	18,93K	3,90K	5,65K	6,64K	22,83K	24,57K	25,57K
16	10,83K	16,17K	27,00K	19,43K	3,90K	5,51K	6,32K	23,33K	24,94K	25,76K
17	3,98K	20,24K	24,21K	19,71K	3,90K	5,38K	6,03K	23,61K	25,09K	25,74K
18	3,27K	25,64K	28,90K	20,22K	3,90K	5,24K	5,76K	24,12K	25,47K	25,98K
19	4,88K	25,68K	30,56K	20,77K	3,90K	5,11K	5,51K	24,67K	25,88K	26,28K
20	10,62K	24,00K	34,62K	21,46K	3,90K	4,97K	5,28K	25,36K	26,43K	26,74K
21	4,73K	9,04K	13,78K	21,09K	3,90K	4,84K	5,06K	24,99K	25,93K	26,15K

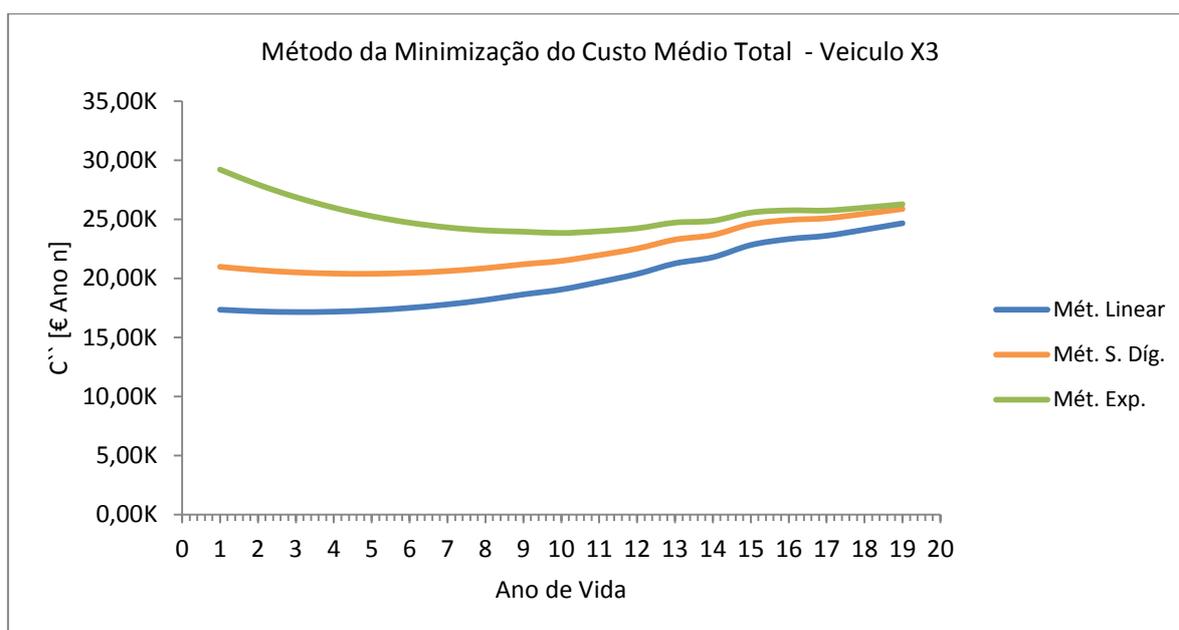


Figura A.17 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro X3

Analisando as tabelas e gráficos deste grupo homogêneo de autocarros, verifica-se uma homogeneidade nos resultados obtidos, tendo em consideração os três métodos de desvalorização. Pode salientar-se que o tempo de substituição se encontra no décimo ano, tendo em consideração o Método de Desvalorização Exponencial, o que dá um ponto claro de referência ao decisor. Exemplifica-se, de seguida, o cálculo do custo médio total para o grupo homogêneo: Marca B, Modelo B e C, composto por duas viaturas de 18 e 16 anos (Tabela A.29 e A.30).

Tabela A.29 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro Y1

Veículo Y1		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_{n(MCMT)}$ [€ Ano]			
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			110,66K							
1	0,84K	12,61K	13,45K	13,45K	3,90K	7,53K	15,76K	17,35K	20,98K	29,21K
2	0,77K	12,40K	13,17K	13,31K	3,90K	7,39K	14,63K	17,21K	20,70K	27,94K
3	0,79K	12,35K	13,14K	13,25K	3,90K	7,26K	13,62K	17,15K	20,51K	26,87K
4	0,90K	12,47K	13,38K	13,28K	3,90K	7,12K	12,70K	17,18K	20,41K	25,98K
5	1,10K	12,77K	13,87K	13,40K	3,90K	6,99K	11,86K	17,30K	20,39K	25,27K
6	1,39K	13,24K	14,63K	13,61K	3,90K	6,86K	11,11K	17,51K	20,46K	24,71K
7	1,78K	13,87K	15,65K	13,90K	3,90K	6,72K	10,41K	17,80K	20,62K	24,31K
8	2,25K	14,68K	16,93K	14,28K	3,90K	6,59K	9,78K	18,18K	20,87K	24,06K
9	2,81K	15,66K	18,47K	14,74K	3,90K	6,45K	9,21K	18,64K	21,20K	23,95K
10	3,89K	15,02K	18,91K	15,16K	3,90K	6,32K	8,68K	19,06K	21,48K	23,84K
11	5,00K	17,08K	22,07K	15,79K	3,90K	6,18K	8,20K	19,69K	21,97K	23,99K
12	3,77K	20,25K	24,02K	16,47K	3,90K	6,05K	7,76K	20,37K	22,52K	24,24K
13	7,37K	20,69K	28,07K	17,37K	3,90K	5,91K	7,36K	21,26K	23,28K	24,72K
14	5,38K	19,33K	24,71K	17,89K	3,90K	5,78K	6,98K	21,79K	23,67K	24,88K
15	6,82K	26,61K	33,43K	18,93K	3,90K	5,65K	6,64K	22,83K	24,57K	25,57K
16	10,83K	16,17K	27,00K	19,43K	3,90K	5,51K	6,32K	23,33K	24,94K	25,76K
17	3,98K	20,24K	24,21K	19,71K	3,90K	5,38K	6,03K	23,61K	25,09K	25,74K
18	3,27K	25,64K	28,90K	20,22K	3,90K	5,24K	5,76K	24,12K	25,47K	25,98K
19	4,88K	25,68K	30,56K	20,77K	3,90K	5,11K	5,51K	24,67K	25,88K	26,28K
20	10,62K	24,00K	34,62K	21,46K	3,90K	4,97K	5,28K	25,36K	26,43K	26,74K
21	4,73K	9,04K	13,78K	21,09K	3,90K	4,84K	5,06K	24,99K	25,93K	26,15K

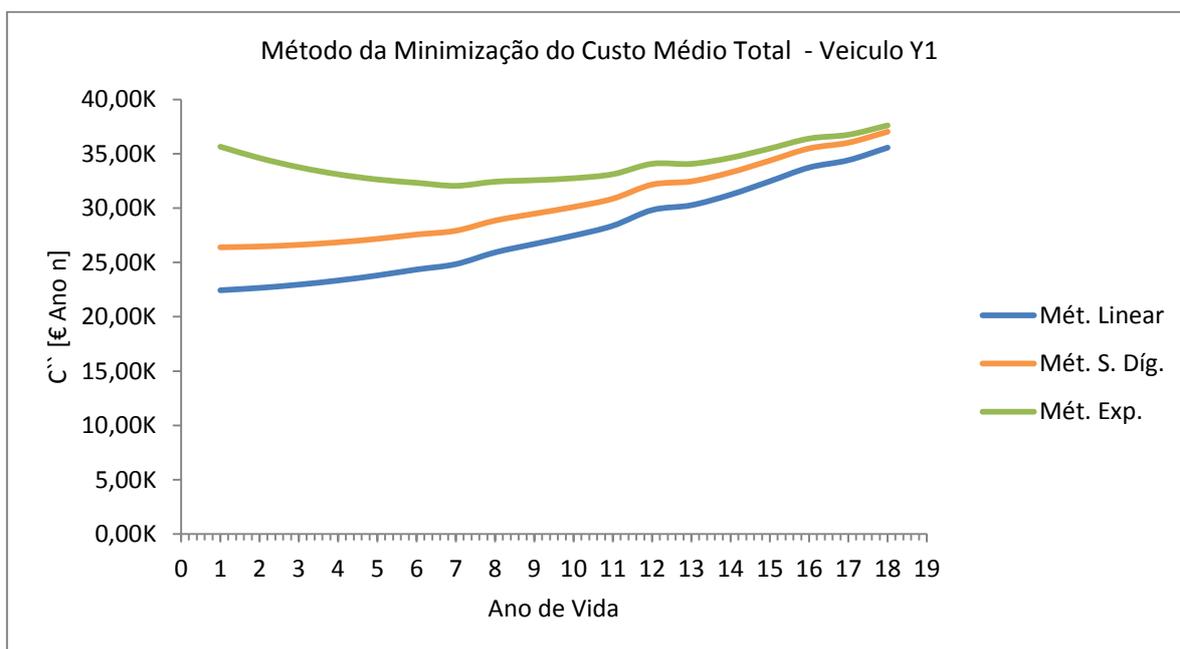


Figura A.18 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro Y1

Pode constatar-se, quer pela tabela quer pela figura, que o intervalo de substituição, tendo em consideração o Método de Depreciação Exponencial, situa-se nos 10 anos de vida indo, deste modo, ao encontro dos resultados obtidos no grupo homogéneo anteriormente apresentado.

Tabela A.30 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro Y2

Veiculo Y2		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_{n(MCMT)}$ [€ Ano]			
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			130,01K							
1	0,84K	11,76K	12,61K	12,61K	4,59K	8,86K	19,15K	17,20K	21,47K	31,76K
2	0,83K	12,13K	12,96K	12,79K	4,59K	8,70K	17,74K	17,37K	21,49K	30,53K
3	0,97K	13,11K	14,08K	13,22K	4,59K	8,55K	16,47K	17,81K	21,76K	29,68K
4	1,25K	14,69K	15,94K	13,90K	4,59K	8,39K	15,32K	18,49K	22,29K	29,22K
5	5,61K	16,81K	22,41K	15,60K	4,59K	8,23K	14,28K	20,19K	23,83K	29,88K
6	10,50K	18,72K	29,22K	17,87K	4,59K	8,07K	13,34K	22,46K	25,94K	31,21K
7	9,12K	24,90K	34,02K	20,18K	4,59K	7,91K	12,49K	24,77K	28,09K	32,66K
8	9,22K	26,29K	35,51K	22,09K	4,59K	7,75K	11,71K	26,68K	29,85K	33,80K
9	4,10K	25,47K	29,56K	22,92K	4,59K	7,60K	11,00K	27,51K	30,52K	33,93K
10	11,55K	32,12K	43,67K	25,00K	4,59K	7,44K	10,36K	29,59K	32,44K	35,36K
11	7,89K	22,46K	30,36K	25,48K	4,59K	7,28K	9,77K	30,07K	32,76K	35,26K
12	7,69K	25,59K	33,28K	26,13K	4,59K	7,12K	9,23K	30,72K	33,26K	35,37K
13	10,85K	31,46K	42,30K	27,38K	4,59K	6,96K	8,74K	31,97K	34,34K	36,12K
14	5,62K	37,26K	42,88K	28,49K	4,59K	6,81K	8,29K	33,07K	35,29K	36,77K
15	17,88K	26,83K	44,72K	29,57K	4,59K	6,65K	7,87K	34,16K	36,21K	37,44K
16	8,27K	22,57K	30,84K	29,65K	4,59K	6,49K	7,49K	34,24K	36,14K	37,14K

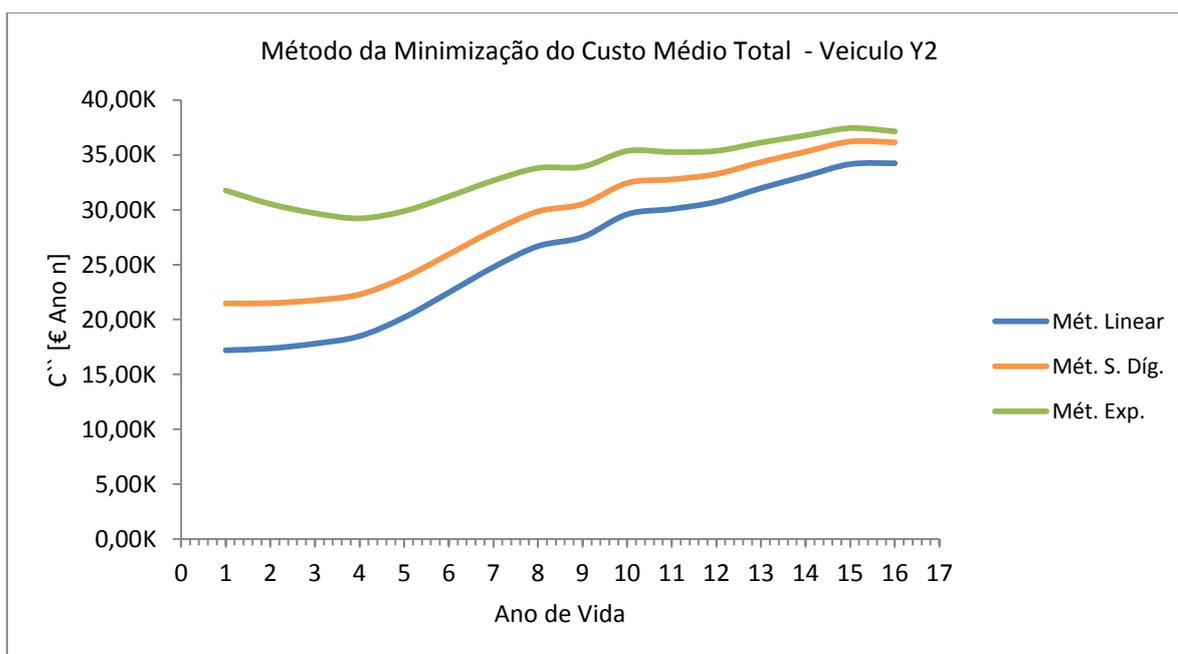


Figura A.19 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro Y2

Analisando a tabela e a figura referentes ao autocarro Y2, verifica-se que não seria fácil o gestor do activo tomar uma decisão, não existindo um ponto claro e evidente de substituição.

De seguida, apresentam-se os cálculos para três viaturas de 12 anos, que pertencem ao mesmo grupo homogéneo: Marca A, Modelo D.

Tabela A.31 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XXI

Veiculo XXI			C _{n'} [€]		C _{n''} [€]			C _{n(MCMT)} [€ Ano]		
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			164,45K							
1	0,33K	13,81K	13,09K	13,09K	5,82K	11,24K	25,40K	18,91K	24,33K	38,49K
2	5,45K	15,66K	18,10K	15,60K	5,82K	11,04K	23,44K	21,42K	26,63K	39,03K
3	6,43K	18,97K	20,16K	17,12K	5,82K	10,84K	21,68K	22,94K	27,95K	38,79K
4	3,86K	21,12K	18,36K	17,43K	5,82K	10,64K	20,10K	23,25K	28,06K	37,52K
5	10,92K	25,64K	24,88K	18,92K	5,82K	10,44K	18,67K	24,74K	29,35K	37,59K
6	13,18K	32,06K	28,51K	20,52K	5,82K	10,23K	17,39K	26,34K	30,75K	37,91K
7	8,10K	25,42K	19,56K	20,38K	5,82K	10,03K	16,23K	26,20K	30,41K	36,61K
8	10,02K	26,09K	19,51K	20,27K	5,82K	9,83K	15,19K	26,09K	30,10K	35,46K
9	6,84K	33,55K	20,20K	20,26K	5,82K	9,63K	14,24K	26,08K	29,90K	34,50K
10	8,51K	33,11K	19,28K	20,17K	5,82K	9,43K	13,37K	25,99K	29,60K	33,54K
11	14,83K	25,98K	17,50K	19,92K	5,82K	9,23K	12,59K	25,74K	29,16K	32,51K
12	3,93K	3,42K	2,92K	18,51K	5,82K	9,03K	11,87K	24,33K	27,54K	30,38K

Tabela A.32 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XX2

Veiculo XX2			C _{n'} [€]		C _{n''} [€]			C _{n(MCMT)} [€ Ano]		
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			164,45K							
1	0,35K	16,56K	15,66K	15,66K	5,82K	11,24K	25,40K	21,48K	26,89K	41,05K
2	3,34K	15,95K	16,53K	16,10K	5,82K	11,04K	23,44K	21,91K	27,13K	39,53K
3	2,12K	19,09K	16,84K	16,34K	5,82K	10,84K	21,68K	22,16K	27,18K	38,02K
4	6,30K	22,70K	21,31K	17,59K	5,82K	10,64K	20,10K	23,41K	28,22K	37,68K
5	12,94K	25,21K	25,96K	19,26K	5,82K	10,44K	18,67K	25,08K	29,70K	37,94K
6	16,91K	31,07K	30,24K	21,09K	5,82K	10,23K	17,39K	26,91K	31,33K	38,48K
7	5,47K	24,74K	17,63K	20,60K	5,82K	10,03K	16,23K	26,42K	30,63K	36,83K
8	7,82K	25,81K	18,17K	20,29K	5,82K	9,83K	15,19K	26,11K	30,13K	35,48K
9	8,97K	32,50K	20,74K	20,34K	5,82K	9,63K	14,24K	26,16K	29,98K	34,58K
10	12,98K	28,61K	19,26K	20,24K	5,82K	9,43K	13,37K	26,05K	29,67K	33,61K
11	10,70K	28,01K	16,60K	19,90K	5,82K	9,23K	12,59K	25,72K	29,14K	32,49K
12	2,75K	0,99K	1,48K	18,37K	5,82K	9,03K	11,87K	24,19K	27,40K	30,24K

Tabela A.33 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro XX3

Veiculo XX3			C _{n'} [€]		C _{n''} [€]			C _{n(MCMT)} [€ Ano]		
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			164,45K							
1	0,88K	16,29K	15,89K	15,89K	5,82K	11,24K	25,40K	21,71K	27,13K	41,29K
2	3,69K	14,56K	15,64K	15,77K	5,82K	11,04K	23,44K	21,59K	26,81K	39,21K
3	5,07K	20,15K	20,03K	17,19K	5,82K	10,84K	21,68K	23,01K	28,02K	38,87K
4	4,29K	23,82K	20,66K	18,06K	5,82K	10,64K	20,10K	23,88K	28,69K	38,15K
5	10,16K	25,53K	24,29K	19,30K	5,82K	10,44K	18,67K	25,12K	29,74K	37,98K
6	10,81K	30,92K	26,30K	20,47K	5,82K	10,23K	17,39K	26,29K	30,70K	37,86K
7	10,15K	24,92K	20,46K	20,47K	5,82K	10,03K	16,23K	26,29K	30,50K	36,70K
8	7,44K	27,93K	19,11K	20,30K	5,82K	9,83K	15,19K	26,12K	30,13K	35,48K
9	11,04K	30,69K	20,87K	20,36K	5,82K	9,63K	14,24K	26,18K	29,99K	34,60K
10	3,44K	33,00K	16,88K	20,01K	5,82K	9,43K	13,37K	25,83K	29,45K	33,39K
11	10,00K	20,00K	12,87K	19,36K	5,82K	9,23K	12,59K	25,18K	28,60K	31,95K
12	11,00K	21,00K	12,71K	18,81K	5,82K	9,03K	11,87K	24,63K	27,84K	30,68K

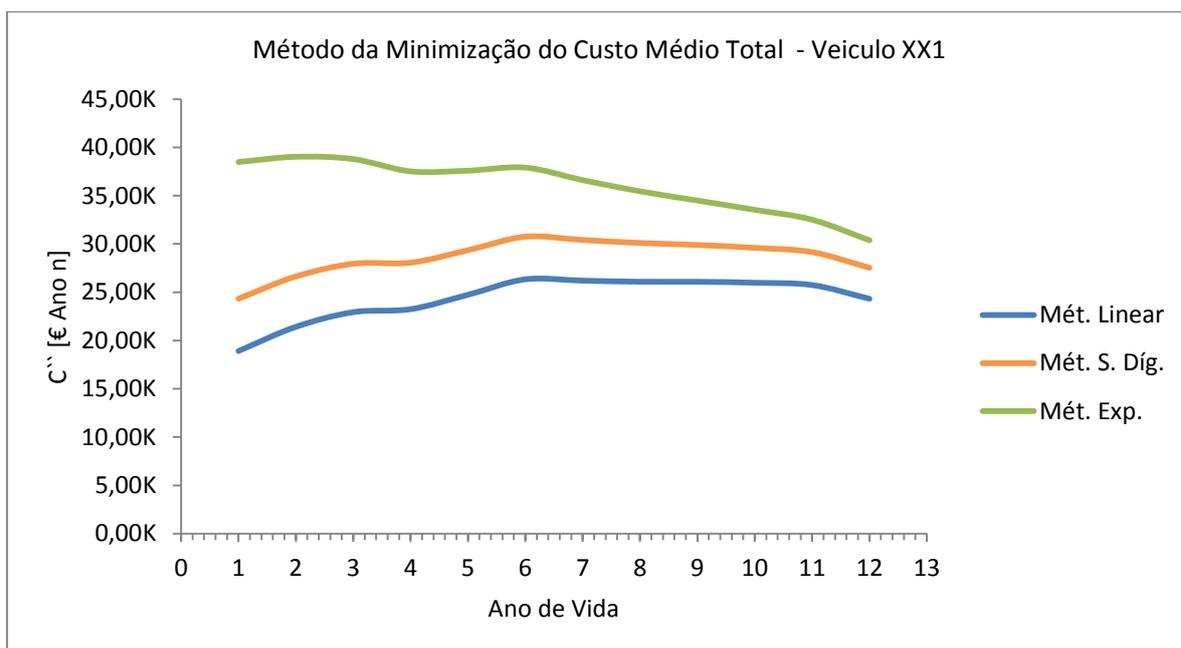


Figura A.20 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX1

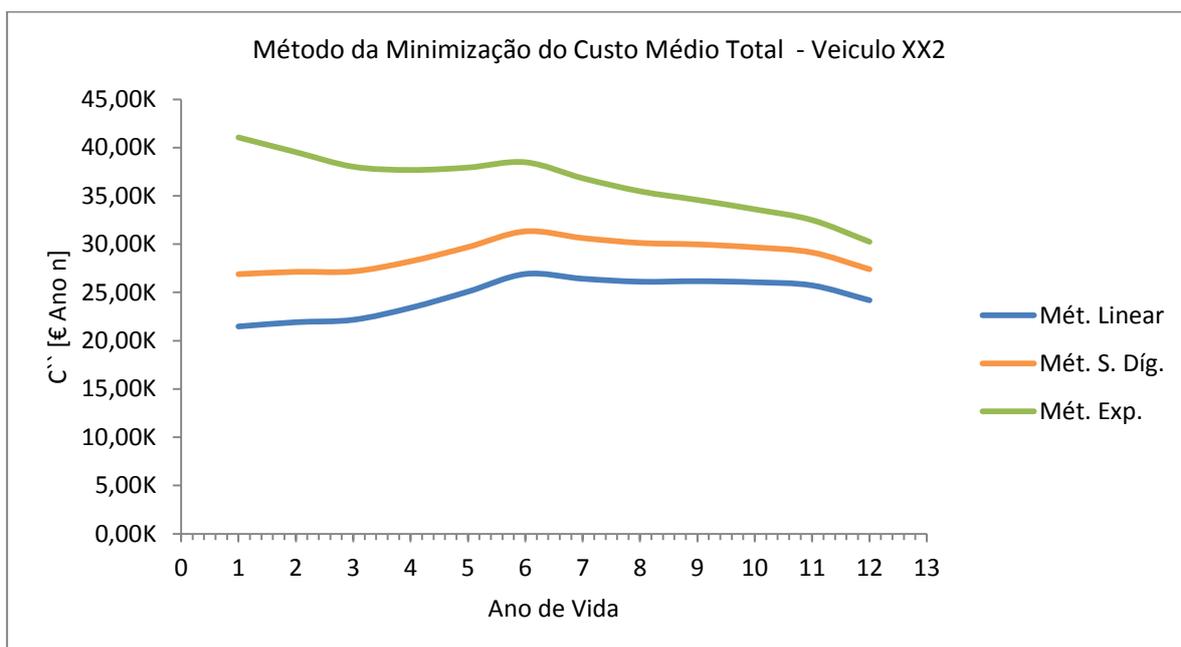


Figura A.21 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX2

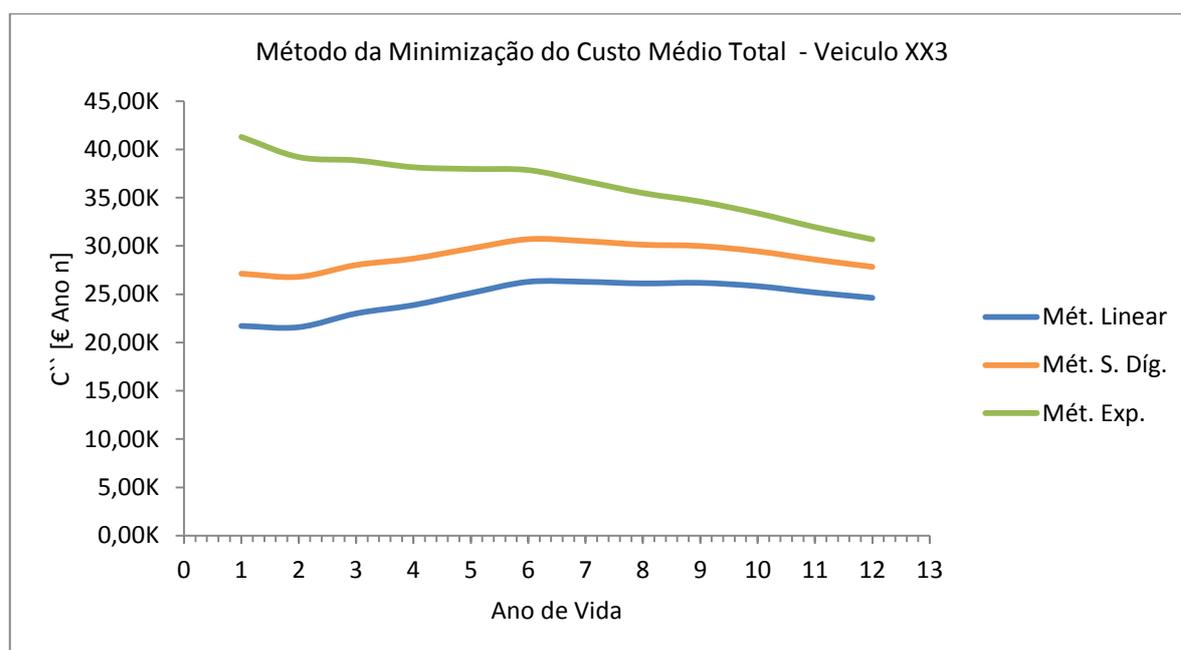


Figura A.22 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro XX3

Mais uma vez se torna difícil encontrar um ponto evidente de substituição dos autocarros XX1, XX2 e XX3, pois analisando os gráficos precedentes, essa dificuldade manifesta-se nas suas curvas irregulares.

As tabelas e os gráficos seguintes apresentam os cálculos baseados no Método da Minimização do Custo Médio Total para o grupo homogêneo: Marca B, Modelo E, composto por três viaturas de 11 anos, designados por YY1 e YY2.

