



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



Análise Comparativa de Custos de Operação de Autocarros Urbanos

JOANA BRANDÃO PIRES TERRAS GONÇALVES
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogais: Doutor José Augusto da Silva Sobral

Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Julho de 2021



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Análise Comparativa de Custos de Operação de Autocarros Urbanos

JOANA BRANDÃO PIRES TERRAS GONÇALVES
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogais: Doutor José Augusto da Silva Sobral

Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Julho de 2021

*“The true delight is in the finding out rather
than in the knowing.”*
Isaac Asimov

Página intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao Engenheiro Manuel Pombo, que considero coorientador de todas as formas, exceto formalmente, por toda simpatia e receptividade para a troca de conhecimento que demonstrou, e pela disponibilidade para a revisão deste documento.

Em primeiro lugar e meio, ao Engenheiro Michael Borsdorf por todo o tempo e paciência dispensados a arranjar os recursos necessários, a ensinar-me como obtê-los, e por todas as críticas construtivas que foi fazendo nas oportunidades que tive de conviver com ele.

À minha Família, especialmente aos meus pais por se terem combinado geneticamente para criarem a primeira Engenheira da Família e por me terem dado as circunstâncias para que esta oportunidade surgisse, e aos meus tios. Aos meus avós, especialmente ao meu avô José Duarte Pires, de quem herdei a irreverência, e ao meu avô Sebastião Terras Gonçalves, pelo feitio galhofeiro e pelo sentido de humor.

Ao Engenheiro Nuno Oliveira, amigo e ex-colega, pela paciência para as birras, os dramas e as crises existenciais pelo caminho e pelas leituras ao longo do desenvolvimento deste documento.

Ao meu amigo Pedro “Vassoura” que me disponibilizou espaço do seu local de trabalho como local de refúgio (físico e até emocional, por vezes), concentração e produtividade.

Por fim, ao meu orientador Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves por me ter concedido o privilégio de conviver com ele, além de todo o tempo (e pachorra, sejamos sinceros) despendido em todas as nuances abordadas a seguir: além de um dos professores mais memoráveis que apanhei em todo o meu percurso académico revelou-se um orientador pedagógico (que nem todos o são, e há que ser louvado por isso) sempre disponível, competente e com uma capacidade de transmissão de conhecimentos e ferramentas extraordinária; por se ter revelado, além de um académico e profissional excecional, uma pessoa íntegra e segura de si e por, mesmo que inconscientemente, me ter contagiado parte dessa resiliência e plenitude, para tudo o que farei doravante; porque dispensou sempre espaço para conversas triviais, abordar factos aleatórios e prover situações de chorar a rir; por todas as convivências se terem revelado interessantes e enriquecedoras, academicamente ou não. No fundo, as orientações para escrever este “papal” foram o mínimo que captei e por isso é que isto foi uma experiência plena. Dos parágrafos desta página, constam neste os meus mais profundos agradecimentos e todo o reconhecimento que não consigo expressar de outra maneira à pessoa mais intimidante com que tive de lidar (que mesmo assim foi a minha primeira opção como orientador). Mesmo nos seus dias de mau humor, foi divertido e não consigo imaginar um orientador mais compatível comigo. Quando for grande quero ser como ele.

Página intencionalmente deixada em branco

Resumo

Esta dissertação desenvolve uma análise comparativa entre os custos de operação dos diversos segmentos de frota dos autocarros de uma das principais empresas de transportes rodoviários de Lisboa, focando-se nos custos de manutenção de acondicionamento geral e de rotáveis, consumos de combustível e de óleo de motor, mas