Tabela A.34 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro YY1

VeículoYY1		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_n(MCMT)$ [€ Ano]			
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			159,52K							
1	1,25K	17,05K	18,30K	18,30K	5,64K	10,90K	24,49K	23,94K	29,20K	42,79K
2	1,34K	26,48K	27,82K	23,06K	5,64K	10,70K	22,61K	28,70K	33,76K	45,67K
3	2,73K	28,00K	30,72K	25,61K	5,64K	10,51K	20,92K	31,26K	36,12K	46,54K
4	4,74K	22,53K	27,27K	26,03K	5,64K	10,31K	19,40K	31,67K	36,34K	45,43K
5	4,79K	25,04K	29,82K	26,79K	5,64K	10,12K	18,04K	32,43K	36,91K	44,83K
6	3,22K	18,23K	21,45K	25,90K	5,64K	9,92K	16,81K	31,54K	35,82K	42,70K
7	3,46K	20,56K	24,01K	25,63K	5,64K	9,73K	15,69K	31,27K	35,36K	41,32K
8	7,15K	24,17K	31,32K	26,34K	5,64K	9,54K	14,68K	31,98K	35,88K	41,02K
9	10,60K	23,25K	33,84K	27,17K	5,64K	9,34K	13,77K	32,82K	36,52K	40,94K
10	6,80K	25,55K	32,35K	27,69K	5,64K	9,15K	12,94K	33,34K	36,84K	40,63K
11	6,58K	25,12K	31,70K	28,06K	5,64K	8,95K	12,18K	33,70K	37,01K	40,24K

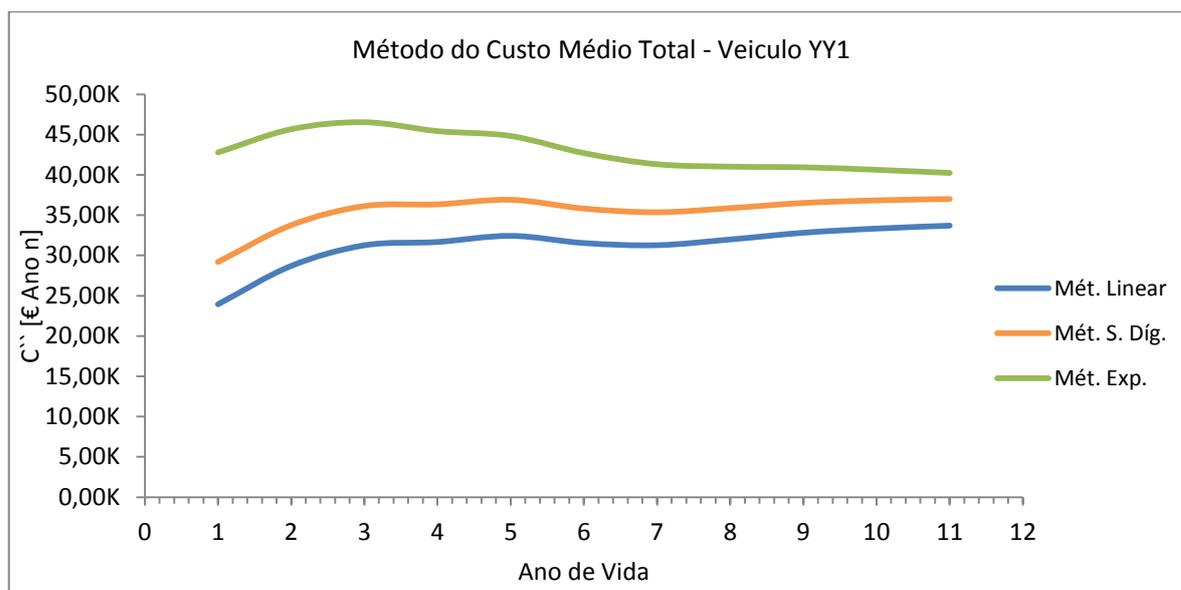


Figura A.23 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro YY1

Tabela A.35 – Minimização do Custo Médio Total - Autocarro YY2

VeículoYY2		C_n' [€]		C_n'' [€]			$C_n(MCMT)$ [€ Anon]			
Ano j	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0			159,52K							
1	0,36K	16,03K	16,39K	16,39K	5,64K	10,90K	24,49K	22,03K	27,28K	40,87K
2	1,71K	26,01K	27,72K	22,05K	5,64K	10,70K	22,61K	27,69K	32,75K	44,66K
3	2,33K	28,10K	30,43K	24,85K	5,64K	10,51K	20,92K	30,49K	35,35K	45,77K
4	4,95K	21,57K	26,52K	25,26K	5,64K	10,31K	19,40K	30,91K	35,58K	44,67K
5	8,31K	24,69K	33,00K	26,81K	5,64K	10,12K	18,04K	32,45K	36,93K	44,85K
6	8,08K	18,12K	26,20K	26,71K	5,64K	9,92K	16,81K	32,35K	36,63K	43,51K
7	8,42K	20,33K	28,75K	27,00K	5,64K	9,73K	15,69K	32,64K	36,73K	42,69K
8	5,91K	24,72K	30,63K	27,45K	5,64K	9,54K	14,68K	33,10K	36,99K	42,14K
9	8,36K	25,28K	33,64K	28,14K	5,64K	9,34K	13,77K	33,78K	37,48K	41,91K
10	6,09K	27,58K	33,67K	28,69K	5,64K	9,15K	12,94K	34,34K	37,84K	41,63K
11	11,48K	22,78K	34,27K	29,20K	5,64K	8,95K	12,18K	34,84K	38,15K	41,38K

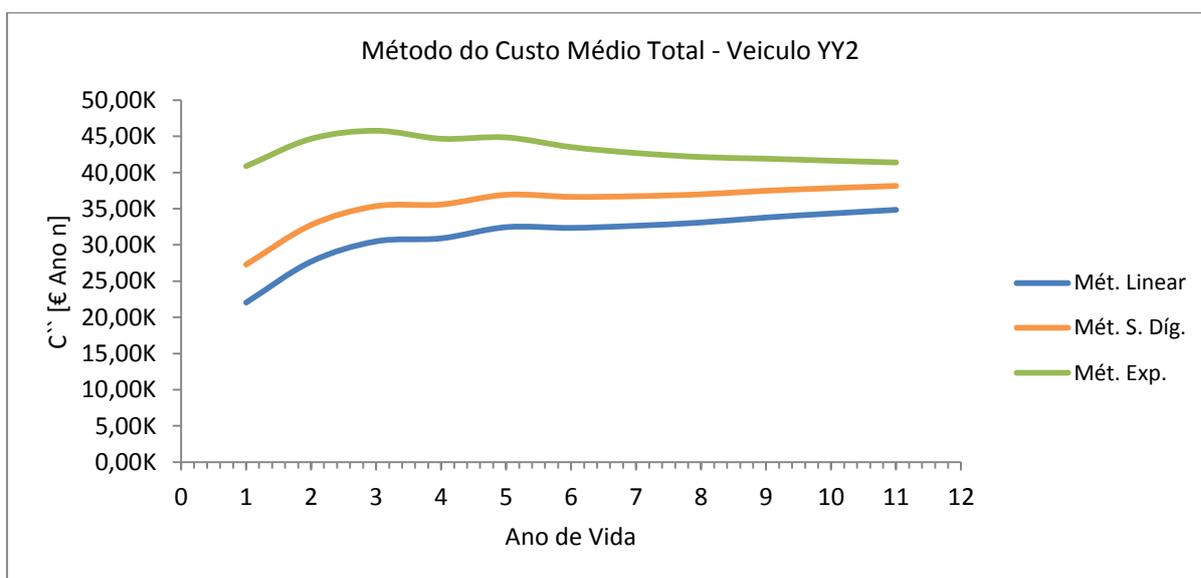


Figura A.24 – Gráfico do Custo Médio Total – Autocarro YY2

Constata-se que o comportamento das curvas dos autocarros YY1 e YY2 são muito análogas, mas continua-se com a mesma dificuldade em encontrar ou apontar um ponto de substituição evidente e inequívoco. Esta situação poderá dever-se também ao período reduzido de estudo destes grupos homogéneos de autocarros.

Salienta-se que neste método não foram contemplados os custos de capital e a taxa de inflação, isto é, não se tem em consideração a taxa aparente de cada ano, o que retira uma variável ao cálculo da substituição. Este, por sua vez, depende ainda mais dos custos de exploração de cada autocarro, nomeadamente dos custos de operação e manutenção, os últimos influenciados pelas políticas de manutenção utilizadas nas empresas de transporte.

A.5. Aplicação do MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP)

No MCMT-RVP o procedimento de cálculo é idêntico ao anterior, com exceção de que aqui são considerados os custos de capital e a taxa de inflação. Os diversos valores de manutenção e de cessão, ao longo dos anos, são reduzidos ao seu valor presente.

Apresenta-se, seguidamente, a aplicação do Método Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente, utilizando as mesmas viaturas estudadas no ponto anterior, no período entre 1993 e 2014. As tabelas seguintes mostram os resultados do cálculo do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP), pelo Método Linear, Soma dos Dígitos e Exponencial, para os autocarros X1, X2, X3, Y1, Y2, XX1, XX2, XX3, YY1 e YY2.

Tabela A.36 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Linear de Depreciação

C _n (MCMT-RVP) [€ Ano]										
Ano j	Mét. Linear									
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	27,61K	28,00K	28,70K	34,37K	42,27K	37,54K	39,97K	40,20K	52,51K	51,00K
2	24,72K	25,24K	25,84K	31,38K	27,88K	36,46K	36,95K	36,66K	40,16K	39,36K
3	20,89K	21,52K	22,04K	27,46K	24,83K	32,99K	32,23K	33,08K	36,14K	35,54K
4	18,68K	19,40K	19,86K	25,32K	22,43K	30,69K	30,90K	31,36K	33,85K	33,25K
5	17,65K	18,44K	18,84K	24,45K	24,01K	31,39K	31,81K	31,80K	33,04K	33,03K
6	17,19K	18,02K	18,38K	24,14K	24,12K	33,05K	33,73K	32,95K	33,00K	33,48K
7	17,86K	18,69K	19,00K	24,81K	23,84K	34,06K	34,36K	34,12K	31,60K	32,40K
8	17,55K	18,36K	18,64K	24,66K	23,56K	33,57K	33,65K	33,57K	30,31K	30,96K
9	16,97K	17,74K	18,00K	24,02K	23,02K	32,78K	32,92K	32,86K	29,27K	29,84K
10	16,48K	17,13K	17,39K	23,48K	23,79K	32,08K	32,20K	31,84K	27,53K	28,14K
11	16,29K	16,98K	17,10K	23,26K	24,17K	30,85K	30,82K	29,92K	27,04K	27,78K
12	16,59K	17,13K	17,21K	23,72K	23,62K	28,50K	28,23K	29,32K		
13	17,09K	17,58K	17,69K	23,88K	23,08K					
14	16,88K	17,30K	17,37K	23,54K	21,90K					
15	16,61K	17,14K	17,10K	23,18K	23,83K					
16	15,51K	15,94K	16,08K	22,90K	23,53K					
17	16,63K	17,01K	17,02K	24,15K						
18	17,10K	17,47K	17,45K	24,75K						
19	16,77K	17,06K	17,04K							
20	16,61K	16,93K	16,87K							
21	16,95K	17,14K	16,45K							

Tabela A.37 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Soma de Dígitos

C _n (MCMT-RVP) [€ Ano]										
Ano j	Mét. S. Díg.									
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	30,80K	31,19K	31,89K	37,84K	45,59K	42,30K	44,73K	44,96K	56,65K	55,14K
2	27,48K	28,00K	28,60K	34,39K	31,08K	40,58K	41,07K	40,78K	44,09K	43,29K
3	23,50K	24,13K	24,65K	30,31K	26,88K	36,89K	36,14K	36,98K	39,93K	39,33K
4	21,19K	21,92K	22,37K	28,06K	25,25K	34,44K	34,66K	35,11K	37,43K	36,83K
5	20,02K	20,81K	21,21K	27,03K	26,27K	34,93K	35,35K	35,34K	36,36K	36,35K
6	19,39K	20,22K	20,57K	26,53K	26,10K	36,32K	37,01K	36,23K	35,65K	36,13K
7	19,61K	20,44K	20,75K	26,71K	25,72K	36,31K	36,61K	36,37K	33,93K	34,73K
8	19,08K	19,89K	20,17K	26,33K	25,42K	35,50K	35,58K	35,49K	32,51K	33,16K
9	18,42K	19,19K	19,44K	25,60K	24,85K	34,95K	35,09K	35,03K	31,44K	32,00K
10	17,90K	18,55K	18,81K	25,02K	25,43K	34,19K	34,32K	33,96K	30,10K	30,71K
11	17,68K	18,37K	18,49K	24,77K	25,28K	33,35K	33,32K	32,42K	29,73K	30,47K
12	17,83K	18,36K	18,44K	25,06K	24,55K	31,11K	30,84K	31,93K		
13	17,92K	18,41K	18,52K	24,79K	24,02K					
14	17,57K	17,99K	18,06K	24,30K	23,95K					
15	17,30K	17,83K	17,79K	23,93K	25,10K					
16	17,01K	17,44K	17,58K	24,53K	24,92K					
17	17,56K	17,95K	17,96K	25,15K						
18	17,49K	17,86K	17,84K	25,83K						
19	17,18K	17,47K	17,46K							
20	17,22K	17,54K	17,48K							
21	17,60K	17,80K	17,11K							

Tabela A.38 – MCMT com Redução ao Valor Presente – Método Exponencial

Ano j	$C_n(MCMT-RVP)$ [€ Ano]									
	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.	Mét. Exp.
	X1	X2	X3	Y1	Y2	XX1	XX2	XX3	YY1	YY2
1	38,02K	38,42K	39,12K	45,97K	53,59K	54,74K	57,17K	57,40K	67,38K	65,87K
2	33,20K	33,72K	34,31K	40,82K	38,13K	50,36K	50,86K	50,56K	53,35K	52,55K
3	28,45K	29,08K	29,60K	35,87K	32,96K	45,32K	44,57K	45,41K	48,05K	47,44K
4	25,54K	26,26K	26,72K	32,94K	30,39K	41,81K	42,03K	42,49K	44,41K	43,81K
5	23,76K	24,55K	24,95K	31,22K	30,02K	41,25K	41,67K	41,66K	42,23K	42,22K
6	22,54K	23,37K	23,72K	30,06K	29,10K	41,63K	42,32K	41,53K	39,92K	40,40K
7	21,90K	22,73K	23,04K	29,28K	28,31K	40,52K	40,82K	40,58K	37,33K	38,12K
8	20,90K	21,71K	21,99K	28,37K	27,74K	38,91K	38,99K	38,90K	35,43K	36,09K
9	19,98K	20,75K	21,01K	27,35K	26,92K	37,56K	37,70K	37,64K	34,03K	34,60K
10	19,29K	19,94K	20,20K	26,57K	27,11K	36,50K	36,63K	36,27K	32,88K	33,48K
11	18,91K	19,60K	19,72K	26,14K	26,32K	35,81K	35,78K	34,88K	32,36K	33,09K
12	18,81K	19,35K	19,42K	26,16K	25,33K	33,42K	33,15K	34,24K		
13	18,52K	19,01K	19,12K	25,46K	24,72K					
14	18,02K	18,44K	18,51K	24,80K	25,33K					
15	17,70K	18,22K	18,18K	24,37K	25,86K					
16	17,76K	18,20K	18,34K	25,37K	25,65K					
17	17,98K	18,36K	18,37K	25,60K						
18	17,64K	18,01K	17,99K	26,25K						
19	17,32K	17,61K	17,59K							
20	17,39K	17,71K	17,65K							
21	17,75K	17,95K	17,26K							

As tabelas apresentadas anteriormente mostram os resultados obtidos segundo o Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente, para os autocarros analisados no presente caso de estudo. É, também, possível fazer a comparação entre viaturas de grupos homogêneos diferentes.

Mais uma vez, irão ser analisados, para cada autocarro, e para cada grupo homogêneo, os resultados obtidos segundo o presente método. Assim sendo, apresenta-se de seguida para o grupo homogêneo: Marca A, Modelo A, designados por X1, X2 e X3.

Tabela A.39 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X1

Ano j	Veiculo X1				C_n [€]				C_n [€]			$C_n(MCMT-RVP)$ [€ Ano]			
	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_A)$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	110,66K	7%	9%	16%			110,66K								
1		5%	8%	14%	1,14	0,98K	11,22K	10,72K	10,72K	16,89K	20,08K	27,30K	27,61K	30,80K	38,02K
2		4%	8%	13%	1,27	1,02K	10,71K	9,26K	9,99K	14,73K	17,49K	23,21K	24,72K	27,48K	33,20K
3		3%	6%	9%	1,29	1,12K	10,46K	9,01K	9,66K	11,23K	13,84K	18,79K	20,89K	23,50K	28,45K
4		2%	4%	6%	1,28	1,27K	10,48K	9,16K	9,54K	9,14K	11,66K	16,00K	18,68K	21,19K	25,54K
5		3%	3%	5%	1,30	1,49K	10,76K	9,40K	9,51K	8,14K	10,51K	14,25K	17,65K	20,02K	23,76K
6		2%	3%	5%	1,35	1,77K	11,31K	9,70K	9,54K	7,65K	9,85K	13,00K	17,19K	19,39K	22,54K
7		3%	4%	7%	1,61	2,10K	12,12K	8,82K	9,44K	8,42K	10,17K	12,46K	17,86K	19,61K	21,90K
8		4%	3%	7%	1,76	2,50K	13,19K	8,93K	9,37K	8,18K	9,71K	11,53K	17,55K	19,08K	20,90K
9		4%	3%	7%	1,76	2,95K	14,53K	9,92K	9,43K	7,53K	8,98K	10,54K	16,97K	18,42K	19,98K
10		3%	2%	5%	1,71	3,64K	15,54K	11,24K	9,62K	6,87K	8,28K	9,67K	16,48K	17,90K	19,29K
11		2%	2%	5%	1,64	3,91K	18,46K	13,61K	9,98K	6,31K	7,70K	8,93K	16,29K	17,68K	18,91K
12		2%	2%	5%	1,74	5,97K	20,75K	15,34K	10,42K	6,17K	7,40K	8,38K	16,59K	17,83K	18,81K
13		3%	4%	7%	2,42	5,13K	22,01K	11,23K	10,49K	6,60K	7,44K	8,03K	17,09K	17,92K	18,52K
14		2%	5%	7%	2,71	5,40K	21,73K	10,03K	10,45K	6,42K	7,12K	7,56K	16,88K	17,57K	18,02K
15		3%	4%	6%	2,53	6,06K	26,30K	12,79K	10,61K	6,00K	6,69K	7,09K	16,61K	17,30K	17,70K
16		-1%	1%	0%	1,08	7,05K	17,92K	23,20K	11,40K	4,11K	5,61K	6,37K	15,51K	17,01K	17,76K
17		1%	1%	3%	1,58	10,06K	17,99K	17,78K	11,77K	4,85K	5,79K	6,21K	16,63K	17,56K	17,98K
18		4%	3%	7%	3,46	8,61K	21,46K	8,70K	11,60K	5,50K	5,89K	6,04K	17,10K	17,49K	17,64K
19		3%	3%	6%	2,94	6,38K	27,52K	11,54K	11,60K	5,17K	5,58K	5,72K	16,77K	17,18K	17,32K
20		0%	3%	3%	1,76	8,72K	25,96K	19,70K	12,00K	4,60K	5,22K	5,39K	16,61K	17,22K	17,39K
21		0%	2%	2%	1,44	9,36K	26,83K	25,17K	12,63K	4,32K	4,97K	5,12K	16,95K	17,60K	17,75K

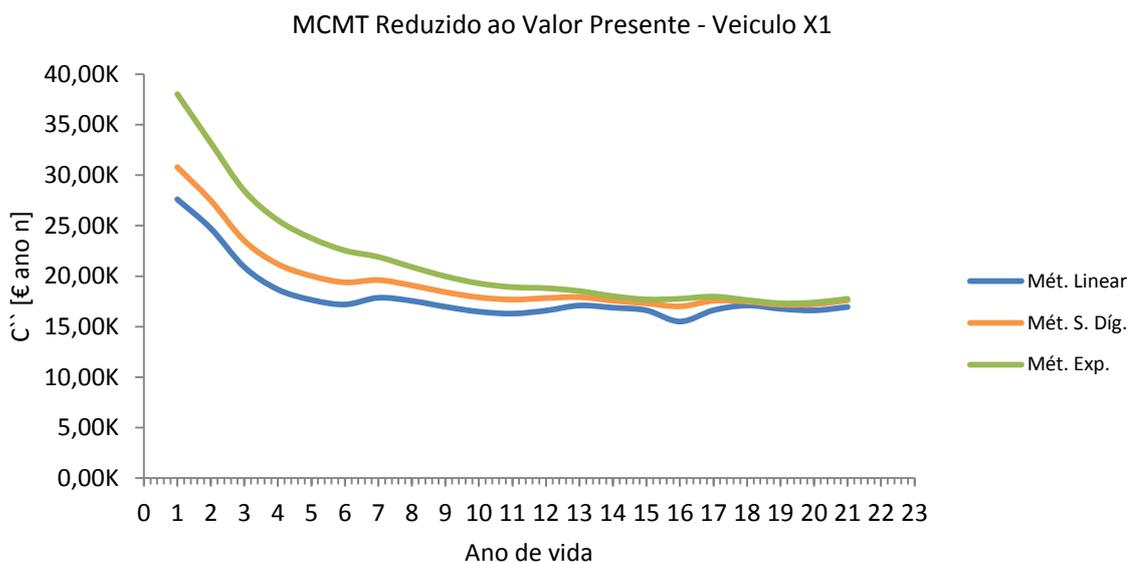


Figura A.25 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X1

Tabela A.40 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X2

Ano j	Veiculo X2					C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]		
	CA [€]	φ[%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
0	110,66K	7%	9%	16%			110,66K								
1		5%	8%	14%	1,14	0,98K	11,68K	11,11K	11,11K	16,89K	20,08K	27,30K	28,00K	31,19K	38,42K
2		4%	8%	13%	1,27	1,01K	11,53K	9,90K	10,51K	14,73K	17,49K	23,21K	25,24K	28,00K	33,72K
3		3%	6%	9%	1,29	1,11K	11,56K	9,86K	10,29K	11,23K	13,84K	18,79K	21,52K	24,13K	29,08K
4		2%	4%	6%	1,28	1,26K	11,77K	10,16K	10,26K	9,14K	11,66K	16,00K	19,40K	21,92K	26,26K
5		3%	3%	5%	1,30	1,48K	12,15K	10,46K	10,30K	8,14K	10,51K	14,25K	18,44K	20,81K	24,55K
6		2%	3%	5%	1,35	1,75K	12,72K	10,73K	10,37K	7,65K	9,85K	13,00K	18,02K	20,22K	23,37K
7		3%	4%	7%	1,61	2,09K	13,45K	9,64K	10,27K	8,42K	10,17K	12,46K	18,69K	20,44K	22,73K
8		4%	3%	7%	1,76	2,48K	14,37K	9,59K	10,18K	8,18K	9,71K	11,53K	18,36K	19,89K	21,71K
9		4%	3%	7%	1,76	2,94K	15,46K	10,43K	10,21K	7,53K	8,98K	10,54K	17,74K	19,19K	20,75K
10		3%	2%	5%	1,71	1,90K	16,51K	10,79K	10,27K	6,87K	8,28K	9,67K	17,13K	18,55K	19,94K
11		2%	2%	5%	1,64	5,52K	18,68K	14,72K	10,67K	6,31K	7,70K	8,93K	16,98K	18,37K	19,60K
12		2%	2%	5%	1,74	5,32K	19,37K	14,17K	10,96K	6,17K	7,40K	8,38K	17,13K	18,36K	19,35K
13		3%	4%	7%	2,42	5,07K	21,69K	11,06K	10,97K	6,60K	7,44K	8,03K	17,58K	18,41K	19,01K
14		2%	5%	7%	2,71	5,71K	20,30K	9,61K	10,87K	6,42K	7,12K	7,56K	17,30K	17,99K	18,44K
15		3%	4%	6%	2,53	14,50K	22,95K	14,80K	11,14K	6,00K	6,69K	7,09K	17,14K	17,83K	18,22K
16		-1%	1%	0%	1,08	7,27K	16,64K	22,23K	11,83K	4,11K	5,61K	6,37K	15,94K	17,44K	18,20K
17		1%	1%	3%	1,58	6,12K	21,25K	17,34K	12,15K	4,85K	5,79K	6,21K	17,01K	17,95K	18,36K
18		4%	3%	7%	3,46	5,34K	25,27K	8,86K	11,97K	5,50K	5,89K	6,04K	17,47K	17,86K	18,01K
19		3%	3%	6%	2,94	4,13K	26,64K	10,48K	11,89K	5,17K	5,58K	5,72K	17,06K	17,47K	17,61K
20		0%	3%	3%	1,76	13,22K	22,91K	20,53K	12,32K	4,60K	5,22K	5,39K	16,93K	17,54K	17,71K
21		0%	2%	2%	1,44	11,56K	21,35K	22,89K	12,83K	4,32K	4,97K	5,12K	17,14K	17,80K	17,95K

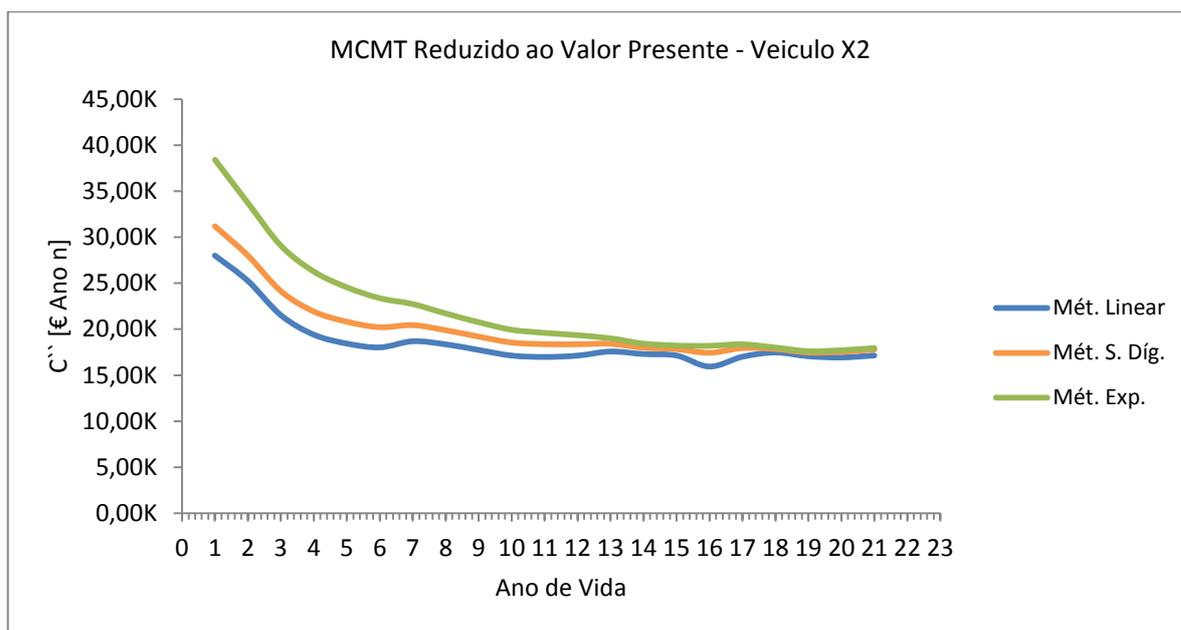


Figura A.26 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X2

Tabela A.41 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro X3

Ano j	Veiculo X3				C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]			
	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	110,66K	7%	9%	16%				110,66K							
1		5%	8%	14%	1,14	0,84K	12,61K	11,82K	11,82K	16,89K	20,08K	27,30K	28,70K	31,89K	39,12K
2		4%	8%	13%	1,27	0,77K	12,40K	10,39K	11,10K	14,73K	17,49K	23,21K	25,84K	28,60K	34,31K
3		3%	6%	9%	1,29	0,79K	12,35K	10,22K	10,81K	11,23K	13,84K	18,79K	22,04K	24,65K	29,60K
4		2%	4%	6%	1,28	0,90K	12,47K	10,42K	10,71K	9,14K	11,66K	16,00K	19,86K	22,37K	26,72K
5		3%	3%	5%	1,30	1,10K	12,77K	10,64K	10,70K	8,14K	10,51K	14,25K	18,84K	21,21K	24,95K
6		2%	3%	5%	1,35	1,39K	13,24K	10,85K	10,73K	7,65K	9,85K	13,00K	18,38K	20,57K	23,72K
7		3%	4%	7%	1,61	1,78K	13,87K	9,70K	10,58K	8,42K	10,17K	12,46K	19,00K	20,75K	23,04K
8		4%	3%	7%	1,76	2,25K	14,68K	9,64K	10,46K	8,18K	9,71K	11,53K	18,64K	20,17K	21,99K
9		4%	3%	7%	1,76	2,81K	15,66K	10,48K	10,46K	7,53K	8,98K	10,54K	18,00K	19,44K	21,01K
10		3%	2%	5%	1,71	3,89K	15,02K	11,08K	10,53K	6,87K	8,28K	9,67K	17,39K	18,81K	20,20K
11		2%	2%	5%	1,64	5,00K	17,08K	13,43K	10,79K	6,31K	7,70K	8,93K	17,10K	18,49K	19,72K
12		2%	2%	5%	1,74	3,77K	20,25K	13,79K	11,04K	6,17K	7,40K	8,38K	17,21K	18,44K	19,42K
13		3%	4%	7%	2,42	7,37K	20,69K	11,61K	11,08K	6,60K	7,44K	8,03K	17,69K	18,52K	19,12K
14		2%	5%	7%	2,71	5,38K	19,33K	9,14K	10,94K	6,42K	7,12K	7,56K	17,37K	18,06K	18,51K
15		3%	4%	6%	2,53	6,82K	26,61K	13,21K	11,09K	6,00K	6,69K	7,09K	17,10K	17,79K	18,18K
16		-1%	1%	0%	1,08	10,83K	16,17K	25,09K	11,97K	4,11K	5,61K	6,37K	16,08K	17,58K	18,34K
17		1%	1%	3%	1,58	3,98K	20,24K	15,35K	12,17K	4,85K	5,79K	6,21K	17,02K	17,96K	18,37K
18		4%	3%	7%	3,46	3,27K	25,64K	8,36K	11,96K	5,50K	5,89K	6,04K	17,45K	17,84K	17,99K
19		3%	3%	6%	2,94	4,88K	25,68K	10,41K	11,88K	5,17K	5,58K	5,72K	17,04K	17,46K	17,59K
20		0%	3%	3%	1,76	10,62K	24,00K	19,67K	12,27K	4,60K	5,22K	5,39K	16,87K	17,48K	17,65K
21		0%	2%	2%	1,44	4,73K	9,04K	9,58K	12,14K	4,32K	4,97K	5,12K	16,45K	17,11K	17,26K

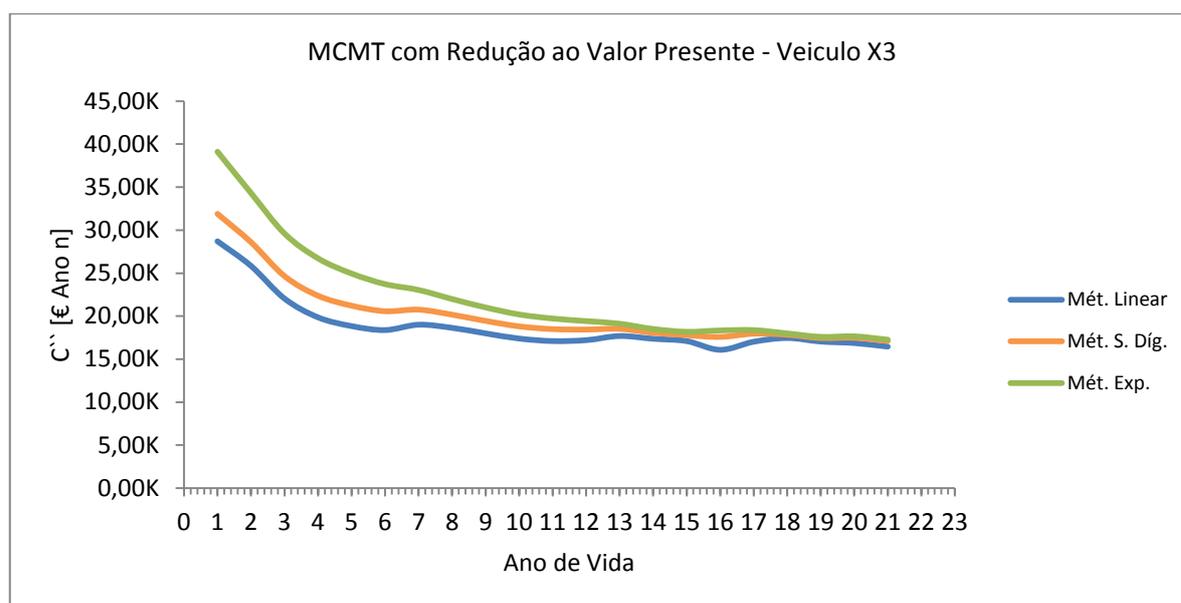


Figura A.27 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro X3

Pode constatar-se, quer pelos quadros (Tabela A.39, A.40, e A.41) quer pelos gráficos (Figuras A.25, A.26, e A.27) que o intervalo de substituição é de 14 anos a 19 anos, correspondendo a um período de 5 anos. É, também, perceptível a similaridade das curvas dos gráficos correspondentes às três viaturas indo, deste modo, ao encontro dos resultados obtidos nos outros métodos utilizados nos pontos anteriores, ainda que os valores obtidos sejam diferentes, bem como os intervalos de substituição. Pode visualizar-se, assim, o cálculo MCMT-RVP para o grupo homogéneo: Marca B, Modelo B e C, composto por dois autocarros de 18 e 16 anos (Tabela A.42 e A.43).

Tabela A.42 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro Y1

Ano j	Veículo Y1					C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _n (MCMT-RVP) [€ Ano]		
	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	120,46K							120,46K							
1		5%	8%	14%	1,14	1,23K	16,96K	15,98K	15,98K	18,39K	21,86K	30,00K	34,37K	37,84K	45,97K
2		4%	8%	13%	1,27	1,53K	17,10K	14,70K	15,34K	16,04K	19,05K	25,48K	31,38K	34,39K	40,82K
3		3%	6%	9%	1,29	1,88K	17,43K	15,02K	15,23K	12,23K	15,08K	20,63K	27,46K	30,31K	35,87K
4		2%	4%	6%	1,28	2,30K	17,93K	15,77K	15,37K	9,96K	12,70K	17,57K	25,32K	28,06K	32,94K
5		3%	3%	5%	1,30	2,79K	18,62K	16,43K	15,58K	8,87K	11,45K	15,65K	24,45K	27,03K	31,22K
6		2%	3%	5%	1,35	3,34K	19,49K	16,93K	15,80K	8,33K	10,73K	14,26K	24,14K	26,53K	30,06K
7		3%	4%	7%	1,61	3,62K	19,95K	14,61K	15,63K	9,17K	11,08K	13,64K	24,81K	26,71K	29,28K
8		4%	3%	7%	1,76	7,12K	22,13K	16,65K	15,76K	8,90K	10,57K	12,61K	24,66K	26,33K	28,37K
9		4%	3%	7%	1,76	5,32K	23,37K	16,27K	15,82K	8,20K	9,78K	11,53K	24,02K	25,60K	27,35K
10		3%	2%	5%	1,71	4,83K	25,30K	17,65K	16,00K	7,48K	9,02K	10,57K	23,48K	25,02K	26,57K
11		2%	2%	5%	1,64	7,10K	26,09K	20,19K	16,38K	6,87K	8,39K	9,76K	23,26K	24,77K	26,14K
12		2%	2%	5%	1,74	6,80K	34,69K	23,81K	17,00K	6,71K	8,06K	9,16K	23,72K	25,06K	26,16K
13		3%	4%	7%	2,42	7,11K	24,26K	12,97K	16,69K	7,19K	8,10K	8,77K	23,88K	24,79K	25,46K
14		2%	5%	7%	2,71	12,33K	27,30K	14,65K	16,55K	6,99K	7,75K	8,25K	23,54K	24,30K	24,80K
15		3%	4%	6%	2,53	8,21K	37,27K	17,97K	16,64K	6,54K	7,29K	7,73K	23,18K	23,93K	24,37K
16		-1%	1%	0%	1,08	7,30K	41,17K	45,04K	18,42K	4,48K	6,11K	6,96K	22,90K	24,53K	25,37K
17		0%	3%	3%	1,62	8,14K	32,82K	25,33K	18,82K	5,33K	6,33K	6,78K	24,15K	25,15K	25,60K
18		0%	2%	2%	1,37	16,84K	34,13K	37,34K	19,85K	4,90K	5,98K	6,40K	24,75K	25,83K	26,25K

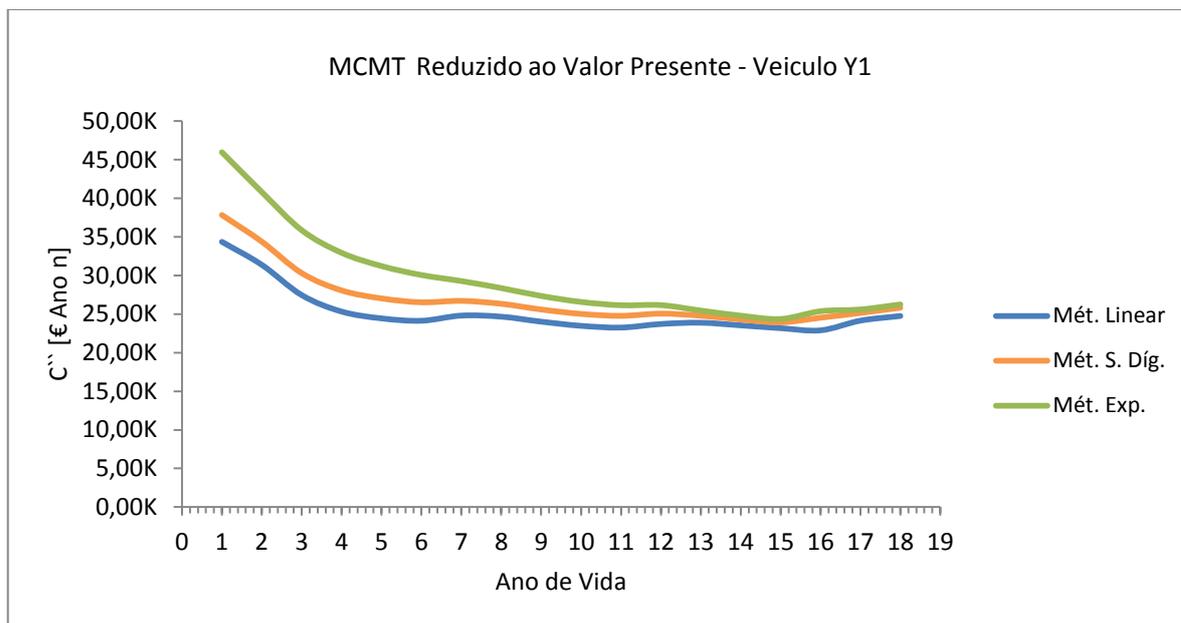


Figura A.28 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro Y1

Tabela A.43 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro Y2

Ano j	Veiculo Y2					C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]		
	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	110,66K							130,01K							
1		3%	6%	9%	1,29	0,84K	11,76K	9,80K	9,80K	32,46K	35,79K	43,79K	42,27K	45,59K	53,59K
2		2%	4%	6%	1,28	0,83K	12,13K	10,10K	9,95K	17,92K	21,13K	28,17K	27,88K	31,08K	38,13K
3		3%	3%	5%	1,30	0,97K	13,11K	10,80K	10,24K	14,59K	16,64K	22,72K	24,83K	26,88K	32,96K
4		2%	3%	5%	1,35	1,25K	14,69K	11,83K	10,63K	11,80K	14,61K	19,76K	22,43K	25,25K	30,39K
5		3%	4%	7%	1,61	5,61K	16,81K	13,90K	11,29K	12,73K	14,98K	18,73K	24,01K	26,27K	30,02K
6		4%	3%	7%	1,76	10,50K	18,72K	16,64K	12,18K	11,94K	13,93K	16,93K	24,12K	26,10K	29,10K
7		4%	3%	7%	1,76	9,12K	24,90K	19,30K	13,20K	10,64K	12,53K	15,12K	23,84K	25,72K	28,31K
8		3%	2%	5%	1,71	9,22K	26,29K	20,81K	14,15K	9,42K	11,27K	13,59K	23,56K	25,42K	27,74K
9		2%	2%	5%	1,64	4,10K	25,47K	17,98K	14,57K	8,45K	10,28K	12,35K	23,02K	24,85K	26,92K
10		2%	2%	5%	1,74	11,55K	32,12K	25,06K	15,62K	8,17K	9,81K	11,48K	23,79K	25,43K	27,11K
11		3%	4%	7%	2,42	7,89K	22,46K	12,55K	15,34K	8,83K	9,94K	10,97K	24,17K	25,28K	26,32K
12		2%	5%	7%	2,71	7,69K	25,59K	12,30K	15,09K	8,53K	9,46K	10,24K	23,62K	24,55K	25,33K
13		3%	4%	6%	2,53	10,85K	31,46K	16,72K	15,21K	7,86K	8,80K	9,50K	23,08K	24,02K	24,72K
14		-1%	1%	0%	1,08	5,62K	37,26K	39,85K	16,97K	4,92K	6,98K	8,36K	21,90K	23,95K	25,33K
15		0%	3%	3%	1,62	17,88K	26,83K	27,66K	17,69K	6,15K	7,42K	8,18K	23,83K	25,10K	25,86K
16		0%	2%	2%	1,37	8,27K	22,57K	22,59K	17,99K	5,54K	6,93K	7,66K	23,53K	24,92K	25,65K

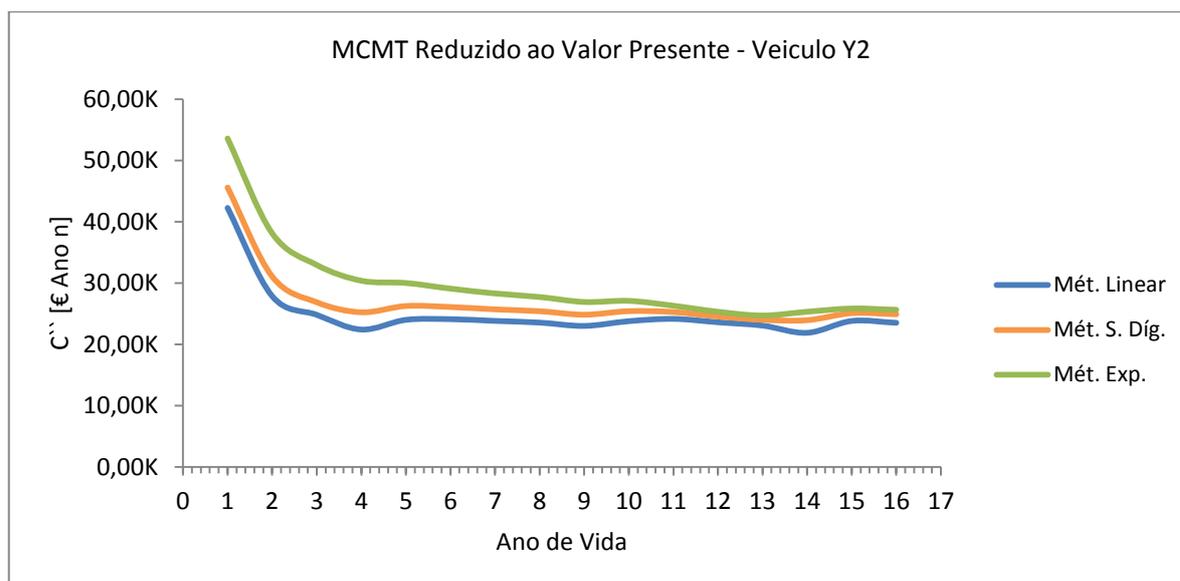


Figura A.29 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro Y2

Através da análise dos gráficos dos autocarros Y1 e Y2 constata-se que as curvas apresentam a mesma tendência. Em relação à viatura Y1 verifica-se que o custo médio total é mínimo no décimo quinto ano (vida económica), com um valor aproximado de 24.00K €/ano. Relativamente ao autocarro Y2 verifica-se que o custo médio total é mínimo no décimo terceiro ano (vida económica), com um valor aproximado de 25.00K €/ano.

Serão apresentados, de seguida, os quadros que exibem os cálculos do MCMT-RVP para os autocarros do grupo homogéneo: Marca A, Modelo D, composto por três viaturas de 12 anos.

Tabela A.44 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XXI

Ano j	Veículo XXI					C_n' [€]				C_n'' [€]			$C_{n(MCMT-RVP)}$ [€ Ano]		
	CA [€]	ϕ [%]	i [%]	i_A [%]	$\pi_1 (1+i_{A,j})$	CM [€]	CO [€]	Σ_1 [€]	Σ_2 [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	110,66K	4%	4%	8%				164,45K							
1		5%	8%	14%	1,14	0,33K	13,81K	12,42K	12,42K	25,12K	29,88K	42,32K	37,54K	42,30K	54,74K
2		4%	8%	13%	1,27	5,45K	15,66K	16,66K	14,54K	21,92K	26,04K	35,82K	36,46K	40,58K	50,36K
3		3%	6%	9%	1,29	6,43K	18,97K	19,75K	16,28K	16,71K	20,61K	29,04K	32,99K	36,89K	45,32K
4		2%	4%	6%	1,28	3,86K	21,12K	19,47K	17,08K	13,61K	17,36K	24,74K	30,69K	34,44K	41,81K
5		3%	3%	5%	1,30	10,92K	25,64K	28,05K	19,27K	12,12K	15,66K	21,98K	31,39K	34,93K	41,25K
6		2%	3%	5%	1,35	13,18K	32,06K	33,56K	21,65K	11,39K	14,67K	19,98K	33,05K	36,32K	41,63K
7		3%	4%	7%	1,61	8,10K	25,42K	20,78K	21,53K	12,54K	14,79K	18,99K	34,06K	36,31K	40,52K
8		4%	3%	7%	1,76	10,02K	26,09K	20,56K	21,41K	12,16K	14,09K	17,50K	33,57K	35,50K	38,91K
9		4%	3%	7%	1,76	6,84K	33,55K	22,91K	21,57K	11,21K	13,37K	15,98K	32,78K	34,95K	37,56K
10		3%	2%	5%	1,71	8,51K	33,11K	24,39K	21,86K	10,22K	12,34K	14,65K	32,08K	34,19K	36,50K
11		0%	3%	3%	1,36	14,83K	25,98K	29,91K	22,59K	8,26K	10,76K	13,22K	30,85K	33,35K	35,81K
12		0%	2%	2%	1,23	3,93K	3,42K	5,97K	21,20K	7,30K	9,91K	12,22K	28,50K	31,11K	33,42K

Tabela A.45 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XX2

Ano j	Veiculo XX2				C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]			
	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
0	110,66K	4%	4%	8%				164,45K							
1		5%	8%	14%	1,14	0,35K	16,56K	14,85K	14,85K	25,12K	29,88K	42,32K	39,97K	44,73K	57,17K
2		4%	8%	13%	1,27	3,34K	15,95K	15,22K	15,04K	21,92K	26,04K	35,82K	36,95K	41,07K	50,86K
3		3%	6%	9%	1,29	2,12K	19,09K	16,50K	15,53K	16,71K	20,61K	29,04K	32,23K	36,14K	44,57K
4		2%	4%	6%	1,28	6,30K	22,70K	22,60K	17,29K	13,61K	17,36K	24,74K	30,90K	34,66K	42,03K
5		3%	3%	5%	1,30	12,94K	25,21K	29,27K	19,69K	12,12K	15,66K	21,98K	31,81K	35,35K	41,67K
6		2%	3%	5%	1,35	16,91K	31,07K	35,60K	22,34K	11,39K	14,67K	19,98K	33,73K	37,01K	42,32K
7		3%	4%	7%	1,61	5,47K	24,74K	18,74K	21,82K	12,54K	14,79K	18,99K	34,36K	36,61K	40,82K
8		4%	3%	7%	1,76	7,82K	25,81K	19,15K	21,49K	12,16K	14,09K	17,50K	33,65K	35,58K	38,99K
9		4%	3%	7%	1,76	8,97K	32,50K	23,53K	21,72K	11,21K	13,37K	15,98K	32,92K	35,09K	37,70K
10		3%	2%	5%	1,71	12,98K	28,61K	24,37K	21,98K	10,22K	12,34K	14,65K	32,20K	34,32K	36,63K
11		0%	3%	3%	1,36	10,70K	28,01K	28,37K	22,56K	8,26K	10,76K	13,22K	30,82K	33,32K	35,78K
12		0%	2%	2%	1,23	2,75K	0,99K	3,04K	20,93K	7,30K	9,91K	12,22K	28,23K	30,84K	33,15K

Tabela A.46 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro XX3

Ano j	Veiculo XX3				C _n ' [€]				C _n '' [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]			
	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Dig.	Mét. Exp.
0	110,66K	4%	4%	8%				164,45K							
1		5%	8%	14%	1,14	0,88K	16,29K	15,08K	15,08K	25,12K	29,88K	42,32K	40,20K	44,96K	57,40K
2		4%	8%	13%	1,27	3,69K	14,56K	14,40K	14,74K	21,92K	26,04K	35,82K	36,66K	40,78K	50,56K
3		3%	6%	9%	1,29	5,07K	20,15K	19,62K	16,37K	16,71K	20,61K	29,04K	33,08K	36,98K	45,41K
4		2%	4%	6%	1,28	4,29K	23,82K	21,90K	17,75K	13,61K	17,36K	24,74K	31,36K	35,11K	42,49K
5		3%	3%	5%	1,30	10,16K	25,53K	27,38K	19,68K	12,12K	15,66K	21,98K	31,80K	35,34K	41,66K
6		2%	3%	5%	1,35	10,81K	30,92K	30,96K	21,56K	11,39K	14,67K	19,98K	32,95K	36,23K	41,53K
7		3%	4%	7%	1,61	10,15K	24,92K	21,75K	21,58K	12,54K	14,79K	18,99K	34,12K	36,37K	40,58K
8		4%	3%	7%	1,76	7,44K	27,93K	20,14K	21,40K	12,16K	14,09K	17,50K	33,57K	35,49K	38,90K
9		4%	3%	7%	1,76	11,04K	30,69K	23,67K	21,66K	11,21K	13,37K	15,98K	32,86K	35,03K	37,64K
10		3%	2%	5%	1,71	3,44K	33,00K	21,36K	21,63K	10,22K	12,34K	14,65K	31,84K	33,96K	36,27K
11		0%	3%	3%	1,36	10,00K	20,00K	21,98K	21,66K	8,26K	10,76K	13,22K	29,92K	32,42K	34,88K
12		0%	2%	2%	1,23	11,00K	21,00K	26,00K	22,02K	7,30K	9,91K	12,22K	29,32K	31,93K	34,24K

As figuras A.30, A.31 e A.32 apresentam as curvas da evolução do custo médio total com redução ao valor presente dos autocarros XX1, XX2 e XX3, respectivamente.

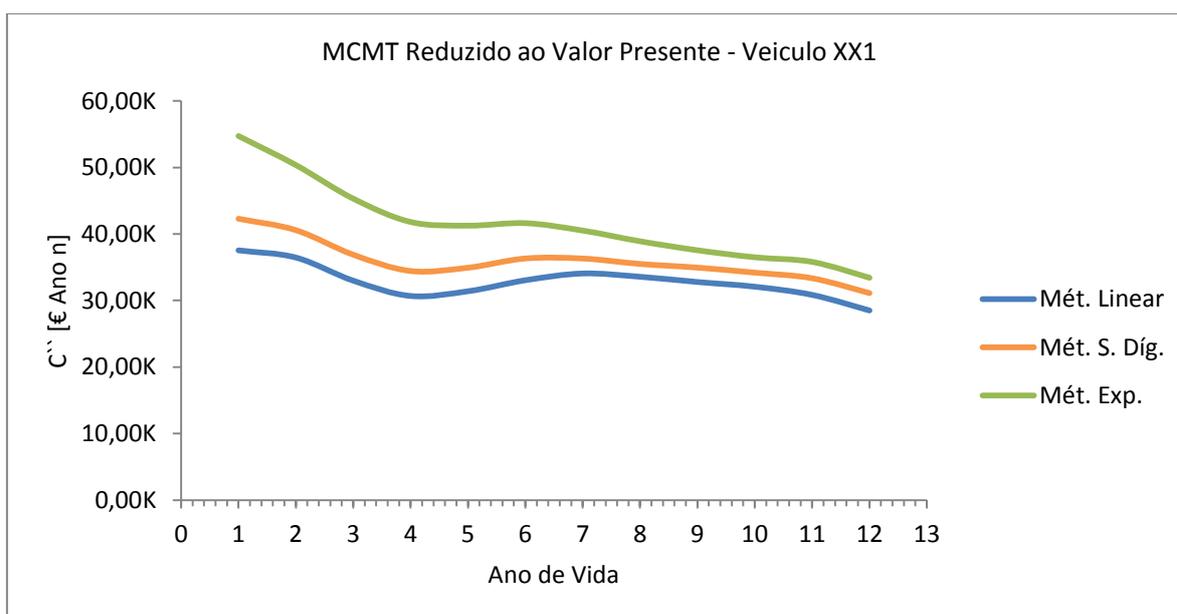


Figura A.30 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XXI

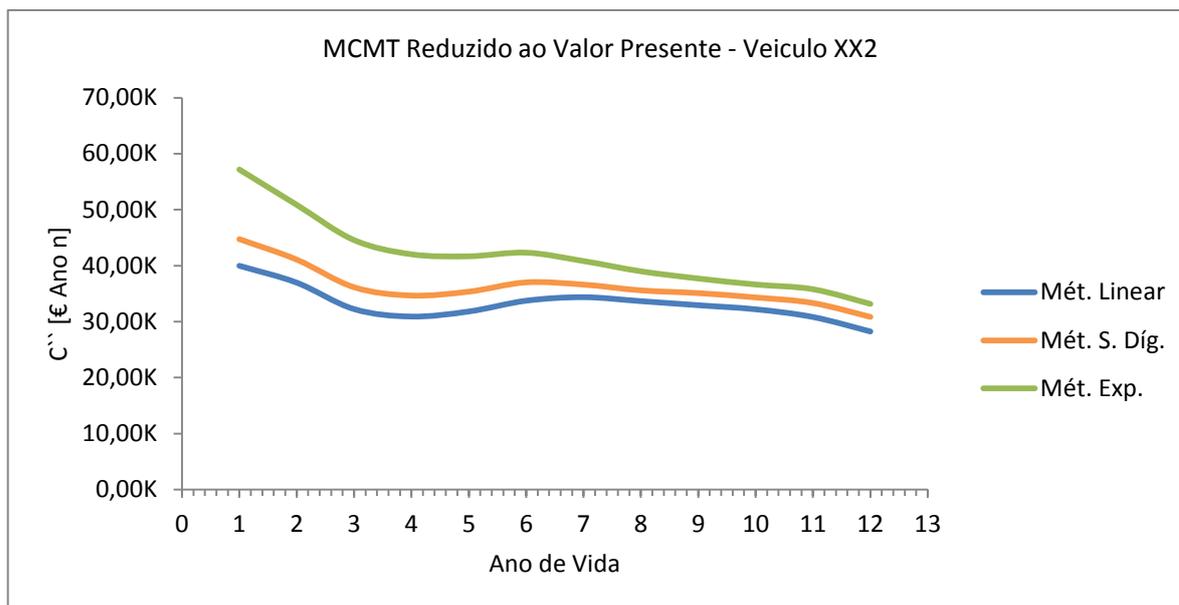


Figura A.31 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XX2

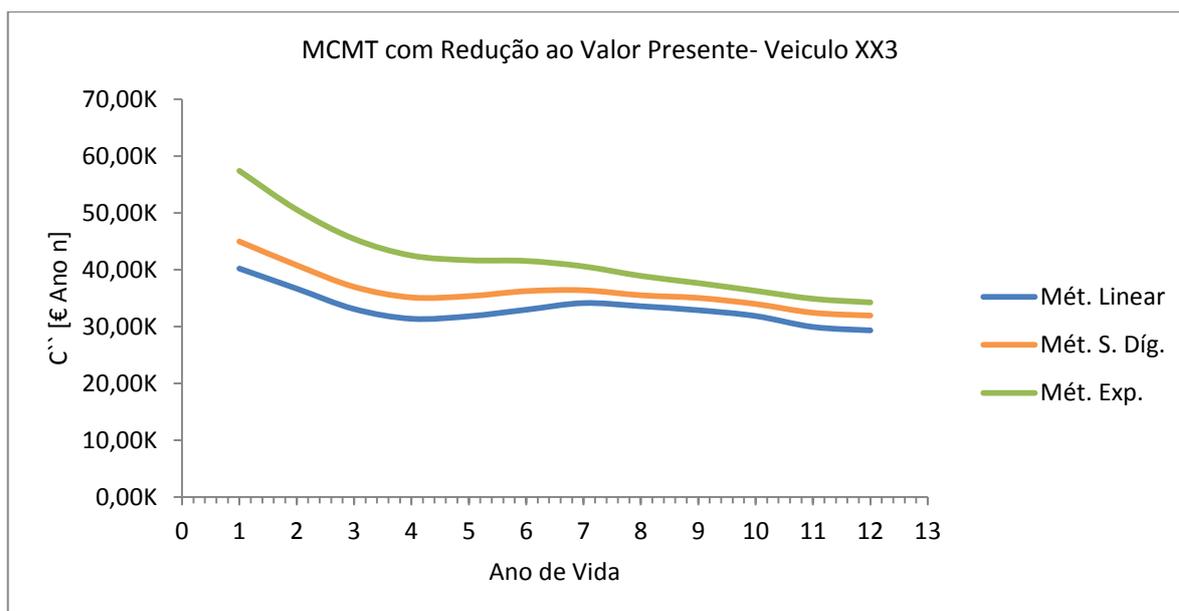


Figura A.32 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro XX3

Devido ao período reduzido em análise, motivado pela idade dos veículos (12 anos), não é possível vislumbrar um ponto de substituição dos autocarros XX1, XX2 e XX3, não se verificando um custo mínimo de inversão, ou seja, as curvas ainda demonstram uma tendência decrescente.

As tabelas e os gráficos seguintes apresentam os cálculos Minimização do Custo Médio Total com redução ao valor presente para o grupo homogêneo: Marca B, Modelo E, composto por três viaturas de 11 anos, designados por YY1 e YY2.

Tabela A.47 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro YY1

Veiculo YY1					C _{n'} [€]				C _{n''} [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]				
Ano j	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	π ₂ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	159,52K								159,52K							
1		4%	8%	13%	1,27	0,00	1,25K	17,05K	14,44K	14,44K	38,06K	42,21K	52,94K	52,51K	56,65K	67,38K
2		3%	6%	9%	1,29	1,09	1,34K	26,48K	21,64K	18,04K	22,11K	26,05K	35,31K	40,16K	44,09K	53,35K
3		2%	4%	6%	1,28	1,16	2,73K	28,00K	23,94K	20,01K	16,13K	19,93K	28,04K	36,14K	39,93K	48,05K
4		3%	3%	5%	1,30	1,22	4,74K	22,53K	20,93K	20,24K	13,61K	17,20K	24,17K	33,85K	37,43K	44,41K
5		2%	3%	5%	1,35	1,28	4,79K	25,04K	22,12K	20,61K	12,42K	15,74K	21,62K	33,04K	36,36K	42,23K
6		3%	4%	7%	1,61	1,37	3,22K	18,23K	13,30K	19,40K	13,60K	16,26K	20,52K	33,00K	35,65K	39,92K
7		4%	3%	7%	1,76	1,47	3,46K	20,56K	13,68K	18,58K	13,03K	15,35K	18,75K	31,60K	33,93K	37,33K
8		4%	3%	7%	1,76	1,57	7,15K	24,17K	17,77K	18,48K	11,83K	14,04K	16,96K	30,31K	32,51K	35,43K
9		3%	2%	5%	1,71	1,66	10,60K	23,25K	19,83K	18,63K	10,65K	12,81K	15,41K	29,27K	31,44K	34,03K
10		0%	3%	3%	1,36	1,70	6,80K	25,55K	23,71K	19,14K	8,40K	10,96K	13,74K	27,53K	30,10K	32,88K
11		0%	2%	2%	1,23	1,73	6,58K	25,12K	25,76K	19,74K	7,30K	9,99K	12,62K	27,04K	29,73K	32,36K

Tabela A.48 – MCMT Reduzido ao Valor Presente - Autocarro YY2

Veiculo YY2					C _{n'} [€]				C _{n''} [€]			C _{n(MCMT-RVP)} [€ Ano]				
Ano j	CA [€]	φ [%]	i [%]	i _A [%]	π ₁ (1+i _{A,j})	π ₂ (1+i _{A,j})	CM [€]	CO [€]	Σ ₁ [€]	Σ ₂ [€]	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.	Mét. Linear	Mét. S. Díg.	Mét. Exp.
0	159,52K								159,52K							
1		4%	8%	13%	1,27	0,00	0,36K	16,03K	12,93K	12,93K	38,06K	42,21K	52,94K	51,00K	55,14K	65,87K
2		3%	6%	9%	1,29	1,09	1,71K	26,01K	21,56K	17,25K	22,11K	26,05K	35,31K	39,36K	43,29K	52,55K
3		2%	4%	6%	1,28	1,16	2,33K	28,10K	23,72K	19,40K	16,13K	19,93K	28,04K	35,54K	39,33K	47,44K
4		3%	3%	5%	1,30	1,22	4,95K	21,57K	20,34K	19,64K	13,61K	17,20K	24,17K	33,25K	36,83K	43,81K
5		2%	3%	5%	1,35	1,28	8,31K	24,69K	24,48K	20,61K	12,42K	15,74K	21,62K	33,03K	36,35K	42,22K
6		3%	4%	7%	1,61	1,37	8,08K	18,12K	16,24K	19,88K	13,60K	16,26K	20,52K	33,48K	36,13K	40,40K
7		4%	3%	7%	1,76	1,47	8,42K	20,33K	16,37K	19,38K	13,03K	15,35K	18,75K	32,40K	34,73K	38,12K
8		4%	3%	7%	1,76	1,57	5,91K	24,72K	17,38K	19,13K	11,83K	14,04K	16,96K	30,96K	33,16K	36,09K
9		3%	2%	5%	1,71	1,66	8,36K	25,28K	19,71K	19,19K	10,65K	12,81K	15,41K	29,84K	32,00K	34,60K
10		0%	3%	3%	1,36	1,70	6,09K	27,58K	24,67K	19,74K	8,40K	10,96K	13,74K	28,14K	30,71K	33,48K
11		0%	2%	2%	1,23	1,73	11,48K	22,78K	27,85K	20,48K	7,30K	9,99K	12,62K	27,78K	30,47K	33,09K

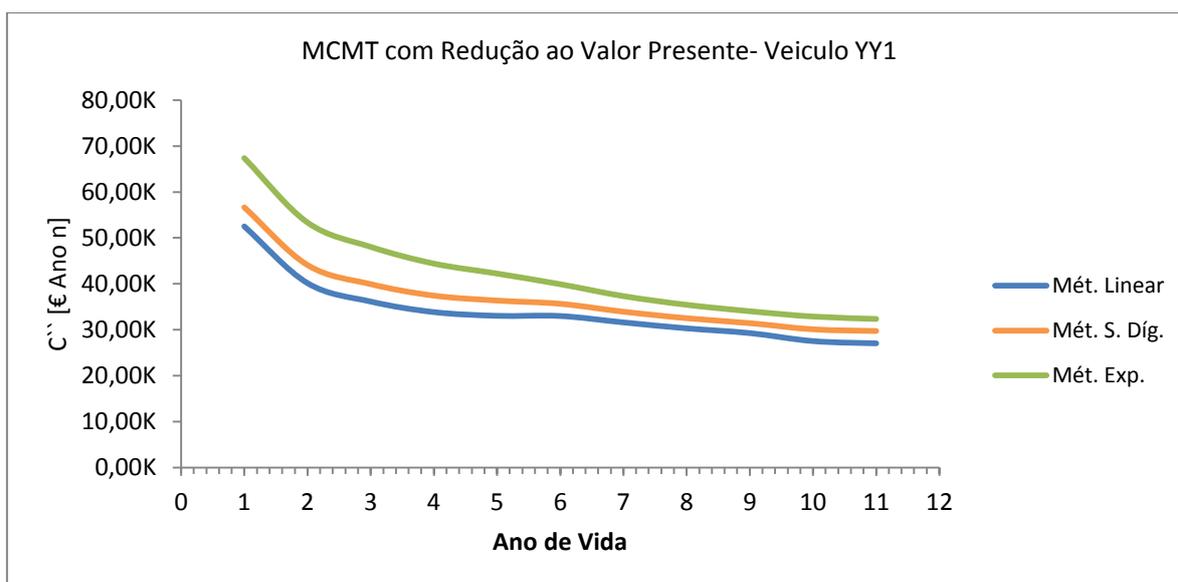


Figura A.33 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro YY1

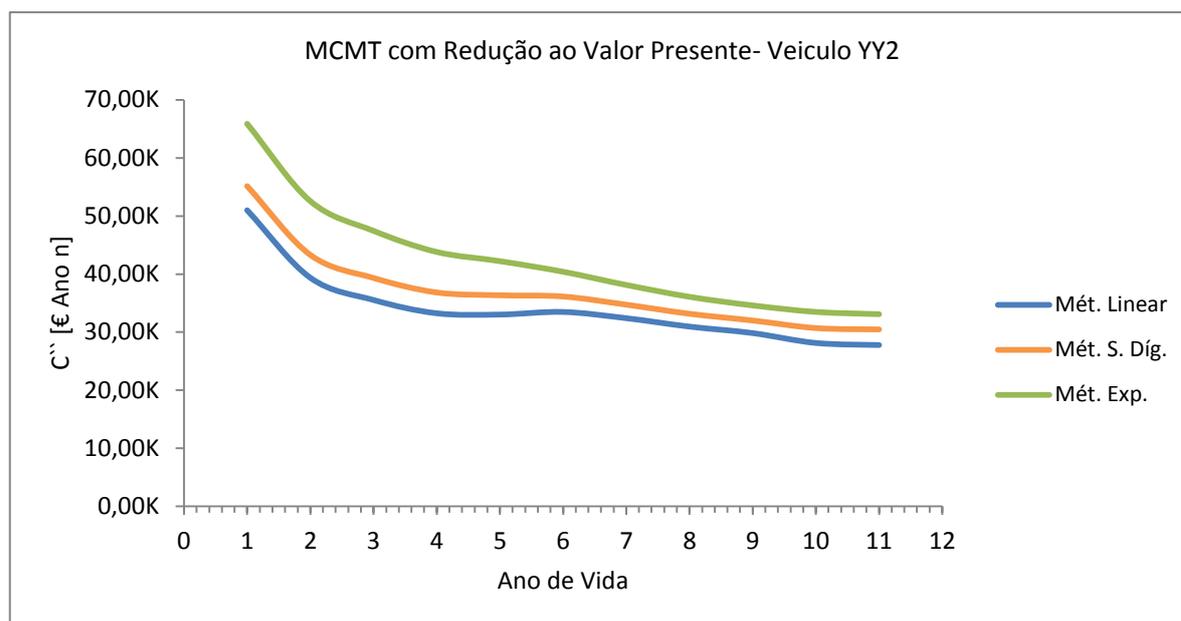


Figura A.34 – Gráfico MCMT Redução ao Valor Presente – Autocarro YY2

Segundo a análise das figuras A.33 e A.34 verifica-se, novamente, que as curvas dos autocarros YY1 e YY2 apresentam o mesmo comportamento, como já se tinha constatado no método MCMT anteriormente estudado, continuando a não se conseguir apontar um ponto de viragem.

Os cálculos anteriores mostram uma discrepância no período de substituição que poderão, numa primeira análise, fazer vacilar o agente decisor. Esta divergência pode explicar-se a partir da observação dos gráficos, pois verifica-se uma variação no ponto mínimo. Quando visto conjuntamente com os respectivos valores, constata-se que, nos três métodos, as diferenças ainda são relevantes, nomeadamente por não existir um intervalo de substituição comum nos métodos estudados.

Em relação ao segundo método, atendendo a que não entra em consideração com as taxas de inflação e de capitalização, será de ter alguma prudência em relação ao seu resultado, nomeadamente quando se estiver em presença de uma economia inflacionista.

O facto de os resultados poderem apontar para um período médio de substituição entre os 10 e os 19 anos, propõe-se que o intervalo de decisão seja o menor e, se possível, deve apontar para um ponto inequívoco de substituição, que não faça vacilar o decisor.

Finalmente, após a realização da validação destes métodos numa empresa de transportes urbanos, e tendo chegado às conclusões acima referidas, pode afirmar-se que estes métodos

cumprem a sua função, permitindo o acompanhamento do ciclo de vida dos autocarros, dando informações preciosas aos gestores desses equipamentos e auxiliando na decisão. Este estudo permitiu validar os modelos de uma forma mais profunda, por análise em paralelo dos três modelos conceptuais, o que permitiu avaliá-los na realidade empresarial dos transportes.

A.6. Aplicação do Método de “Vida Útil”

A “Vida Útil” de um equipamento termina quando os custos de manutenção ultrapassam a soma dos custos de manutenção com os de desvalorização do equipamento.

Para a aplicação do método de “Vida útil” utilizam-se dados históricos de um grupo de viaturas. Estes foram agrupados por grupos homogéneos num período compreendido ente 1993 a 2014. Foram estudadas viaturas com 21, 18, 16, 12 e 11 anos, as mesmas que foram estudadas nos métodos económicos, nos pontos anteriores.

De seguida, pode verificar-se no gráfico da Figura A.35, os custos de manutenção, operação e a soma dos dois custos do veículo X1, ainda que só se utilizem os custos de manutenção para a determinação do momento de substituição do veículo.

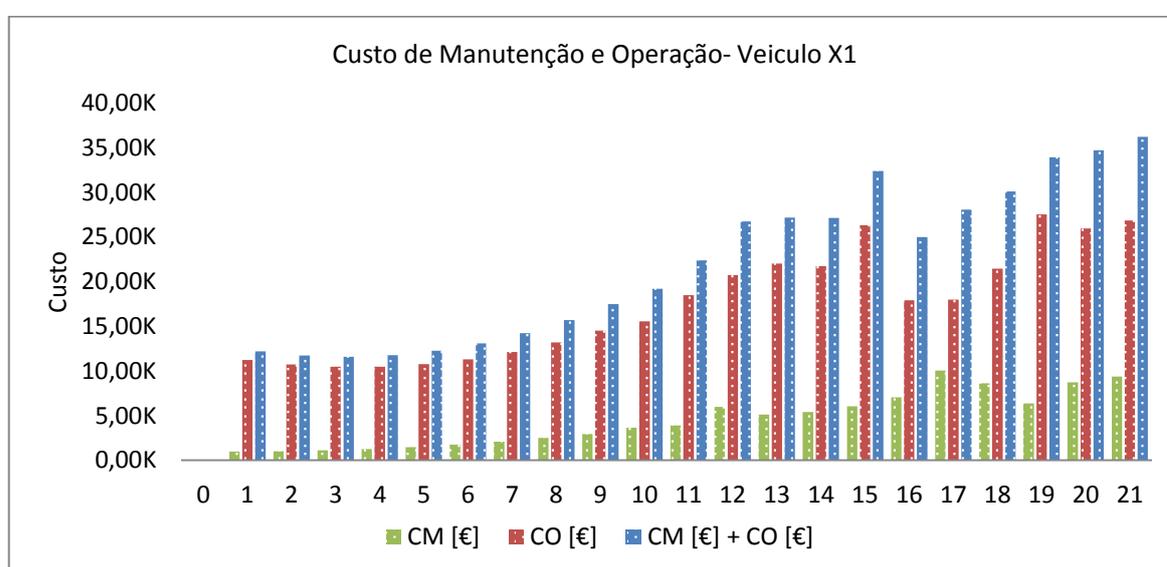


Figura A.35 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X1

A tabela A.49 apresenta os dados utilizados para o cálculo da “Vida Útil” do autocarro X1, Marca A, Modelo A, com 21 anos.

Tabela A.49 – Método de Vida Útil - Autocarro X1

Veículo X1							
Ano	Custo Aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização RVP	Dev.+Manut. RVP	Manut. Acum. RVP
0	110,66K	110,66K	110,66K	0,00K	110,66K	110,66K	
1	111,21K	105,63K	106,61K	0,98K	92,78K	93,64K	0,86K
2	111,77K	100,60K	101,62K	2,00K	79,40K	80,21K	1,58K
3	112,33K	95,57K	96,68K	3,11K	74,33K	75,20K	2,42K
4	112,89K	90,54K	91,81K	4,39K	70,55K	71,55K	3,42K
5	113,45K	85,51K	87,00K	5,88K	65,61K	66,75K	4,51K
6	114,02K	80,48K	82,25K	7,65K	59,70K	61,01K	5,67K
7	114,59K	75,45K	77,55K	9,75K	46,78K	48,09K	6,05K
8	115,16K	70,42K	72,92K	12,25K	40,10K	41,52K	6,98K
9	115,74K	65,39K	68,34K	15,20K	37,10K	38,77K	8,63K
10	116,32K	60,36K	64,00K	18,85K	35,37K	37,50K	11,04K
11	116,90K	55,33K	59,24K	22,75K	33,66K	36,04K	13,84K
12	117,48K	50,30K	56,27K	28,72K	28,87K	32,30K	16,49K
13	118,07K	45,27K	50,40K	33,86K	18,72K	20,84K	14,00K
14	118,66K	40,24K	45,64K	39,26K	14,87K	16,87K	14,51K
15	119,25K	35,21K	41,27K	45,32K	13,91K	16,31K	17,91K
16	119,85K	30,18K	37,23K	52,37K	28,05K	34,60K	48,67K
17	120,45K	25,15K	35,21K	62,43K	15,94K	22,32K	39,57K
18	121,05K	20,12K	28,73K	71,04K	5,82K	8,31K	20,56K
19	121,66K	15,09K	21,47K	77,42K	5,14K	7,31K	26,37K
20	122,27K	10,06K	18,78K	86,14K	5,72K	10,67K	48,94K
21	122,88K	5,03K	14,39K	95,50K	3,50K	10,01K	66,42K

Nesta tabela estão representados os custos de aquisição, desvalorização e manutenção do equipamento, bem como os custos de desvalorização e manutenção, Reduzidos ao Valor Presente (RVP). De seguida, apresentam-se os gráficos de análise da vida útil do autocarro X1, o primeiro sem redução ao valor presente dos seus custos, o segundo já com essa redução.

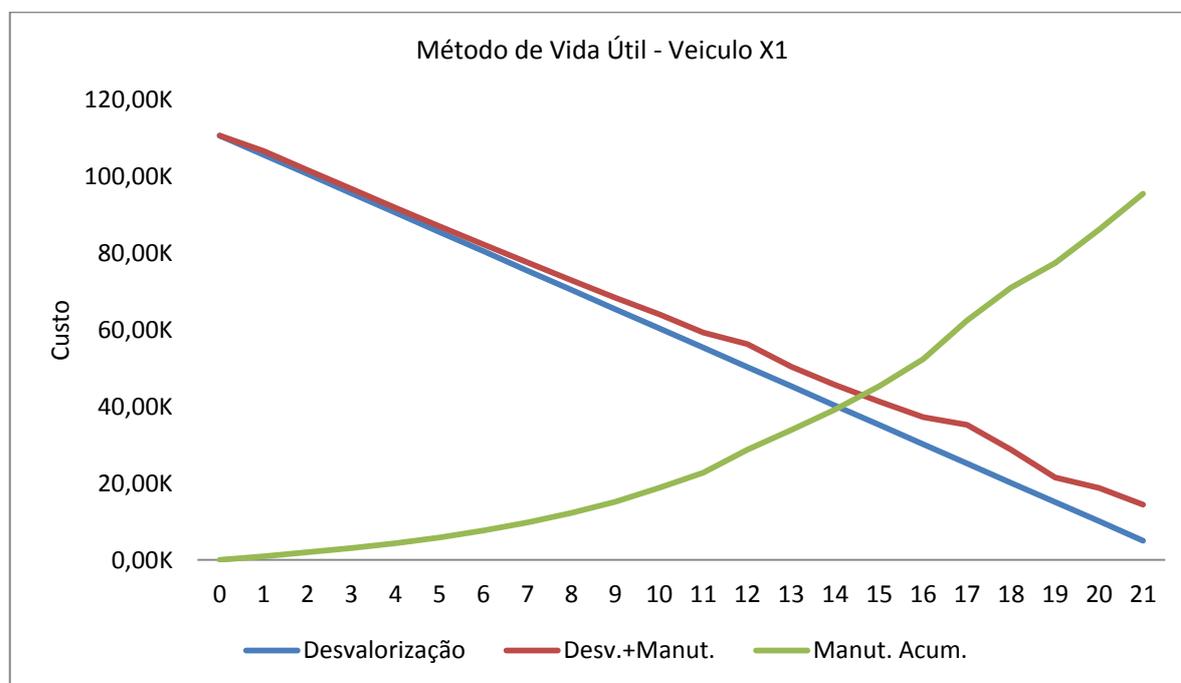


Figura A.36 – Método de Vida Útil – Autocarro X1

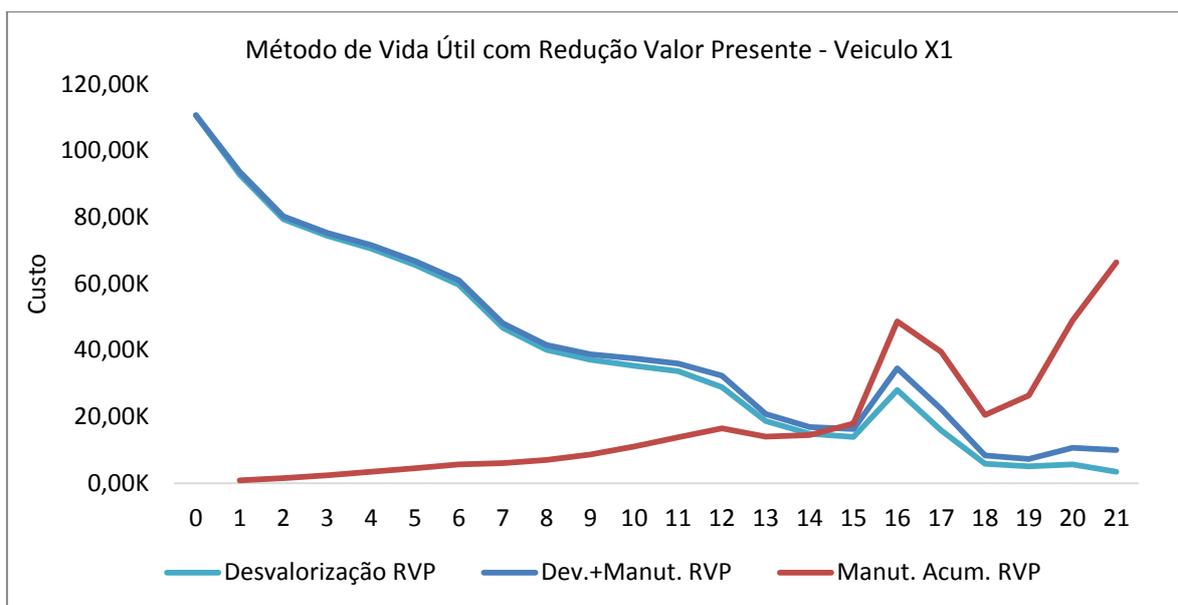


Figura A.37 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X1

Através da análise dos dados precedentes, pode verificar-se que a vida útil do autocarro em questão seria de 15 anos, tanto no gráfico da Figura A.36, como no gráfico da Figura A.37, que tem em consideração a redução dos valores ao valor presente. Podemos também concluir que esta análise da vida útil dos autocarros facilita a decisão do gestor.

Seguidamente, trata-se o cálculo da vida útil para as Viaturas X2 e X3, pertencentes ao mesmo grupo homogêneo: Marca A, Modelo A, com uma idade de 21 anos (Figura A.38 a A.43 e Tabelas A.50 e A.51).

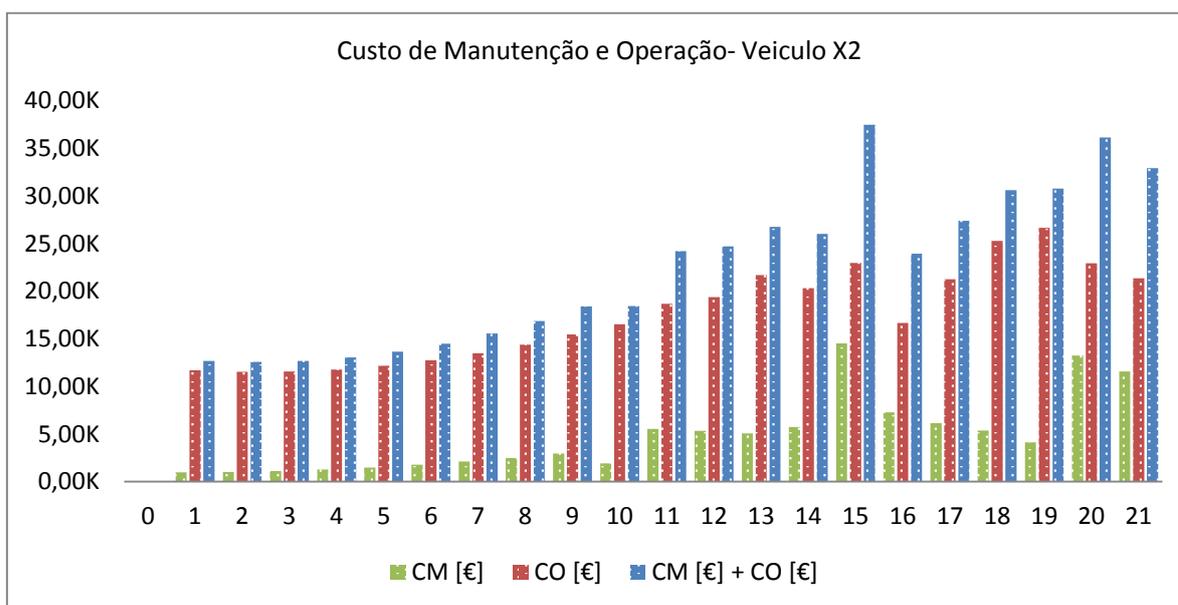


Figura A.38 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X2

Tabela A.50 – Método de Vida Útil - Autocarro X2

Veículo X2							
Ano	Custo Aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização RVP	Dev.+Manut. RVP	Manut. Acum. RVP
0	110,66K	110,66K	110,66K	0,00K	110,66K	110,66K	0,00K
1	111,21K	105,63K	106,61K	0,98K	92,78K	93,63K	0,86K
2	111,77K	100,60K	101,61K	1,99K	79,40K	80,20K	1,57K
3	112,33K	95,57K	96,68K	3,10K	74,33K	75,19K	2,41K
4	112,89K	90,54K	91,80K	4,36K	70,55K	71,54K	3,40K
5	113,45K	85,51K	86,99K	5,84K	65,61K	66,74K	4,48K
6	114,02K	80,48K	82,23K	7,60K	59,70K	61,00K	5,64K
7	114,59K	75,45K	77,54K	9,69K	46,78K	48,08K	6,01K
8	115,16K	70,42K	72,90K	12,17K	40,10K	41,51K	6,93K
9	115,74K	65,39K	68,32K	15,10K	37,10K	38,76K	8,57K
10	116,32K	60,36K	62,26K	17,01K	35,37K	36,48K	9,97K
11	116,90K	55,33K	60,85K	22,52K	33,66K	37,01K	13,70K
12	117,48K	50,30K	55,62K	27,84K	28,87K	31,92K	15,98K
13	118,07K	45,27K	50,34K	32,91K	18,72K	20,82K	13,61K
14	118,66K	40,24K	45,95K	38,62K	14,87K	16,98K	14,27K
15	119,25K	35,21K	49,71K	53,12K	13,91K	19,64K	20,99K
16	119,85K	30,18K	37,45K	60,39K	28,05K	34,81K	56,12K
17	120,45K	25,15K	31,27K	66,51K	15,94K	19,82K	42,16K
18	121,05K	20,12K	25,46K	71,85K	5,82K	7,37K	20,79K
19	121,66K	15,09K	19,22K	75,98K	5,14K	6,54K	25,88K
20	122,27K	10,06K	23,28K	89,19K	5,72K	13,23K	50,68K
21	122,88K	5,03K	16,59K	100,75K	3,50K	11,54K	70,07K

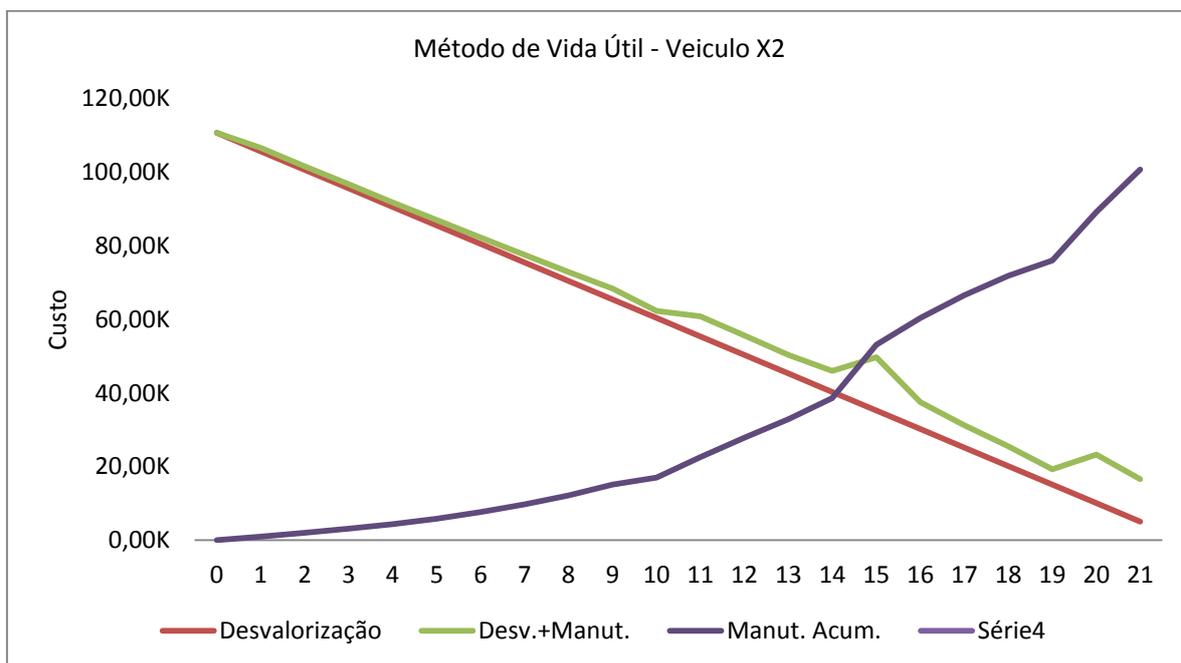


Figura A.39 – Método de Vida Útil – Autocarro X2

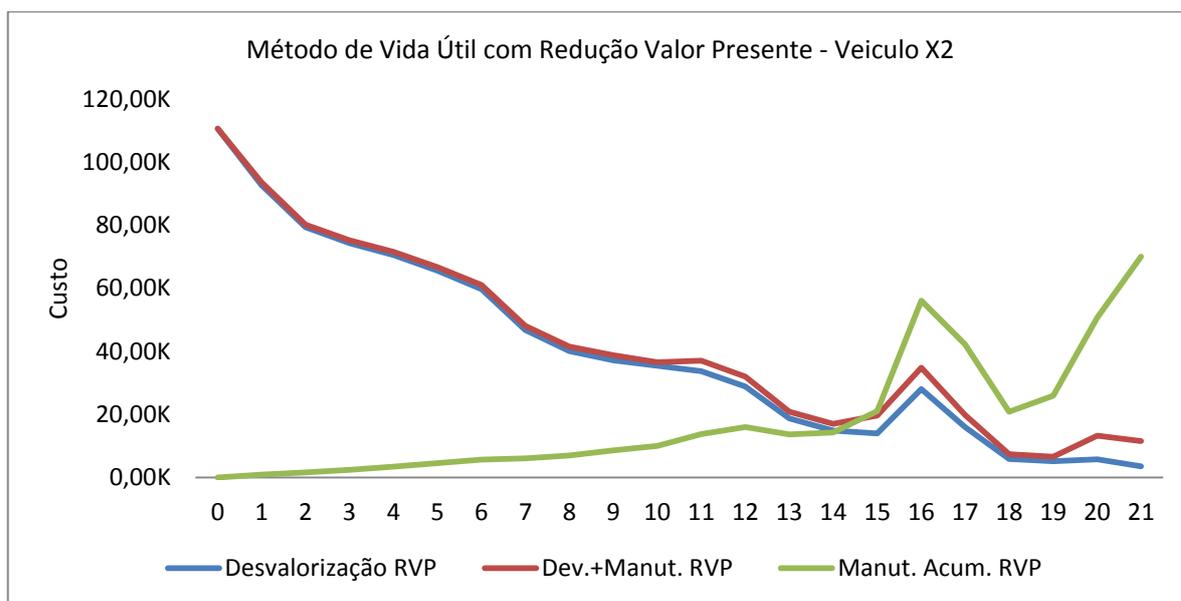


Figura A.40 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X2

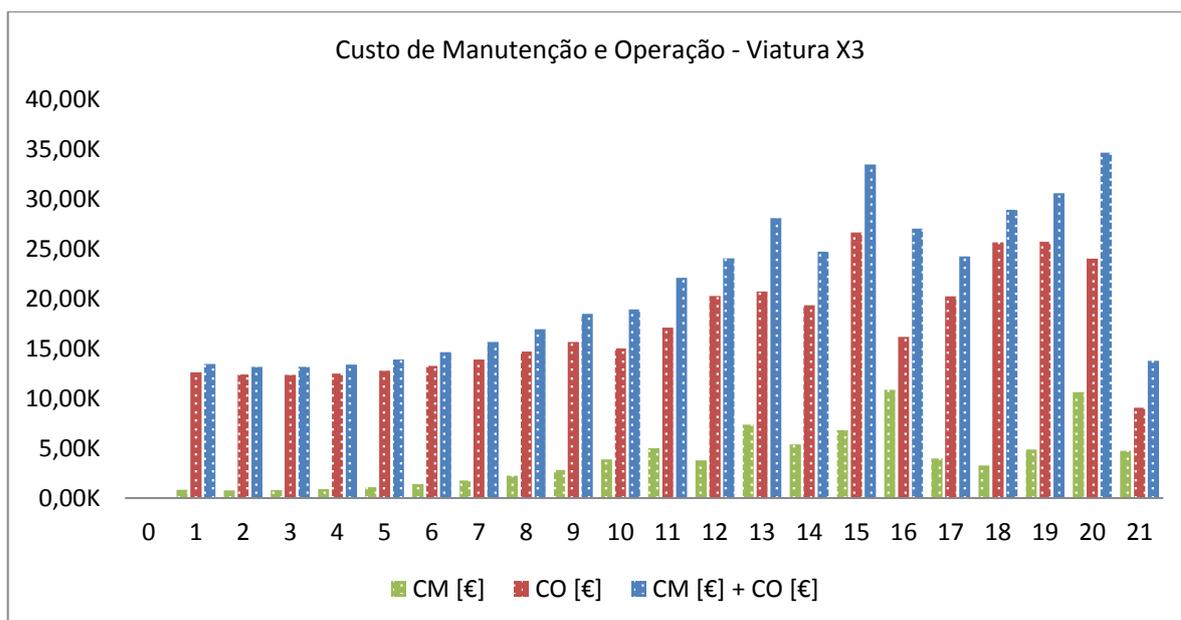


Figura A.41 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro X3

Tabela A.51 – Método de Vida Útil - Autocarro X3

Veículo X3							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização RVP	Desv.+Manut. RVP	Manut. Acum. RVP
0	110,66K	110,66K	110,66K	0,00K	110,66K	110,66K	0,00K
1	111,21K	105,63K	106,47K	0,84K	92,78K	93,51K	0,74K
2	111,77K	100,60K	101,37K	1,61K	79,40K	80,01K	1,27K
3	112,33K	95,57K	96,36K	2,40K	74,33K	74,94K	1,87K
4	112,89K	90,54K	91,44K	3,30K	70,55K	71,26K	2,57K
5	113,45K	85,51K	86,61K	4,41K	65,61K	66,45K	3,38K
6	114,02K	80,48K	81,87K	5,80K	59,70K	60,74K	4,30K
7	114,59K	75,45K	77,22K	7,58K	46,78K	47,88K	4,70K
8	115,16K	70,42K	72,67K	9,83K	40,10K	41,38K	5,60K
9	115,74K	65,39K	68,20K	12,64K	37,10K	38,69K	7,17K
10	116,32K	60,36K	64,25K	16,52K	35,37K	37,64K	9,68K
11	116,90K	55,33K	60,33K	21,52K	33,66K	36,70K	13,09K
12	117,48K	50,30K	54,07K	25,29K	28,87K	31,04K	14,52K
13	118,07K	45,27K	52,64K	32,66K	18,72K	21,77K	13,51K
14	118,66K	40,24K	45,62K	38,04K	14,87K	16,86K	14,06K
15	119,25K	35,21K	42,02K	44,86K	13,91K	16,61K	17,73K
16	119,85K	30,18K	41,01K	55,69K	28,05K	38,11K	51,76K
17	120,45K	25,15K	29,13K	59,67K	15,94K	18,46K	37,82K
18	121,05K	20,12K	23,39K	62,94K	5,82K	6,77K	18,21K
19	121,66K	15,09K	19,97K	67,81K	5,14K	6,80K	23,10K
20	122,27K	10,06K	20,68K	78,44K	5,72K	11,75K	44,57K
21	122,88K	5,03K	9,76K	83,17K	3,50K	6,79K	57,84K

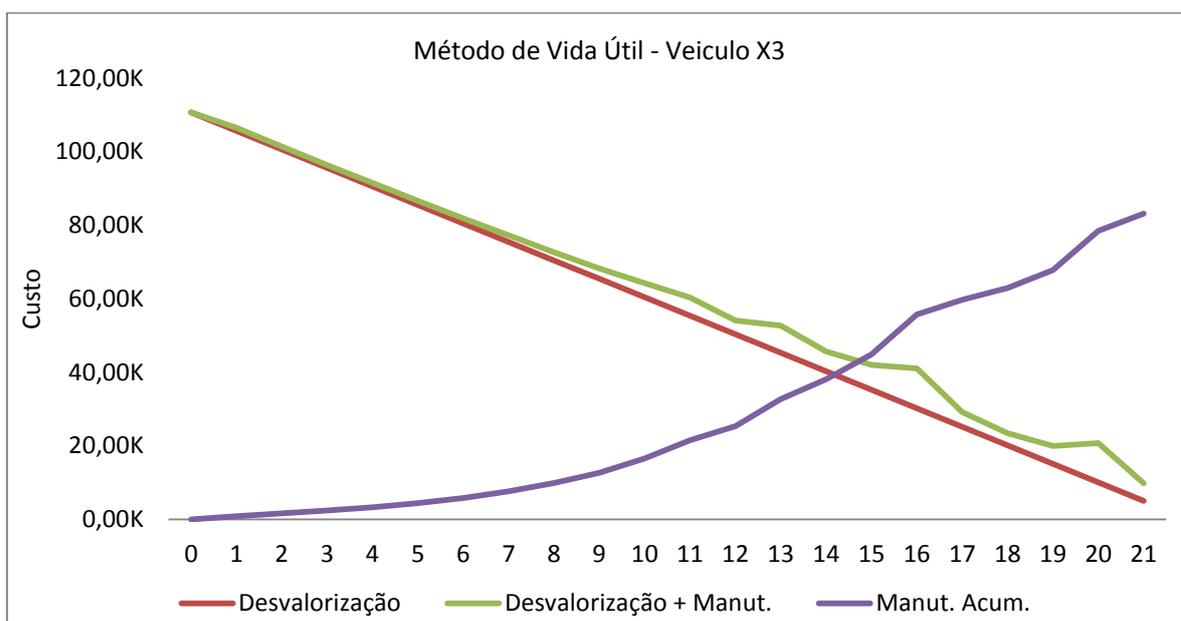


Figura A.42 – Método de Vida Útil – Autocarro X3

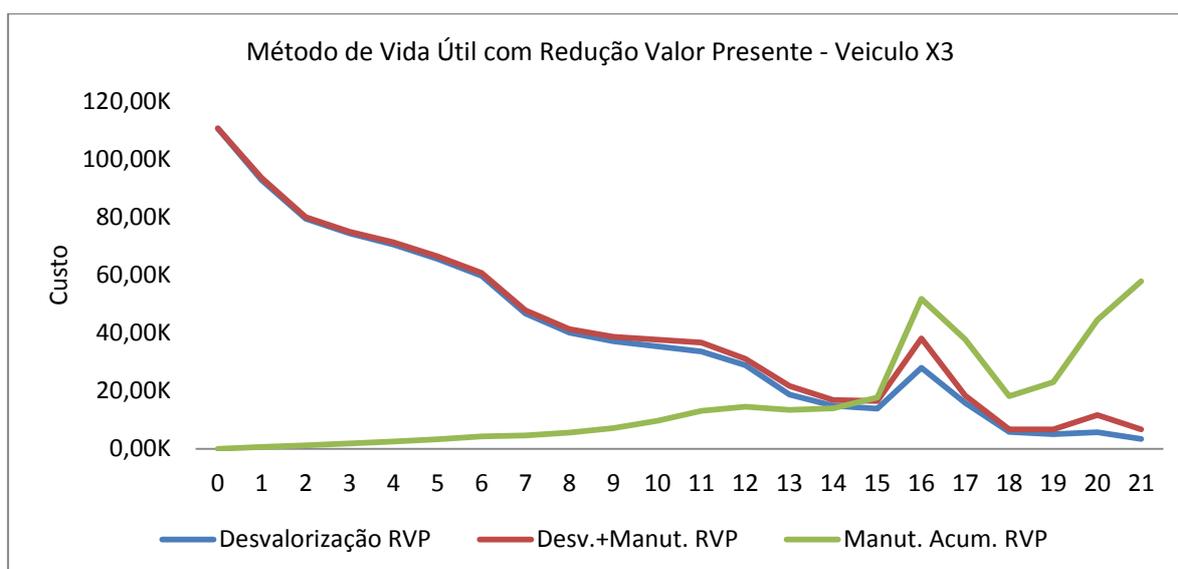


Figura A.43 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro X3

Pode constatar-se, pelas tabelas e pelas figuras anteriormente apresentados, que o período de substituição é igual para as três viaturas estudadas. Verifica-se, também, que os custos de manutenção são muito parecidos e que os custos acumulados ao fim de 21 anos são aproximadamente de 90,00 K ou € 90.000,00 euros.

O exemplo seguinte (Tabela A.52 e Figura A.44) mostra o cálculo da vida útil para uma viatura com 18 anos, marca B, modelo B.

Tabela A.52 – Método de Vida Útil - Autocarro Y1

Veículo Y1							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.
0	120,46K	120,46K	120,46K	0,00K	120,46K	120,46K	0,00K
1	121,06K	114,98K	116,22K	1,23K	108,03K	109,19K	1,16K
2	121,67K	109,51K	111,03K	2,76K	98,50K	99,87K	2,48K
3	122,28K	104,03K	105,92K	4,64K	89,60K	91,23K	4,00K
4	122,89K	98,56K	100,86K	6,94K	75,00K	76,75K	5,28K
5	123,50K	93,08K	95,87K	9,73K	65,47K	67,43K	6,84K
6	124,12K	87,61K	90,94K	13,07K	60,04K	62,32K	8,95K
7	124,74K	82,13K	85,75K	16,68K	56,49K	58,98K	11,48K
8	125,36K	76,66K	83,77K	23,80K	53,40K	58,36K	16,58K
9	125,99K	71,18K	76,50K	29,11K	46,94K	50,45K	19,20K
10	126,62K	65,71K	70,54K	33,95K	33,31K	35,76K	17,21K
11	127,25K	60,23K	67,33K	41,04K	27,56K	30,80K	18,78K
12	127,89K	54,75K	61,56K	47,84K	26,05K	29,29K	22,76K
13	128,53K	49,28K	56,39K	54,95K	46,43K	53,13K	51,77K
14	129,17K	43,80K	56,13K	67,28K	30,09K	38,56K	46,22K
15	129,82K	38,33K	46,54K	75,49K	13,64K	16,56K	26,86K
16	130,47K	32,85K	40,15K	82,79K	13,26K	16,21K	33,42K
17	131,12K	27,38K	35,52K	90,93K	16,93K	21,97K	56,24K
18	131,77K	21,90K	38,74K	107,77K	16,04K	28,38K	78,94K

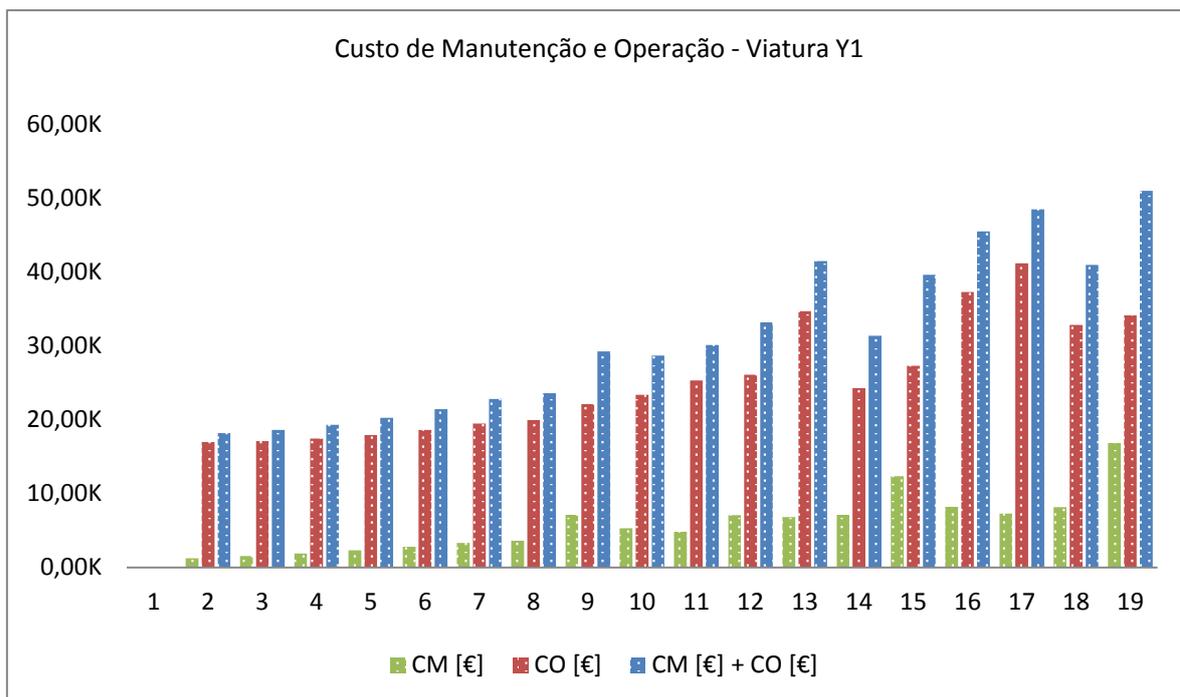


Figura A.44 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro Y1

Na tabela A.52 estão representados os custos de aquisição, de desvalorização e de manutenção do equipamento Y1, bem como os custos de desvalorização e manutenção reduzidos ao valor presente (RVP). Pode também analisar-se, pela tabela, o aumento dos custos acumulados de manutenção em relação ao veículo X1, ainda que este seja mais novo três anos, o que leva a reflectir sobre os custos de manutenção por grupo homogéneo e marca de veículo. De seguida, apresentam-se os gráficos de análise da vida útil do autocarro Y1, o primeiro sem redução ao valor presente dos seus custos, o segundo já com essa redução.

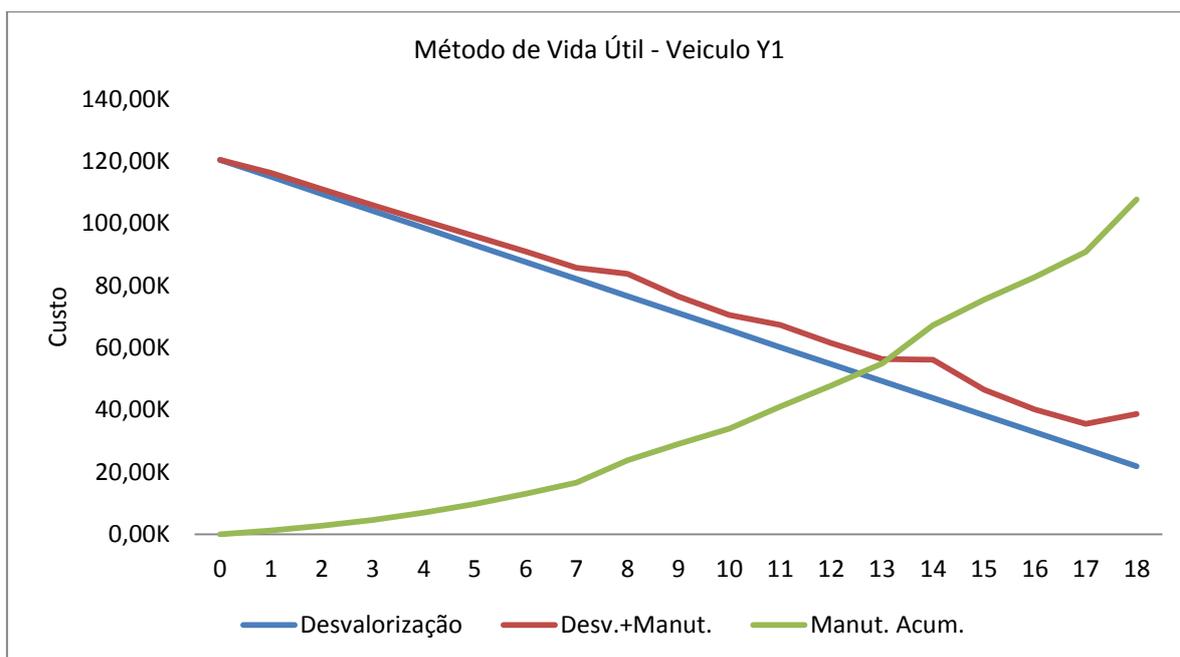


Figura A.45 – Método de Vida Útil – Autocarro Y1

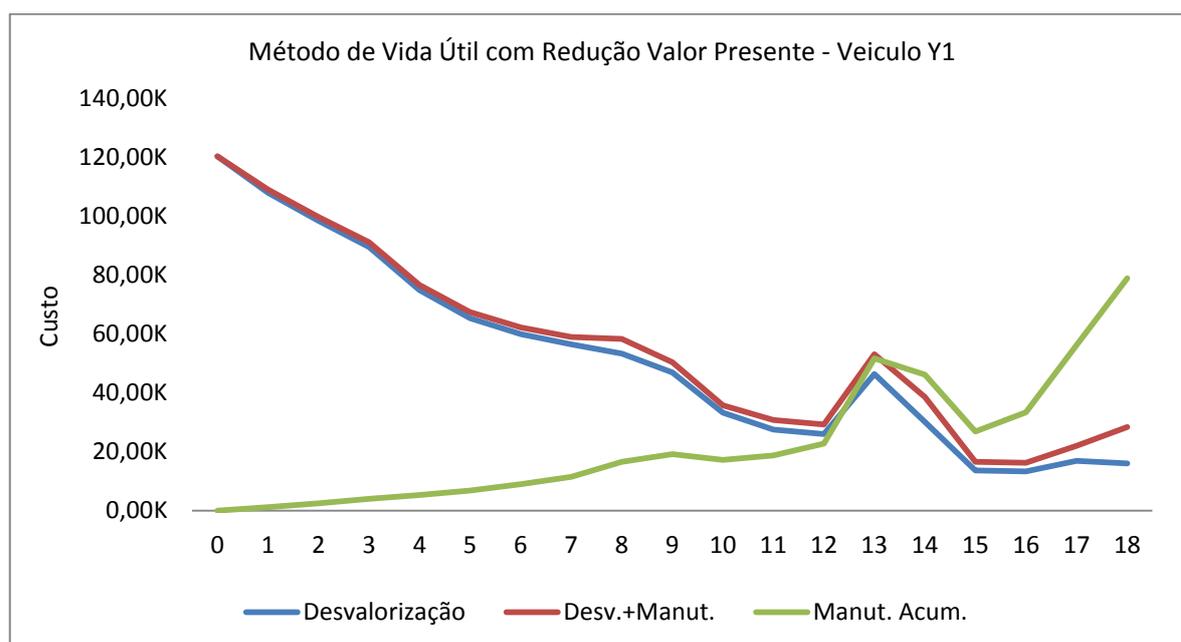


Figura A.46 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro Y1

Através da análise dos dados precedentes, pode verificar-se que a vida útil do autocarro em questão seria de 13 anos, tanto no gráfico A.45, como no gráfico A.46 em que se tem em consideração a redução dos valores ao valor presente.

A Tabela A.53 e a Figura A.47, exemplificam o cálculo da vida útil para o autocarro Y2 da Marca B, Modelo C, com 16 anos.

Tabela A.53 – Método de Vida Útil - Autocarro Y2

Veículo: Y2							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.
0	130,01K	130,01K	130,01K	0,00K	130,01K	130,01K	0,00K
1	130,66K	124,10K	124,94K	0,84K	118,07K	118,87K	0,80K
2	131,31K	118,19K	119,02K	1,68K	103,10K	103,83K	1,46K
3	131,97K	112,28K	113,25K	2,65K	90,90K	91,69K	2,15K
4	132,63K	106,37K	107,62K	3,90K	82,68K	83,65K	3,03K
5	133,29K	100,46K	106,06K	9,51K	76,90K	81,19K	7,28K
6	133,95K	94,55K	105,05K	20,01K	72,10K	80,10K	15,26K
7	134,62K	88,64K	97,76K	29,12K	64,12K	70,71K	21,07K
8	135,30K	82,73K	91,95K	38,35K	48,05K	53,41K	22,27K
9	135,97K	76,82K	80,92K	42,44K	40,52K	42,68K	22,39K
10	136,65K	70,91K	82,46K	53,99K	38,18K	44,40K	29,07K
11	137,34K	65,00K	72,90K	61,88K	61,81K	69,31K	58,84K
12	138,02K	59,09K	66,78K	69,57K	42,83K	48,40K	50,43K
13	138,71K	53,18K	64,03K	80,42K	21,72K	26,15K	32,84K
14	139,41K	47,27K	52,89K	86,04K	21,38K	23,92K	38,91K
15	140,10K	41,37K	59,25K	103,92K	27,07K	38,77K	68,01K
16	140,81K	35,46K	43,73K	112,19K	26,89K	33,16K	85,07K

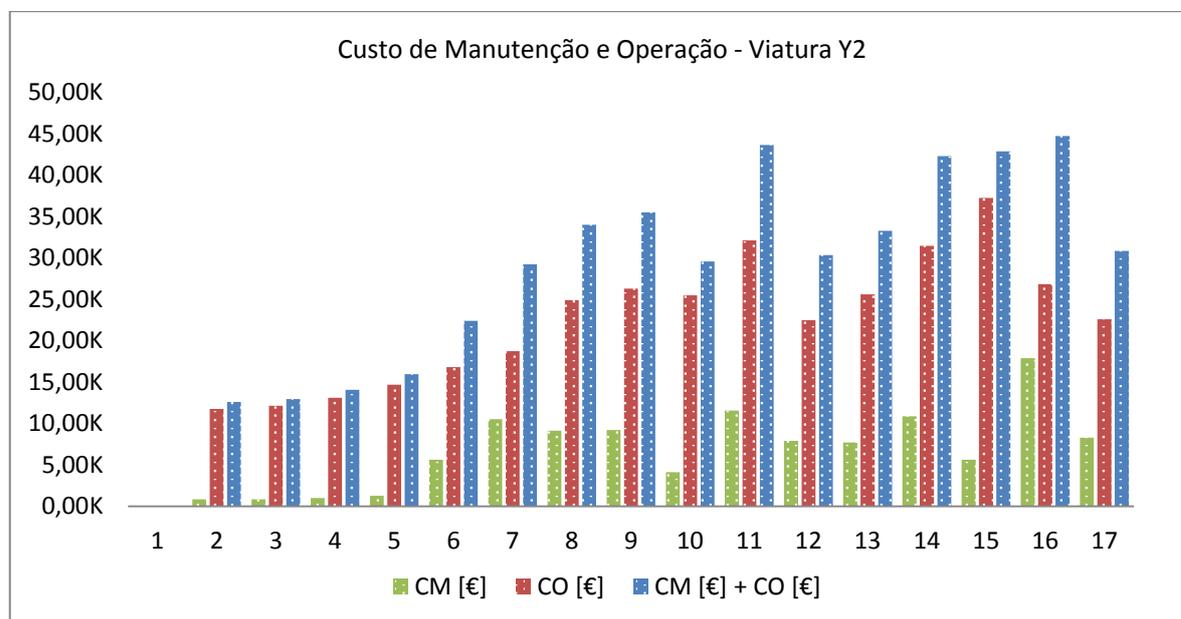


Figura A.47 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro Y2

No gráfico da Figura A.47, pode verificar-se uma grande variação nos custos de manutenção de ano para ano, o que pode levar a inferir sobre eventuais políticas de gestão de manutenção desta empresa de transportes ao longo destes anos.

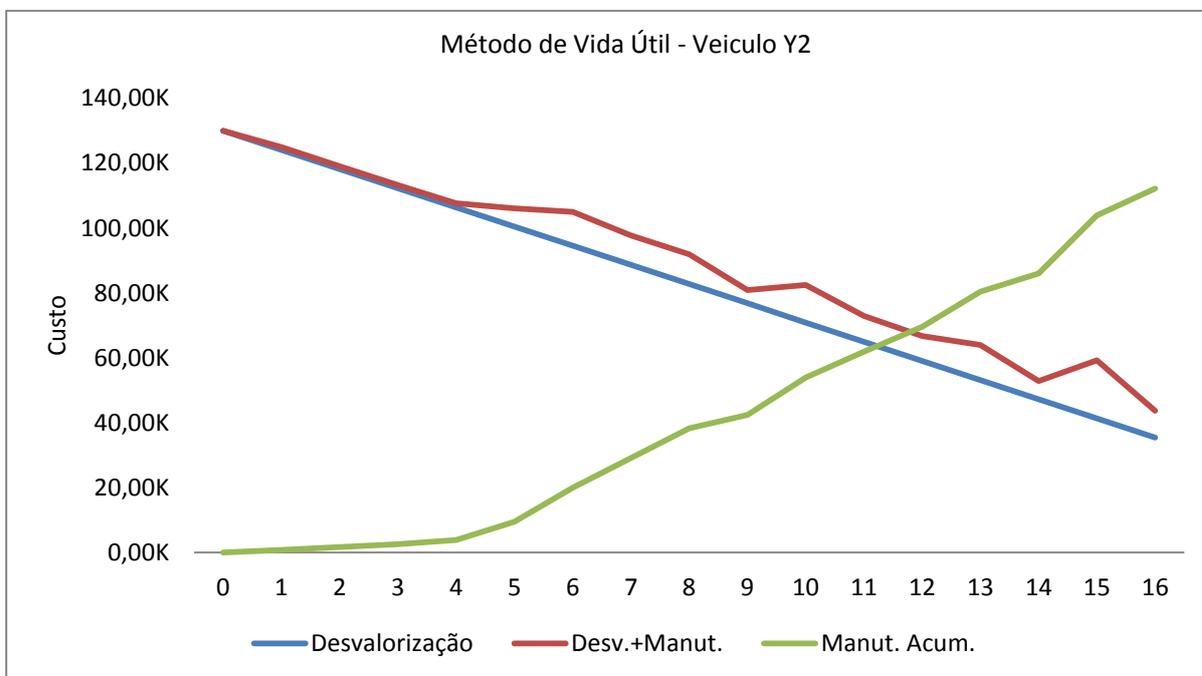


Figura A.48 – Método de Vida Útil – Autocarro Y2

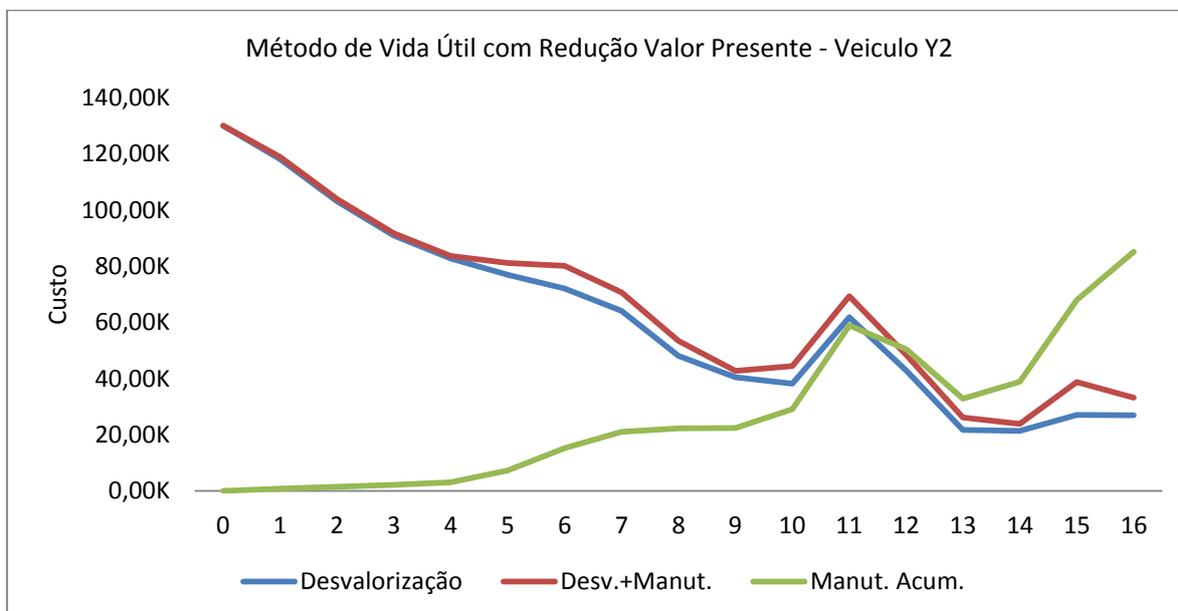


Figura A.49 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro Y2

Pode verificar-se que as viaturas Y1 de 18 anos e Y2 de 16 anos da marca B têm maiores custos de manutenção do que as viaturas X1, X2 e X3 da marca A, situando-se os custos acumulados de manutenção 107,00 K para o autocarro Y1, e 112 K para o autocarro Y2, baixando deste modo a vida útil destas viaturas para 13 anos e 12 anos, respectivamente.

Continuando com esta análise, os gráficos e as tabelas a seguir exemplificam o cálculo da vida útil para os autocarros XX1, XX2 e XX3, pertencentes à Marca A e Modelo D. Foram estudadas três viaturas com 12 anos. No gráfico A.50 apresentam-se os custos de manutenção e de operação, bem como o somatório de ambos os custos, respeitante à viatura XX1.

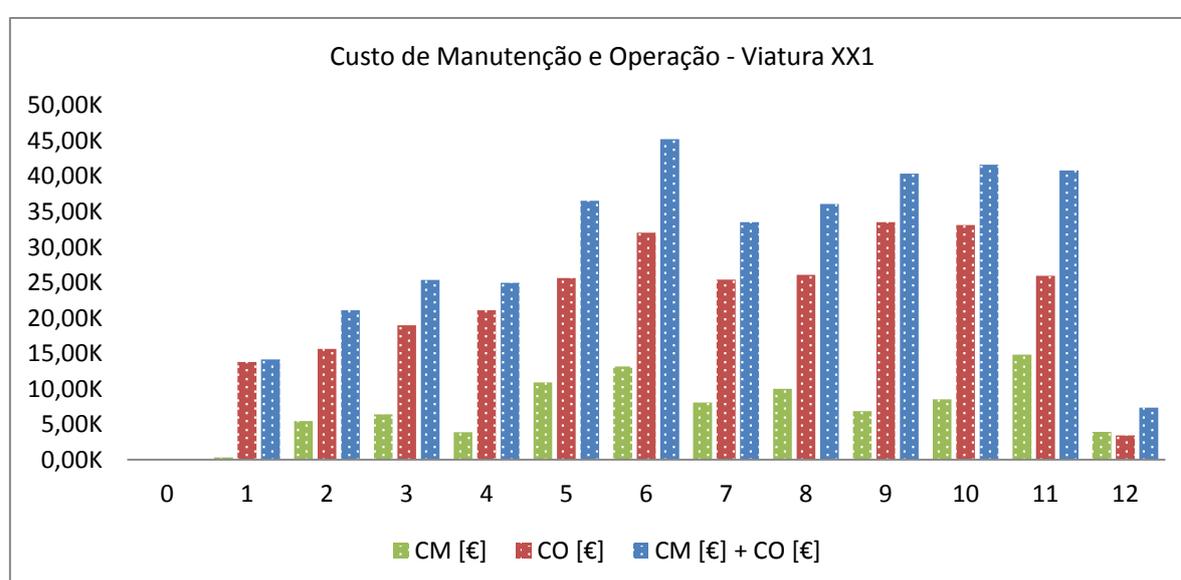


Figura A.50 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XXI

Tabela A.54 – Método de Vida Útil - Autocarro XXI

Veículo XXI							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desvalorização	Manut. Acum.
0	164,45K	164,45K	164,45K	0,00K	164,45K	164,45K	0,00K
1	165,28K	156,98K	157,31K	0,33K	148,81K	149,12K	0,32K
2	166,10K	149,50K	154,95K	5,78K	136,58K	141,56K	5,28K
3	166,93K	142,03K	148,45K	12,21K	123,62K	129,22K	10,62K
4	167,77K	134,55K	138,42K	16,07K	102,54K	105,49K	12,25K
5	168,61K	127,08K	138,00K	26,99K	89,06K	96,72K	18,92K
6	169,45K	119,60K	132,78K	40,17K	82,50K	91,59K	27,71K
7	170,30K	112,13K	120,22K	48,27K	108,59K	116,43K	46,74K
8	171,15K	104,65K	114,67K	58,29K	84,44K	92,53K	47,03K
9	172,00K	97,18K	104,02K	65,13K	52,27K	55,95K	35,03K
10	172,86K	89,70K	98,22K	73,64K	50,89K	55,72K	41,78K
11	173,73K	82,23K	97,06K	88,48K	60,25K	71,12K	64,83K
12	174,60K	74,75K	78,68K	92,40K	60,74K	63,94K	75,09K

Apresenta-se, em baixo, o gráfico do autocarro XX1, sem redução ao valor presente dos seus custos, onde se pode verificar que a sua vida útil é de 11 anos.

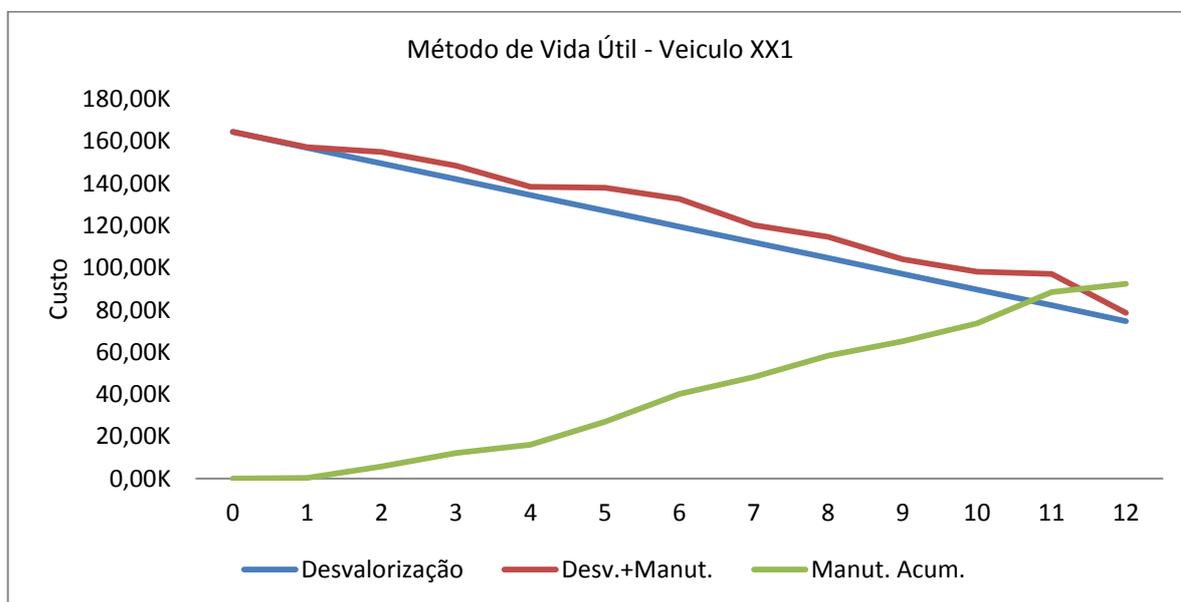


Figura A.51 – Método de Vida Útil – Autocarro XXI

No gráfico ilustrado seguidamente, pode constatar-se que a vida útil do autocarro é também de 11 anos, e que este já contém os valores reduzidos ao valor presente.

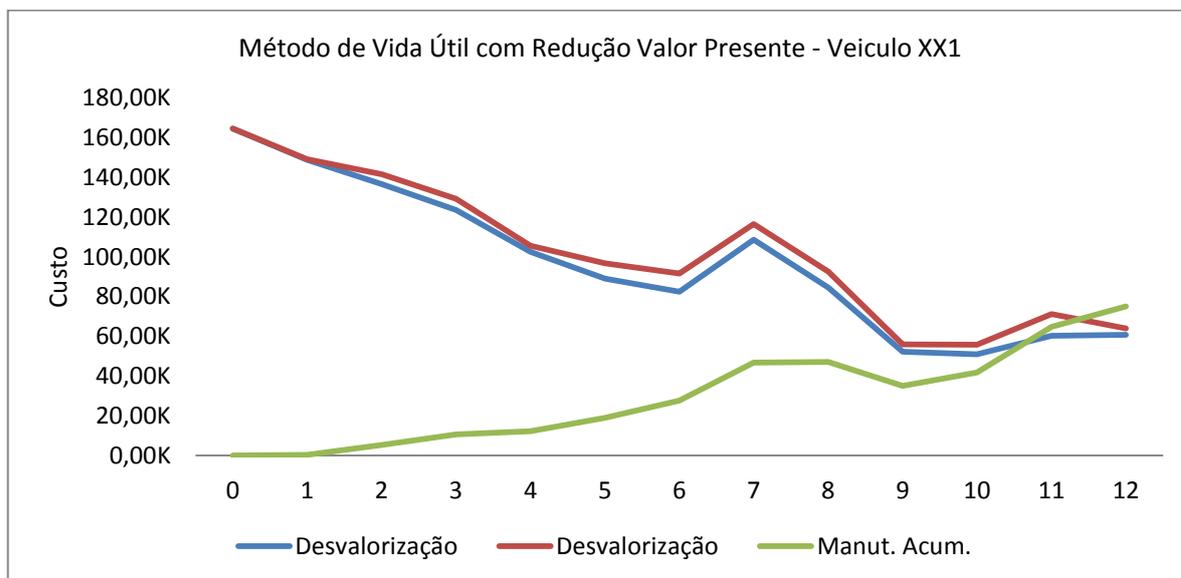


Figura A.52 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XXI

As tabelas e os gráficos seguintes mostram os dados históricos dos custos de manutenção e de operação dos autocarros XX2 e XX3, ilustrando, como no exemplo anterior, os cálculos efetuados para determinar a vida útil destas viaturas.

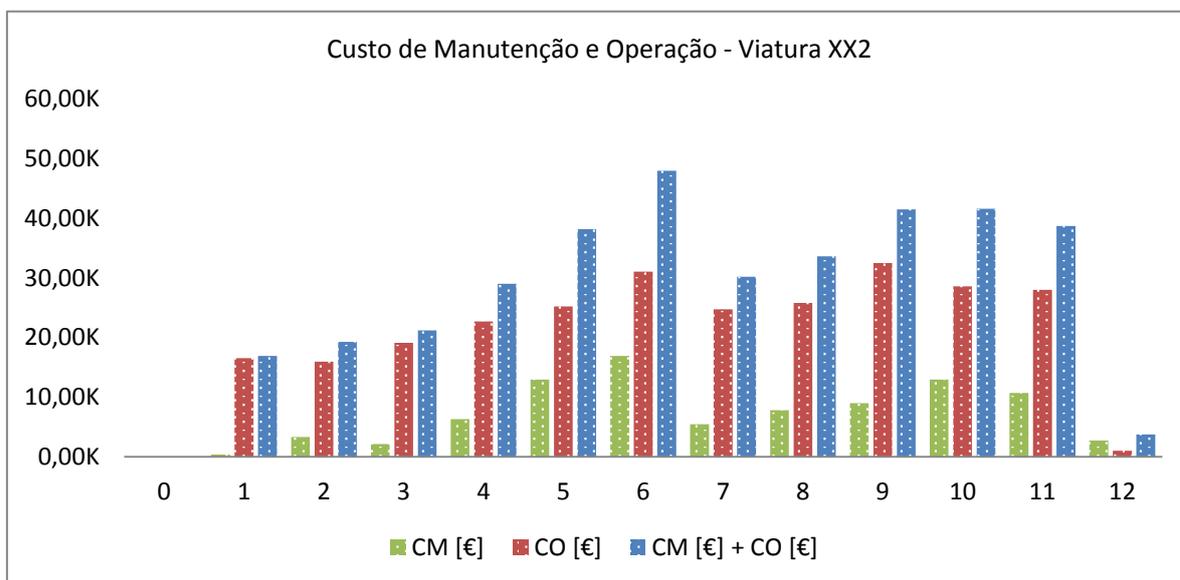


Figura A.53 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XX2

Tabela A.55 – Método de Vida Útil - Autocarro XX2

Veículo XX2							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desvalorização	Manut. Acum.
0	164,45K	164,45K	164,45K	0,00K	164,45K	164,45K	0,00K
1	165,28K	156,98K	157,33K	0,35K	148,81K	149,14K	0,33K
2	166,10K	149,50K	152,84K	3,69K	136,58K	139,63K	3,37K
3	166,93K	142,03K	144,15K	5,81K	123,62K	125,47K	5,06K
4	167,77K	134,55K	140,85K	12,11K	102,54K	107,34K	9,23K
5	168,61K	127,08K	140,01K	25,05K	89,06K	98,13K	17,55K
6	169,45K	119,60K	136,51K	41,96K	82,50K	94,16K	28,94K
7	170,30K	112,13K	117,60K	47,43K	108,59K	113,89K	45,93K
8	171,15K	104,65K	112,47K	55,25K	84,44K	90,75K	44,58K
9	172,00K	97,18K	106,15K	64,22K	52,27K	57,10K	34,54K
10	172,86K	89,70K	102,68K	77,20K	50,89K	58,25K	43,79K
11	173,73K	82,23K	92,93K	87,90K	60,25K	68,09K	64,41K
12	174,60K	74,75K	77,50K	90,64K	60,74K	62,97K	73,66K

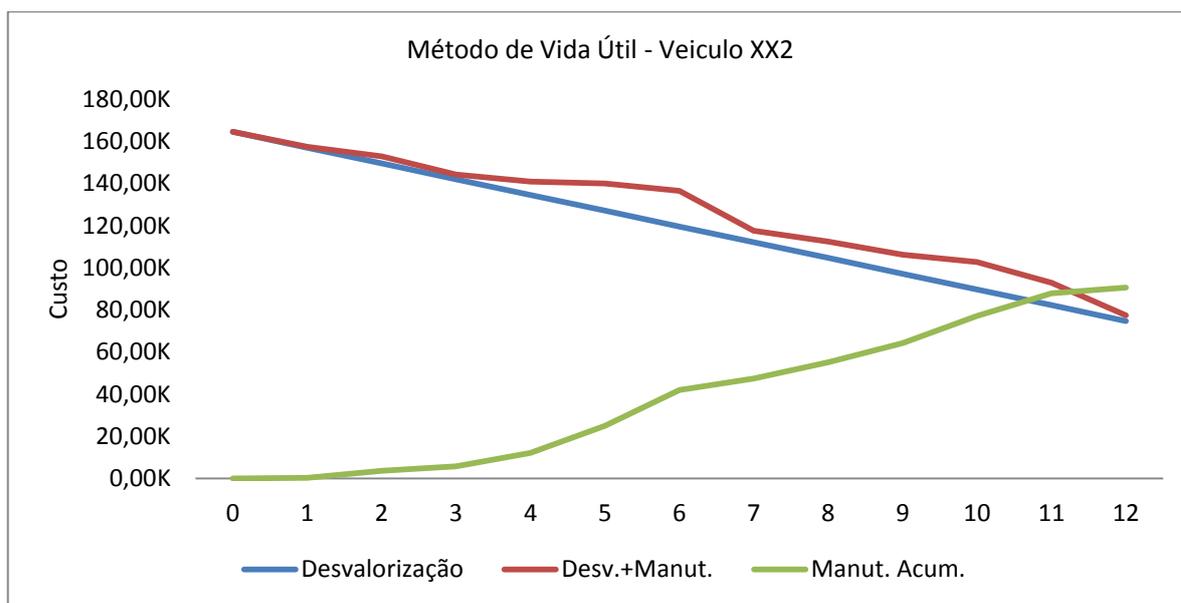


Figura A.54 – Método de Vida Útil – Autocarro XX2

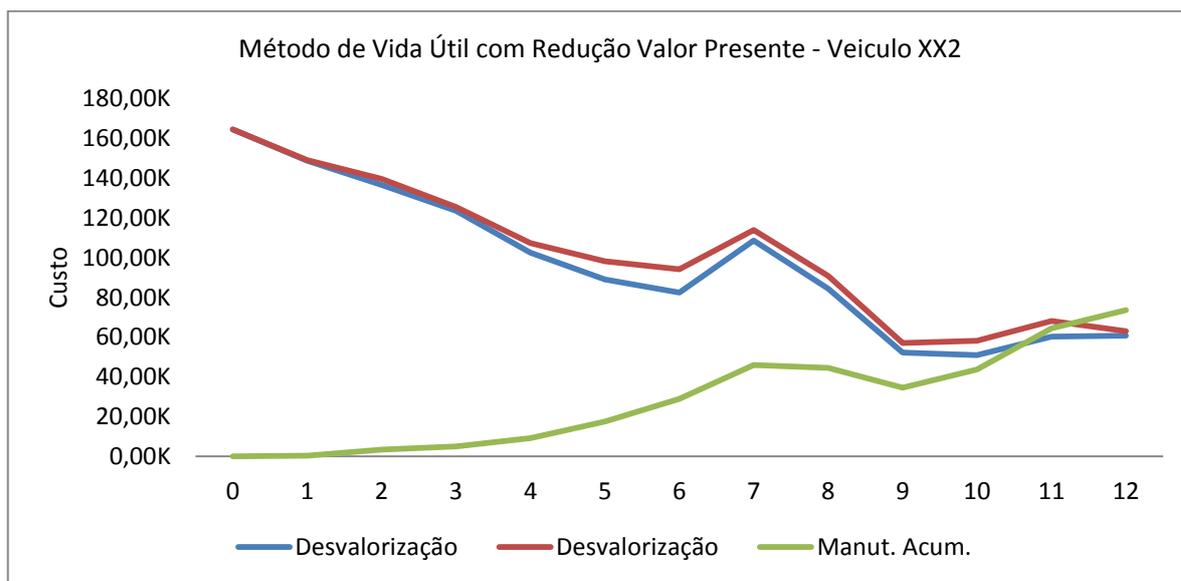


Figura A.55 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XX2

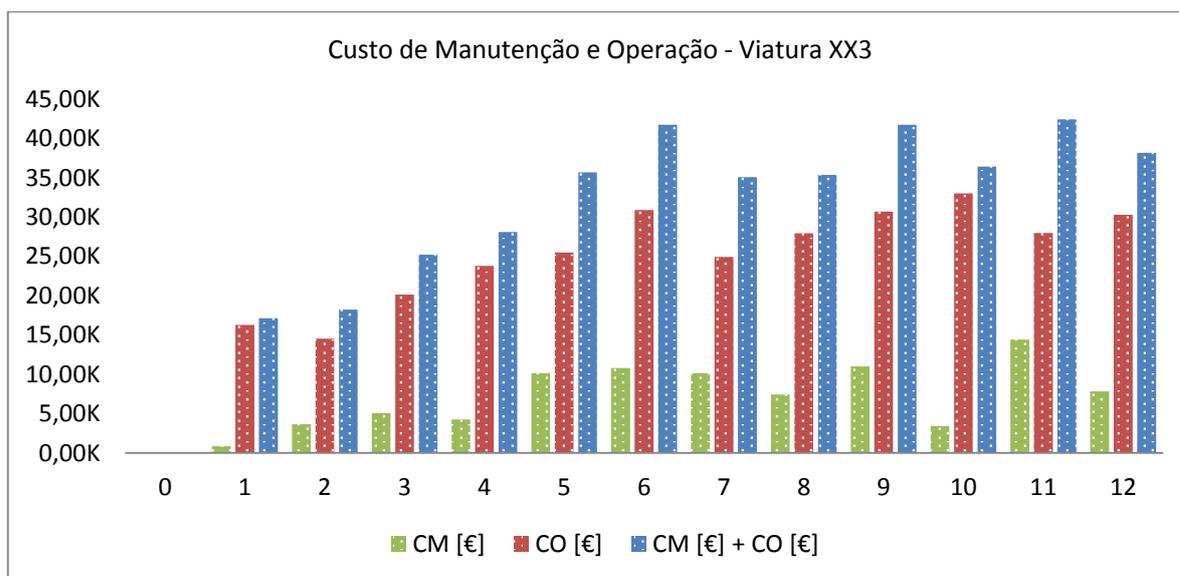


Figura A.56 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro XX3

Tabela A.56 – Método de Vida Útil - Autocarro XX3

Veículo XX3

Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desvalorização	Manut. Acum.
0	164,45K	164,45K	164,45K	0,00K	164,45K	164,45K	0,00K
1	165,28K	156,98K	157,86K	0,88K	148,81K	149,64K	0,83K
2	166,10K	149,50K	153,19K	4,57K	136,58K	139,95K	4,17K
3	166,93K	142,03K	147,10K	9,64K	123,62K	128,04K	8,39K
4	167,77K	134,55K	138,84K	13,93K	102,54K	105,81K	10,61K
5	168,61K	127,08K	137,24K	24,09K	89,06K	96,19K	16,88K
6	169,45K	119,60K	130,41K	34,90K	82,50K	89,95K	24,07K
7	170,30K	112,13K	122,28K	45,05K	108,59K	118,42K	43,63K
8	171,15K	104,65K	112,09K	52,49K	84,44K	90,44K	42,35K
9	172,00K	97,18K	108,21K	63,52K	52,27K	58,21K	34,17K
10	172,86K	89,70K	93,14K	66,96K	50,89K	52,84K	37,99K
11	173,73K	82,23K	96,66K	81,40K	60,25K	70,83K	59,65K
12	174,60K	74,75K	82,62K	89,27K	60,74K	67,14K	72,54K

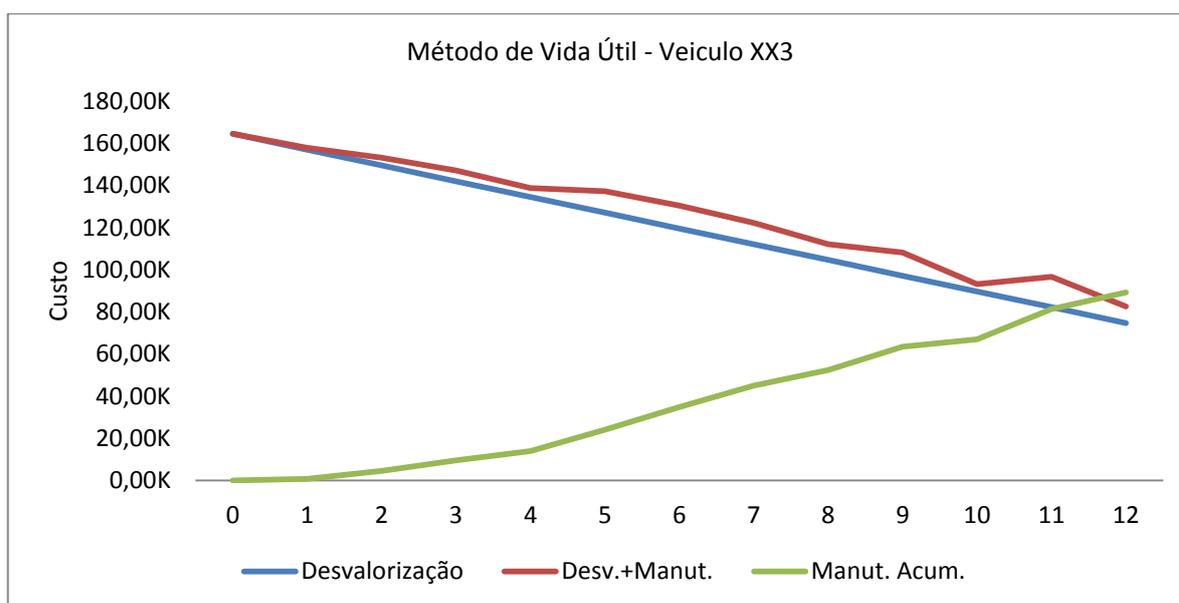


Figura A.57 – Método de Vida Útil – Autocarro XX3

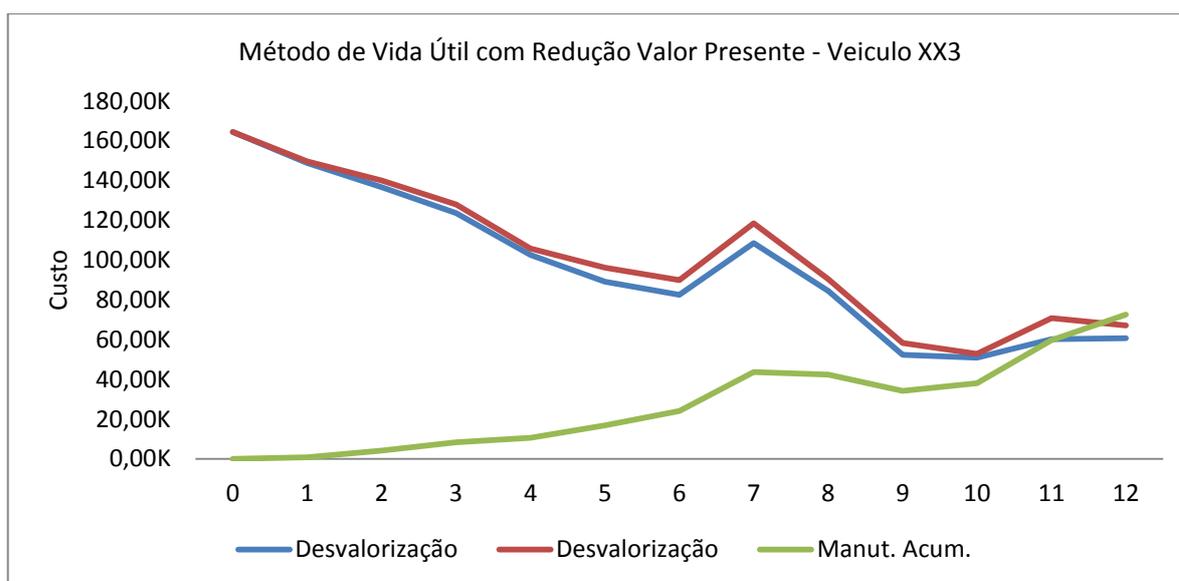


Figura A.58 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro XX3

As tabelas e os gráficos seguintes apresentam os cálculos da vida útil para o grupo homogêneo: Marca B, Modelo E, composto por três viaturas de 11 anos, designados por YY1 e YY2.

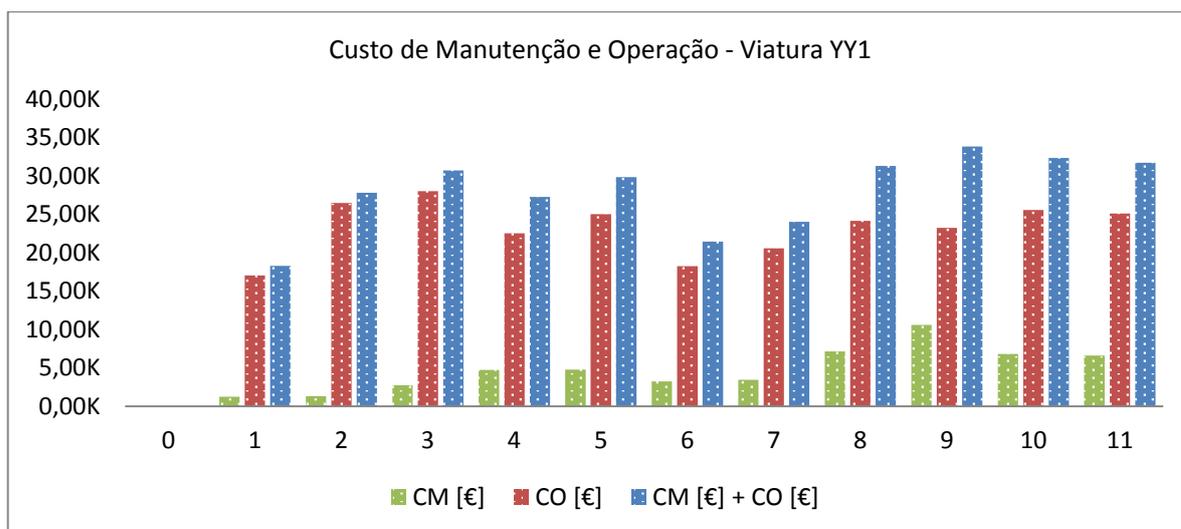


Figura A.59 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro YY1

Tabela A.57 – Método de Vida Útil - Autocarro YY1

Veículo YY1

Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desvalorização	Manut. Acum.
0	159,52K	159,52K	159,52K	0,00K	159,52K	159,52K	0,00K
1	160,31K	152,26K	153,52K	1,25K	145,54K	146,73K	1,20K
2	161,11K	145,01K	146,36K	2,59K	132,20K	133,42K	2,36K
3	161,92K	137,76K	140,49K	5,32K	112,37K	114,59K	4,34K
4	162,73K	130,51K	135,25K	10,06K	98,21K	101,78K	7,57K
5	163,54K	123,26K	128,05K	14,85K	90,45K	93,96K	10,90K
6	164,36K	116,01K	119,23K	18,07K	112,87K	116,00K	17,58K
7	165,18K	108,76K	112,22K	21,53K	90,14K	93,01K	17,84K
8	166,01K	101,51K	108,66K	28,68K	58,50K	62,62K	16,53K
9	166,84K	94,26K	104,85K	39,28K	56,59K	62,95K	23,58K
10	167,67K	87,01K	93,81K	46,08K	65,58K	70,71K	34,74K
11	168,51K	79,76K	86,34K	52,67K	65,94K	71,39K	43,54K

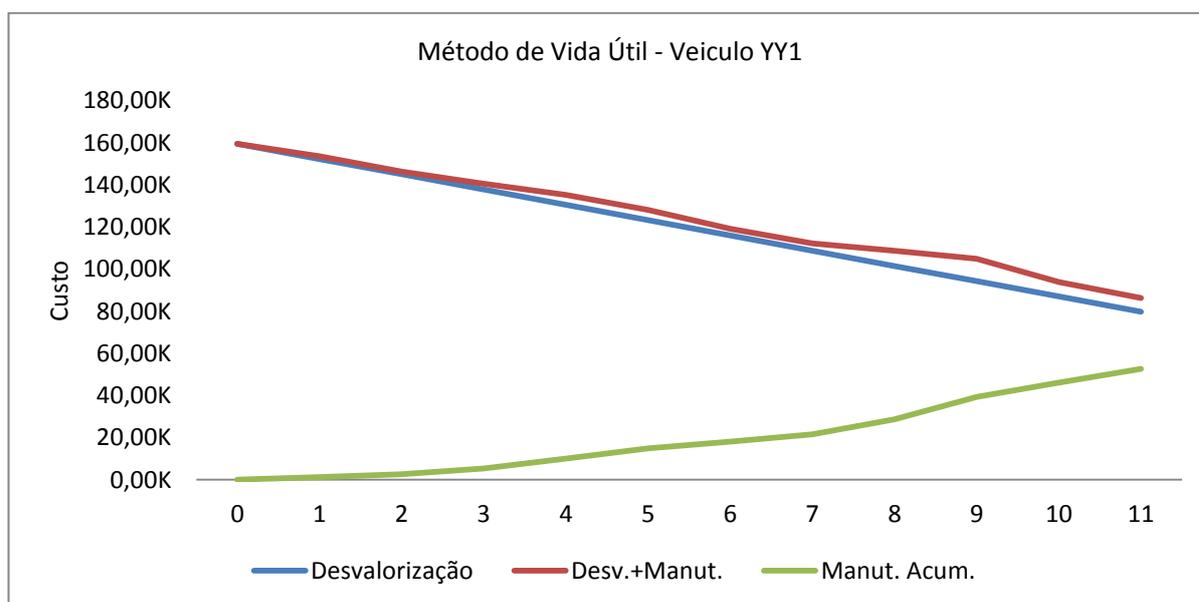


Figura A.60 – Método de Vida Útil – Autocarro YY1

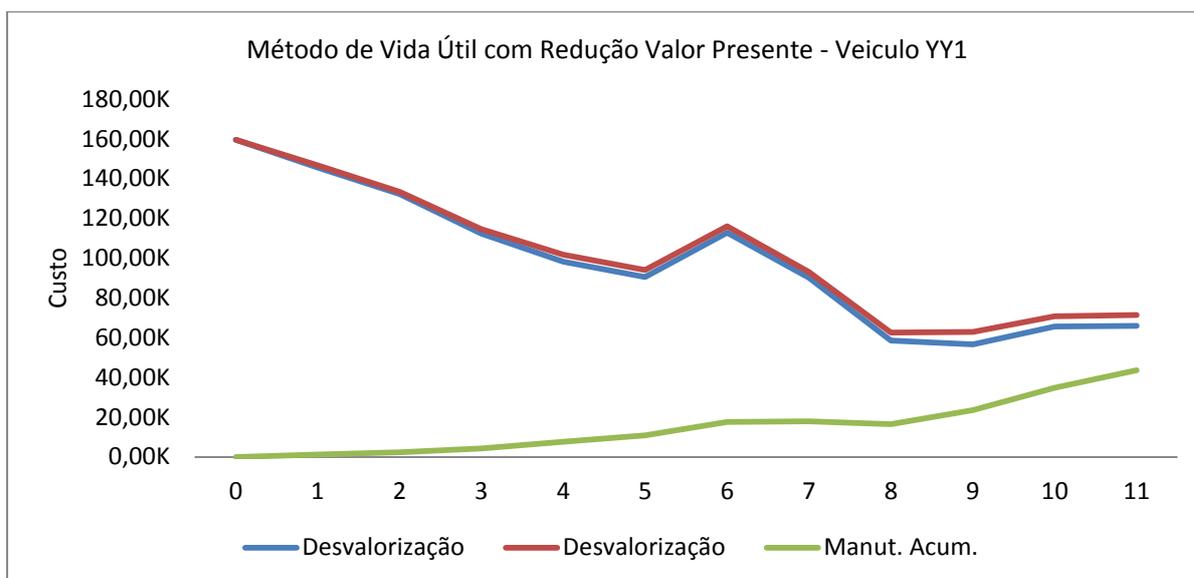


Figura A.61 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro YY1

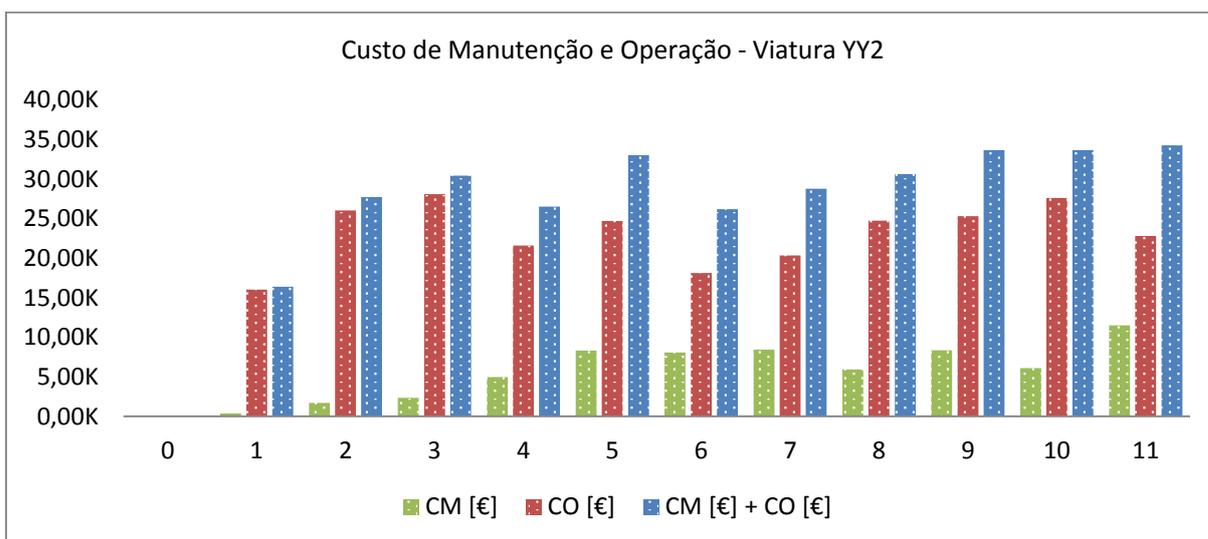


Figura A.62 – Gráfico Custos de Manutenção e operação – Autocarro YY2

Tabela A.58 – Método de Vida Útil - Autocarro YY2

Veículo YY2							
Ano	Custo aquisição	Desvalorização	Desv.+Manut.	Manut. Acum.	Desvalorização	Desvalorização	Manut. Acum.
0	159,52K	159,52K	159,52K	0,00K	159,52K	159,52K	0,00K
1	160,31K	152,26K	152,62K	0,36K	145,54K	145,88K	0,34K
2	161,11K	145,01K	146,72K	2,07K	132,20K	133,76K	1,88K
3	161,92K	137,76K	140,10K	4,40K	112,37K	114,27K	3,59K
4	162,73K	130,51K	135,46K	9,35K	98,21K	101,94K	7,03K
5	163,54K	123,26K	131,57K	17,66K	90,45K	96,55K	12,96K
6	164,36K	116,01K	124,09K	25,74K	112,87K	120,72K	25,04K
7	165,18K	108,76K	117,18K	34,16K	90,14K	97,12K	28,31K
8	166,01K	101,51K	107,42K	40,07K	58,50K	61,90K	23,09K
9	166,84K	94,26K	102,62K	48,43K	56,59K	61,61K	29,07K
10	167,67K	87,01K	93,10K	54,52K	65,58K	70,18K	41,09K
11	168,51K	79,76K	91,24K	66,00K	65,94K	75,44K	54,57K

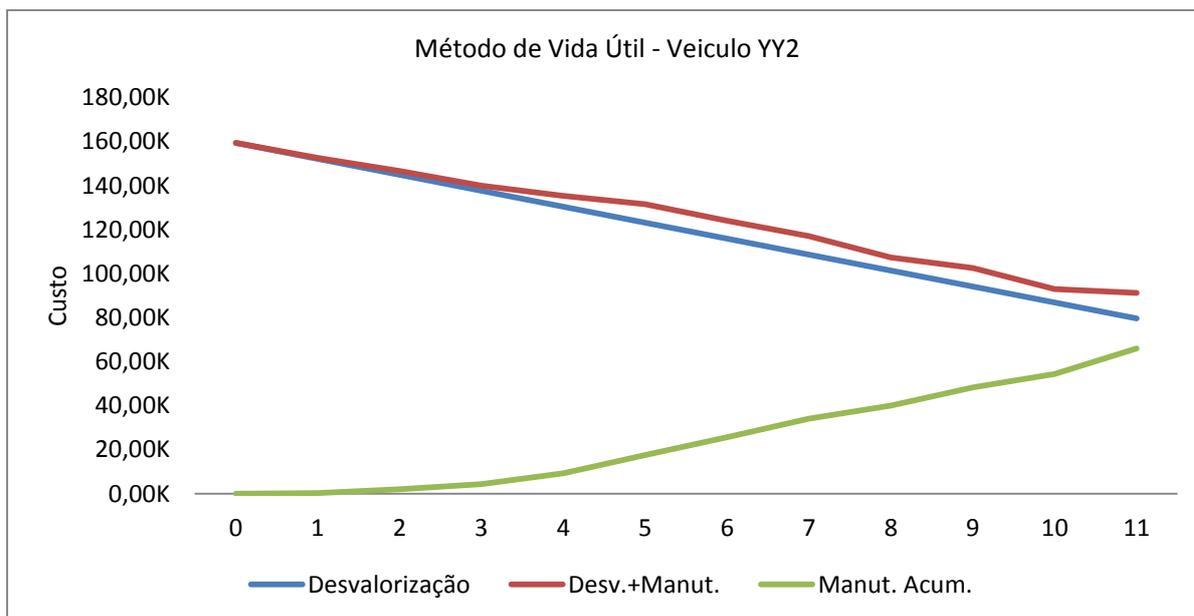


Figura A.63 – Método de Vida Útil – Autocarro YY2

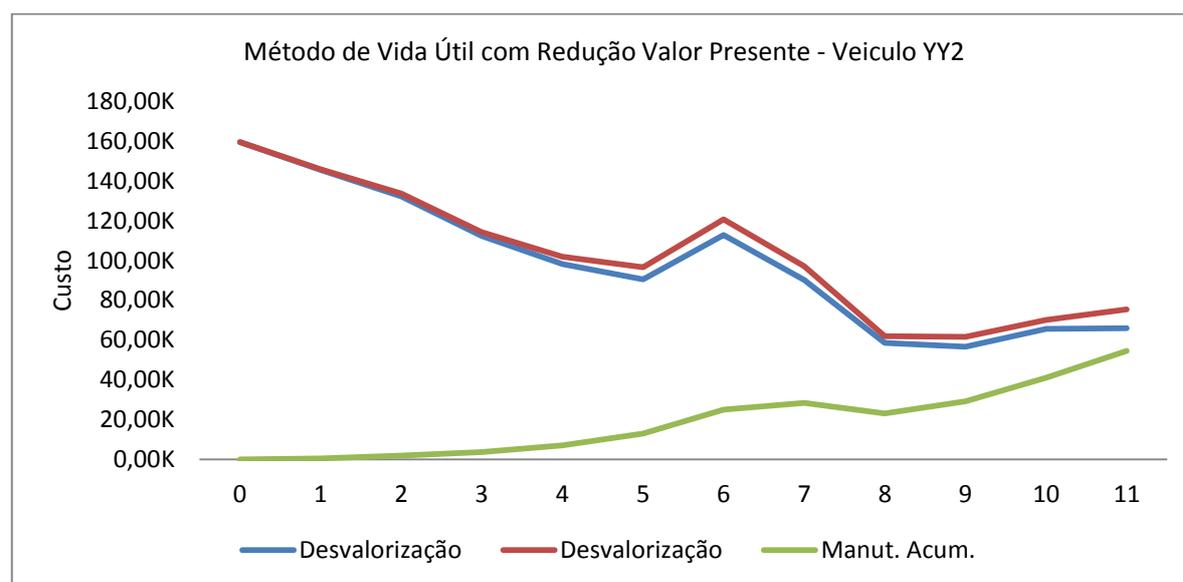


Figura A.64 – Método de Vida Útil RVP – Autocarro YY2

Pela análise dos gráficos, verifica-se que não se pode concluir sobre o fim da vida útil do equipamento, atendendo a que o veículo só tem 11 anos. Para prever a sua substituição através do método de vida útil seria necessário estimar os dados de manutenção para os próximos anos. Se se souber prever todos estes custos, pode-se determinar quando um equipamento deve ser desactivado ou substituído por outro. Os cálculos realizados devem, porém, ser refeitos periodicamente, não só porque mais informação vai sendo coligida, permitindo a validação dos

cálculos anteriores, mas porque alguns pressupostos podem ter-se, entretanto, alterado significativamente, provocando uma alteração no sentido da antecipação ou do adiamento da substituição.

Pode verificar-se, através da análise das tabelas e gráficos dos três métodos utilizados para a determinação do ciclo económico de substituição de autocarros, que existe um intervalo médio de substituição que se situa entre os 10 anos e os 19 anos de vida dos autocarros, o que representa um período de 9 anos para a tomada de decisão, isto tendo em consideração também uma análise geral e indiferenciada em relação aos vários tipos de desvalorização aplicados, tais como, o Método Linear de Depreciação, a Soma de Dígitos e o Exponencial. Se individualizarmos, verifica-se que esse intervalo diminui para um período de três a quatro anos.

Através da análise dos dados das tabelas e gráficos precedentes pode verificar-se que a vida útil do autocarro X1 seria de 15 anos, tanto no gráfico da Figura A.36, como no gráfico da Figura A.37, que tem em consideração a redução dos dados ao valor presente.

Pode afirmar-se que o período de substituição varia de grupo homogéneo para grupo homogéneo de viaturas e que, nos métodos utilizados existem várias variáveis que podem influenciar o resultado e a decisão final do gestor, tais como, a taxa aparente de cada ano, bem como o modelo de depreciação utilizado. Outra variável muito importante, que pode influenciar significativamente os resultados, é o custo de manutenção. Este, por sua vez, depende bastante das políticas e da gestão de manutenção que é realizada nas empresas de transporte público. Outra variável que pode influenciar bastante é a variação do preço do gasóleo que está incorporado nos custos de produção.

ANEXO B – ANÁLISES DE ÓLEOS

B.1. Lubrificantes

Todos os equipamentos se desgastam com o passar do tempo, devido ao funcionamento e aos inúmeros agentes contaminantes com os quais são postas em contacto. A vida útil de todos os equipamentos pode ser aumentada com o uso de lubrificantes. Pelas múltiplas funções que exerce, e pelo acesso a vários pontos da máquina, o óleo lubrificante constitui-se um agente de extrema importância na redução do desgaste e da contaminação dos equipamentos.

Os lubrificantes modernos, de alto desempenho, têm uma actuação muito mais importante do que simplesmente reduzir o atrito e o desgaste. Os lubrificantes de última geração podem também:

- Controlar a formação de depósitos;
- Controlar contaminantes suspensos;
- Proteger contra a corrosão;
- Limpar componentes;
- Manter a temperatura de operação correcta.

De um modo geral, considerando o tipo de base utilizada na produção, os lubrificantes podem ser divididos em três categorias:

- i. Minerais,
- ii. Sintéticos,
- iii. Semissintéticos.

Os óleos lubrificantes mais utilizados são os de origem mineral. Estes são constituídos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, provenientes da refinação do petróleo cru, representando cerca de 2% dos derivados de petróleo, sendo um dos poucos produtos que não são totalmente consumidos durante o seu uso.

As principais características dos óleos lubrificantes são a viscosidade, o índice de viscosidade e a densidade.

Para conferir a estes tipos de óleos certas propriedades especiais ou para melhorar algumas já existentes, especialmente quando o lubrificante é submetido a condições severas de trabalho, são adicionados produtos químicos aos óleos, que são chamados aditivos. “A degradação de um lubrificante não é um processo instantâneo. Normalmente, a perda das suas propriedades físico-químicas e a sua contaminação são progressivas”, (Graça, Seabra, 1996). Segundo Graça e Seabra (1996), o tempo de vida de um lubrificante em serviço é limitado por vários factores, nomeadamente:

- Oxidação;
- Variações de viscosidade;
- Contaminação;
- Perda de aditivos (anti-corrosão, anti-desgaste, dispersantes, etc.).

As principais variáveis de um lubrificante são as seguintes:

- Fuligem (Matéria Carbonosa);
- Viscosidade;
- TBN;
- Metais de desgaste e Contaminação (Teor Al, Cu, Fe, Si, etc.);
- Partículas.

De seguida, faz-se uma breve descrição de cada variável, mencionando a importância e causas da sua origem:

- *Fuligem*

Produtos da combustão entram no óleo através do sopro normal dos pistões, reduzindo o desempenho do óleo na sua capacidade de proteger e lubrificar os componentes do motor.

Com base na diferente capacidade que óleo e fuligem apresentam na reflexão da luz, é lançado um feixe de luz infravermelha numa película de óleo usado. Pela diferença de reflexão, obtém-se o resultado e, a partir daí, o percentual de fuligem presente no óleo.

Resíduos insolúveis de combustível parcialmente queimado podem espessar o óleo, exaurir os aditivos e, eventualmente, entupir os filtros. A fuligem é encontrada

normalmente em amostras de óleo de motor; a sua presença noutros compartimentos acontece por contaminação por aquele produto.

Vários factores contribuem para a acumulação de fuligem, tais como, entupimento de elementos do filtro de ar, excessivo uso de marcha lenta, baixa temperatura de operação, deficiência na injeção de combustível e outros.

- *Viscosidade Cinemática*

A viscosidade é a propriedade mais importante de qualquer lubrificante, sendo a medida da resistência do óleo em fluir a uma temperatura específica. Qualquer mudança na viscosidade do óleo pode indicar:

- Contaminação - Fuligem, má combustão, reposições com óleos de maior ou menor grau, má regulação da injeção;
- Degradação do óleo - Operação a temperaturas mais altas do que as indicadas, intervalo excessivo de troca de óleo, refrigeração inadequada, baixo nível de óleo;
- Diluição por combustível, que é notada pela redução da viscosidade.

Os óleos de graduação múltipla podem ainda apresentar diminuição na viscosidade, no início, devido a algum cisalhamento do melhorador de índice de viscosidade.

Em termos gerais, é definida como sendo a resistência oposta ao escoamento e a sua verificação consiste na medição do tempo que um fluido leva para escoar por um capilar, sob uma determinada temperatura, entre duas marcas existentes em um tubo aferido.

Esta deve ser mantida dentro dos limites estabelecidos para o serviço do óleo; considere-se, por exemplo, que o aumento desse factor pode representar um obstáculo à fluidez necessária ao bom desempenho de lubrificação, com maior dispêndio de energia. Por outro lado, viscosidade abaixo do ideal pode ocasionar elevadas taxas de desgaste.

A variação desse indicador pode ser manifestada através de uma gama de problemas, como a presença de contaminantes (insolúveis), oxidação pronunciada, inadequação ou ineficiência do sistema de purificação (incapacidade de retirar os materiais contaminantes), contaminação por óleo combustível e outros.

- *TBN*

É a massa em miligramas de ácido clorídrico ou perclórico, expressa em termos de quantidade equivalente de hidróxido de potássio, necessária para neutralizar todas as substâncias presentes em um grama de óleo que reage com esses ácidos. Este teste é normalmente feito em óleos de motores que contêm aditivos alcalinos (reserva alcalina do produto). Em óleos usados, é uma indicação da reserva alcalina remanescente que, enquanto existir, não permitirá a presença de ácidos fortes. A natureza dos aditivos torna possível a determinação tanto do TAN (Total Acid Number) como do TBN do produto, quer seja em óleos novos ou usados.

O principal valor do teste de alcalinidade em óleos usados é o de, por comparação com resultados de ensaios anteriores no mesmo óleo, permitir avaliar as transformações pelas quais o óleo passa, em serviço.

- *Análise de metais de desgaste*

Os contaminantes inorgânicos, bem como os elementos organometálicos dos aditivos do óleo, são determinados pelo uso de um espectrómetro de emissões. É uma ferramenta poderosa para detectar níveis de desgaste de metais em óleos usados, que podem variar com a marca e o modelo do equipamento, tal como o tipo de serviço, incluindo o ambiente de trabalho, o intervalo entre as drenagens, o intervalo entre as trocas de filtro, etc. Um aumento repentino nas concentrações dos elementos metálicos sugere um aumento no índice de desgaste e nas condições operacionais anormais. Esse tipo de observação exige atenção imediata da manutenção. Por isso, é importante que se faça um acompanhamento durante determinado período de tempo para se estabelecerem referências operacionais normais para o desgaste de metais relativo ao equipamento e ao lubrificante alvo de monitorização. A seguir, referem-se alguns dos metais mais comuns analisados pelo Espectrómetro de Emissão Óptica – EEO e suas origens principais:

- FERRO (Fe) - Ferrugem, árvores de comando de válvulas, engrenagens, anéis, camisas, bomba de óleo desgastada;
- CHUMBO (Pb) – Desgaste dos mancais, casquilhos, cobre-chumbo ou babbitt (metal patente);

- COBRE (Cu) – Casquilhos, mancais ou buchas desgastadas, buchas de balancim ou do pino do pistão, arruela de encosto de engrenagem de distribuição;
- CROMO (Cr) – Anéis ou cilindros cromados desgastados, vazamento do refrigerante;
- NÍQUEL (Ni) – Mecanismos de accionamento das válvulas, camisas de cilindro;
- ALUMÍNIO (Al) – Desgaste ou deterioração de pistões de alumínio, desgaste de casquilhos de biela, buchas de bombas de óleo, sujidades, poeira;
- SILÍCIO (Si) – Sujidades, poeiras por manutenção inadequada do filtro de ar, entradas falsas de ar no sistema de admissão, manutenção inadequada da ventilação do Carter, contaminação durante a manutenção e equipamentos sujos para adicionar óleo;
- MOLIBDÊNIO (Mo) – Anéis de pistão recobertos com camada de molibdénio;
- VANÁDIO (V) – Presente em alguns combustíveis, em parte de compostos inorgânicos e sais minerais encontrados em quantidades muito baixas no óleo.

- *Partículas*

Alguns procedimentos de manutenção podem, também, veicular partículas sólidas, contaminando o óleo. Assim, a inspeção ou troca de componentes deve ser feita dentro de critérios rigorosos, evitando exposições desnecessárias, peças mal acondicionadas e material inadequado. Atenção especial deve ser dada à substituição do fluído, não só no manuseio, como na observação da situação da máquina; o óleo altamente contaminado deve ser trocado somente depois de ter havido funcionamento do equipamento por algumas horas – o que evita a deposição de contaminantes sólidos.

O teste *Blotter Spot* é usado para avaliar a concentração dos insolúveis e estimar o poder dispersivo do óleo usado. Depois que uma gota do óleo usado é colocada em um tipo especial de filtro de papel, a interpretação visual da mancha determina se o óleo é de carácter dispersante ou não.

O ASTM D 893 descreve o método do centrifugador para determinar materiais insolúveis no óleo usado. Estão disponíveis dois procedimentos: num, o óleo usado é

misturado com o pentano e depois centrifugado; no outro, a amostra de óleo usado é misturada com uma solução do pentano-coagulante e então centrifugado. Em ambos os procedimentos, o precipitado é lavado, secado e pesado para dar o conteúdo dos insolúveis.

- *Insolúveis em Pentano e Benzeno representam a quantidade de impurezas presentes no óleo lubrificante*
 - Insolúveis em Pentano representam a quantidade de goma formada pela degradação do óleo;
 - Insolúveis em Benzeno representam a quantidade de impurezas estranhas ao óleo, tais como, poeira e limalhas provenientes de desgaste anormal do motor.

B.2. Análise aos Lubrificantes

A deterioração de um lubrificante assume as mais variadas formas, como sejam, a presença de sujidade ou água, acidez do lubrificante, débito insuficiente de lubrificante, ou mesmo um grau de viscosidade inadequado. Estas deteriorações provocam avarias dos componentes mecânicos lubrificados. No entanto, mesmo quando o circuito de lubrificação de um mecanismo é irrepreensível quanto à sua concepção e manutenção, podem ser observadas avarias. Estas resultam, mais uma vez, da deterioração do lubrificante devido à emissão de partículas de desgaste pelos sólidos em contacto no interior do mecanismo ou devido à alteração das propriedades físico-químicas do lubrificante durante o funcionamento.

Em determinadas condições, dependentes de vários factores, um lubrificante pode deteriorar-se no sentido em que deixa de poder cumprir a função que lhe estava destinada. A deterioração de um lubrificante é usualmente função do tempo de serviço, da temperatura do sistema, das condições ambientais e das solicitações a que está submetido. Resulta, simultaneamente, de acções físicas e químicas geradas internamente pelo lubrificante ou devidas a fenómenos externos. A deterioração física, frequentemente designada por contaminação, é materializada pela presença de materiais externos ao lubrificante, tais como, água, areias de fundição, partículas de escória de soldadura, aparas metálicas, poeiras abrasivas e partículas de desgaste.

A análise de lubrificantes é realizada em alguns ramos da indústria de um modo regular e continuado. Qualquer análise de um lubrificante em serviço envolve quatro operações básicas:

- i. Obtenção de uma amostra

-
- A recolha de uma amostra genuína e representativa de lubrificante implica a observação de determinadas precauções, tais como:
 - i. Utilização de recipientes limpos e secos;
 - ii. Extremo cuidado durante a recolha do lubrificante de modo a impedir a contaminação externa;
 - iii. Utilização de equipamento em serviço e o lubrificante à temperatura de funcionamento quando se realizam as recolhas de amostras, fazendo a recolha da amostra numa zona de circulação do lubrificante onde a sua composição seja significativa da composição global desse lubrificante;
 - iv. Identificação conveniente da amostra, incluindo todas as informações consideradas pertinentes.
 - ii. Realização de análises físico-químicas
 - O grau de deterioração física e química do lubrificante, isto é, o grau de contaminação e degradação pode ser avaliado através de um conjunto de ensaios normalizados e especializados, tais como:
 - Medição de algumas das suas propriedades e comparação com os valores correspondentes ao lubrificante virgem;
 - Realização de testes.
 - As análises permitem medir várias propriedades dos lubrificantes e avaliar a sua degradação, sendo as seguintes as mais utilizadas:
 - Anticongelante;
 - Aparência;
 - Combustível;
 - Teor de água;
 - Fuligem;
 - Nitração;
 - Oxidação;
 - Sulfatação;
 - Viscosidade;
 - Índice de viscosidade;
 - TBN (Total Basicity Number – Número da Basicidade Total);
 - Metais de desgaste (teor Al, Cr, Fe, Mo, Na, Ni, Pb, Si, Sn, V);
-

– Partículas.

iii. Interpretação dos resultados – diagnóstico

iv. Validação do diagnóstico.

A frequência com que determinado lubrificante deve ser examinado depende de vários factores operacionais, tais como:

- Importância do equipamento;
- Tempo total de serviço;
- Escala de afectação à produção;
- Razões de segurança;
- Tempo até à avaria após detecção;
- Tratar-se de um equipamento novo com características de manutenção ainda desconhecidas.

B.3. Modelação da degradação dos óleos

Na modelação de dados relativos às variáveis dos óleos, utilizou-se o programa Excel, não só as ferramentas e fórmulas disponibilizadas por este, mas também os modelos matemáticos referidos e descritos no capítulo 3.

Seguidamente, descreve-se o modelo implementado na presente dissertação, para o acompanhamento e estudo da evolução da degradação dos óleos lubrificantes. Este modelo é composto por três fases bem definidas:

1. Numa primeira fase, parte-se para uma recolha de dados (lubrificantes) disponíveis para o acompanhamento, tais como:
 - Relatório das diversas análises aos lubrificantes (variáveis);
 - Dados de referência sobre os lubrificantes utilizados (disponibilizado pelo laboratório onde foram feitas as análises);
 - Características e condições de funcionamento dos lubrificantes utilizados (Fornecedor/Marca).

Os dados recolhidos foram introduzidos numa folha de cálculo do *Excel*, com o objectivo de criar uma base de dados para, posteriormente, fazer o seu tratamento, como se pode verificar nas figuras B.1 e B.2.

X1	X1	X1	X1	Y1	Y1	Y2	Y2	Y2	Y2
29/10/2014	09/01/2015	12/03/2015	17/05/2016	08/09/2015	25/02/2016	20/10/2014	26/12/2014	02/10/2015	01/03/2016
917020	933421	950582	1064617	999973	1048461	917226	933419	1006091	1044759
1 154 694	1 165 529	1176285	1203934	1 218 949	1 247 201	873 062	881 622	906 956	940 243
22 644	10 835	20 598	27 709	18 115	12 909	15 525	8 560	6 944	23 006
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Negro									
<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
0,2	0,25	0,4	0,5	0,8	0,6		0,73	0,2	0,2
6	<1	<1	<1	<1	<1	7	<1	<1	<1
2	4	6	4	10	<1	9	6	5	6
5	<1	0	<1	19	<1	2	17	14	14
8,7	8,8	8,8	9,2	13,3	8,7	8,3	8,9	9,7	8,7
11,99	12,22	12,1	12,39	13,5	13,13	12,29	13,12	13,32	12,94
9	2	4	5	9	5	11	24	4	3
3	1	2	2	3	1	10	45	1	1
4	2	2	4	4	2	2	7	1	1
41	21	29	55	100	37	31	130	12	16
11	3	5	10	1	1	0	0	31	2
5	0	4	4	6	8	6	4	7	10
0	0	0	0	2	1	1	2	1	1
2	3	3	3	4	1	2	2	0	0
17	6	10	21	20	7	24	70	25	8
1	0	1	2	2	1	3	14	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	6	6	11	5	5	76	5	2
√	√	√	√	Δ	√	√	×	√	√

Figura B.1 – Base de dados no Excel

Análises aos Lubrificantes						
Nº de frota	xxxx					
Dados do Equipamento						
Matrícula:	xxxx	Marca:	xxxx	Modelo:	xxxx	
Dados do Lubrificante						
Lubrificante:	Lubrificante xxxxx				✓ Normal △ a Vigiar ✗ Perigo	
Resultado das Amostras						
Data		26/01/2011	08/07/2011	12/01/2012	29/08/2012	12/01/2015
Refª amostra		651290	660233	691605	734176	933666
Kms do Equip.		320 134	330 734	355642	376 769	472 423
Kms do Lubrif.		5 214	17 212	18125	21 127	15 647
Estado						
Anticogelante (%)	(PE-TA.071)	< 0.08	< 0.08	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Aparência (adim)	(PE-TA.096)	Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
Combustível (%)	(PE-TA.071)	< 2	< 2	< 1	< 1	< 1
Teor de água (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Teor de água (Finacheck) (%)	(PE-5022-AI)					
Fuligem (%)	(DIN 51452)	1.5	2	2	2	2
Nitração (ABS/cm)	(PE-TA.071)	8	8	4	9	< 1
Oxidação (ABS/cm)	(PE-TA.071)	6	8	5	9	15
Sulfatação (ABS/cm)	(PE-TA.071)	2	2	< 1	4	23
TBN (mgr KOH/gr)	(ASTM D-2896-07a)	11.36	10.8	10,5	10,8	12,3
Viscosidade a 100 °C (cst)	(ASTM D-445-11)	13.4	13.7	13,4	13,4	14,79
Metais de Desgaste e Contaminação						
Teor em Al (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	4	11	3	7	10
Teor em Cr (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	1	2	1	3	3
Teor em Cu (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	11	7	4	66	10
Teor em Fe (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	53	54	20	58	106
Teor em Mo (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	79	137	51	80	152
Teor em Na (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	4	40	123	281	14
Teor em Ni (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	1	1	0	1	1
Teor em Pb (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	3	2	1	5	6
Teor em Si (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	9	10	3	10	12
Teor em Sn (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	0	2	0	6	1
Teor em V (ppm)	(ASTM D-5185-05 mod.)	0	0	0	0	0
Partículas						
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	21	6	7	24	4
Diagnóstico						
Diagnóstico da Amostra		✓	△	✗	✗	△

Figura B.2 – Base de dados no Excel - Viatura

Os dados introduzidos não são mais do que as diversas variáveis dos lubrificantes que foram quantificadas e analisadas.

2. Na segunda fase foram introduzidos os modelos matemáticos na folha de cálculo, com o objectivo de analisar as diversas variáveis. Os modelos matemáticos foram aplicados segundo duas formas diferentes: uma, utilizando as fórmulas e ferramentas do *Excel*, e outra, utilizando as fórmulas referidas em capítulo anterior. Seguidamente, referenciar-se-ão algumas fórmulas e ferramentas utilizadas directamente do *Excel*:
 - Gráficos de linha;
 - Média – MÉDIA (A1:A13);
 - Desvio padrão – DESVPAD (A1:A13);
 - Tabela t–Student – INVT (probabilidade; graus-liberdade);
 - Intervalo de Confiança – INT.CONFIANCA (alfa; desvio-padrão; tamanho).

O primeiro modelo matemático usado foi o do alisamento exponencial de 1ª ordem, que utiliza como estimativa do histórico o valor previsto para o período actual, pelo que, para o cálculo do valor do instante seguinte, apenas se necessita do valor real para o período actual e do respectivo valor previsto para este mesmo período. Adicionalmente, é necessário aplicar um parâmetro de alisamento, α , que corresponde, genericamente, ao peso que se pretende dar ao histórico no cálculo do valor para o período seguinte; o valor deste parâmetro situa-se entre 0 e 1, (Makridakis, Wheelwright 1989), (Farinha 2011).

A fórmula de cálculo do período seguinte é dada por:

$$S_{t+1} = \alpha \cdot x_t + (1 - \alpha)S_t \Leftrightarrow S_{t+1} = \alpha \sum_{i=0}^t (1 - \alpha)^i x_{t-i} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

A fórmula atrás referida foi introduzida na folha cálculo e foram dados valores ao parâmetro α de 0,1; 0,5; 0,9, como se pode verificar na tabela B.1, retirada do *Excel*.

Tabela B.1 – Aplicação do alisamento exponencial

Fuligem (%)				
Período (Km)	Val. Ob.	Prev. c/ $\alpha=0,1$	Prev. c/ $\alpha=0,5$	Prev. c/ $\alpha=0,9$
10 000	2,30			
15 000	2,00	2,30	2,30	2,30
15 000	2,90	2,27	2,15	2,03
15 000	2,50	2,33	2,53	2,81
20 000	2,50	2,35	2,51	2,53
25 000		2,36	2,51	2,50

O presente modelo foi aplicado a cada variável que é referenciada no relatório de análises dos lubrificantes representados na figura B.2. Para análise desta tabela foram criados gráficos de linhas que representam a evolução da degradação das respectivas variáveis estudadas e a respectiva previsão de degradação (Figura B.3).

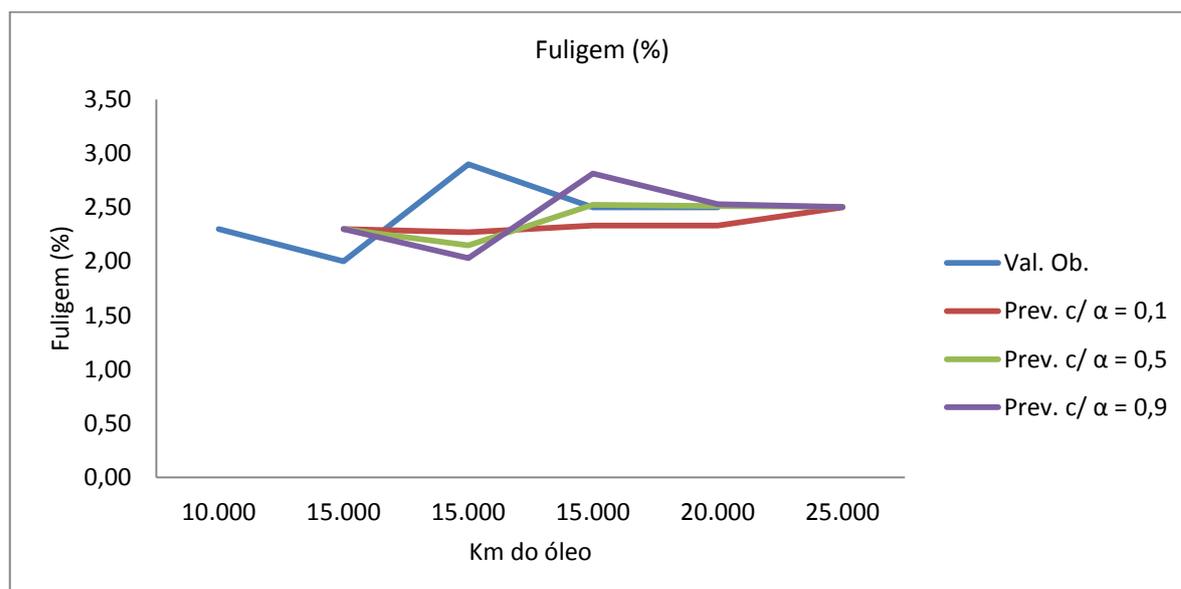


Figura B.3 – Gráfico da tabela alisamento exponencial

O segundo modelo aplicado ao acompanhamento e evolução da degradação dos óleos foi o modelo de distribuição *t-Student*, utilizado para pequenas amostras $n \leq 30$, em substituição da distribuição normal, que é utilizada para grandes amostras $n \geq 30$.

O objectivo da utilização deste modelo matemático é de estimar a média dos valores das variáveis estudadas. Para conseguir este objectivo foram feitas várias análises no *Excel*, tal como se ilustra na tabela B.2.

Tabela B.2 – Aplicação da distribuição *t-Student* para estimar a média

Fuligem (%) <i>t-Student</i> unilateral					
Nível de significância	$\alpha = 0,001$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$
Media "Amostra"	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Desvio Padrão "Amostra"	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
α	0,001	0,01	0,05	0,1	0,2
t crítico	10,21	4,54	2,35	1,64	0,98
Desvio Padrão "população"	1,70	1,28	0,91	0,71	0,46
Média da "população" (μ)	2,15+1,70	2,15+1,28	2,15+0,90	2,15+0,71	2,15+0,46
Limite superior	3,85	3,43	3,06	2,86	2,61

Para se aplicar a distribuição *t-Student*, a distribuição da população original deve ser essencialmente normal. Contudo, podem obter-se bons resultados se:

- For basicamente simétrica;
- Possuir uma única moda.

Ao aplicar a distribuição *t-Student* no lugar da distribuição normal, quando não se conhece σ , a utilização de s de uma pequena amostra incorpora outra fonte de erro. Para se manter o grau de confiança desejado, compensa-se a variabilidade adicional ampliando o intervalo de confiança por um processo que substitui o valor crítico z_α por outro t_α obtido na tabela da distribuição *t-Student*.

Para estimar a média da população, considerando uma cauda da distribuição *t* e $n-1$ graus de liberdade, aplica-se a expressão:

$$\mu = \bar{X} + t_\alpha * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Onde t_α corresponde ao *t* crítico para uma cauda, considerando o intervalo de confiança desejado e os graus de liberdade $n-1$, valor obtido na tabela da distribuição *t*; obtém-se assim a média que se queria estimar. Por fim, utilizam-se testes de hipóteses.

Testes de hipóteses *t-Student* sobre o valor médio μ

$$H_0: \mu = \mu_0$$

Considera-se a variável aleatória \bar{X} (média de amostras de dimensão n) cuja distribuição para pequenas amostras ($n < 30$) é:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n-1}}} \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde:

- \bar{X} Média da amostra;
- μ Valor fixo usado para comparação com a média da amostra;
- S Desvio padrão amostral;
- n Tamanho da amostra.

Em geral, σ (desvio padrão da população) é desconhecido, sendo usual substituir este pelo s (desvio padrão da amostra).

A regra da decisão será:

- Para um teste unilateral, utiliza-se um só valor crítico (associado ao nível de significância escolhido) e rejeita-se a hipótese H_0 - sempre $t > t_{\text{crítico}}$ ou seja, o módulo do valor calculado para a estatística t ultrapassa o valor crítico.

Podem verificar-se os cálculos realizados para o teste de hipóteses na tabela B.3.

Tabela B.3 – Aplicação do teste hipóteses na distribuição t- Student

Teste de Hipóteses					
μ_0 - Arbitrado (média da população)	t Calculado	t tabela $\alpha= 0,001$	t tabela $\alpha= 0,05$	t tabela $\alpha= 0,1$	t tabela $\alpha= 0,2$
0,50	2,99	10,21	2,35	1,64	0,98
1,00	2,09	10,21	2,35	1,64	0,98
2,00	0,27	10,21	2,35	1,64	0,98
3,00	-1,54	10,21	2,35	1,64	0,98
3,50	-2,45	10,21	2,35	1,64	0,98
4,00	-3,35	10,21	2,35	1,64	0,98
	μ_0	3,48	0,85	1,25	1,61

3. A terceira e última fase do modelo é seguida de uma análise e estudo profundo dos diversos resultados obtidos, consequentes da aplicação dos modelos matemáticos e estatísticos. Desta forma, obter-se-á a evolução da degradação dos óleos, bem como a procura de soluções e melhorias nos planos de manutenção.

Em síntese final, a abordagem aqui apresentada é aplicável ao estudo da degradação dos óleos, indo ao encontro da prática da implementação de políticas de manutenção condicionada/preditiva por parte das organizações, levando à redução de custos, ao aumento da sua produtividade e qualidade dos serviços e ou produtos.

ANEXO C - ARTIGOS PUBLICADOS E ACEITES PARA PUBLICAÇÃO

C.1 Artigo publicado

- Hugo Raposo, José Torres Farinha, Luís Ferreira, Diego Galar (2017): “An integrated econometric model for bus replacement and spare reserve based on a condition predictive maintenance model”. Maintenance and Reliability. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2017; 19 (3): 358-368, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.3.6>. Pp358-368.

An integrated econometric model for bus replacement and determination of reserve fleet size based on predictive maintenance

Abstract

Maintenance policies influence equipment availability and, thus, they affect a company's capacity for productivity and competitiveness. It is important to optimize the Life Cycle Cost (LCC) of assets, in this case, passenger bus fleets. The paper presents a predictive condition monitoring maintenance approach based on engine oil analysis, to assess the potential impact of this variable on the availability of buses. The approach has implications on maintenance costs during the life of a bus and, consequently, on the determination of the best time for bus replacement. The paper provides an overview of economic replacement models through a global model, with an emphasis on availability and its dependence on maintenance and maintenance costs. These factors help to determine the size of the reserve fleet and guarantee availability.

Keyword: Condition monitoring; LCC; Replacement; Reserve Fleet

C.2 Artigo aceite para publicação

- Hugo Raposo, José Torres Farinha, Luís Ferreira, Diego Galar (2017): “Dimensioning Reserve Bus Fleet using Life Cycle Cost Models and Condition Based / Predictive Maintenance - a Case Study”. Paper accepted on 17.06.2017 to be published on Public Transport. Submission code: PUTR-D-16-00041.

Dimensioning Reserve Bus Fleet using Life Cycle Cost Models and Condition Based / Predictive Maintenance - a Case Study

Abstract

The paper demonstrates the dependence of a fleet reserve of buses on the maintenance policy of the whole fleet, in particular, condition based maintenance using motor oil degradation analysis.

The paper discusses an approach to evaluate the oil degradation and the prediction of the next value for one relevant oil variable.

The methodology to evaluate the reserve fleet is based on bus availability, estimated through the Mean Time Between Failures and the Mean Time To Repair ratios. Through the use of econometric models, it is possible to determine the most rational size of the reserve fleet.

Keywords: *LCC; Fleet Reserve; Maintenance; Econometric Models; Economic life.*

C.3 Artigo aceite para publicação

- Hugo Raposo, José Torres Farinha, Luís Ferreira, Filipe Didelet (2017): Economic life cycle of the bus fleet: a case study. Int. J. of Heavy Vehicle Systems. Paper accepted on 25 January, 2017. Submission code: IJHVS-1082.

Economic life cycle of the bus fleet: a case study

Abstract

The purpose of the paper is to discuss the application of econometric models to life-cycle cost (LCC) of an urban bus fleet with an emphasis on the maintenance costs.

The practical results are compared with theoretical ones, which represent a good maintenance and functioning management. The influence of inflation ratio, as well as the price of fuel in the withdrawal time are evaluated.

The paper analyses if there is a variation at the time of the vehicle replacement, obtained from several econometric methods namely the annual uniform income and minimisation of the average total cost with reduction to the present value.

It also emphasises an eventual relation between the maintenance policy and the reserve fleet, and the relation between maintenance performance and time replacement of bus fleet.

Finally, the paper analyses differences between replacement simulations from theoretical econometric models and the same ones applied to real data.

Keyword: *Equipment Replacement; LCC; Spare Fleet; Planned Maintenance.*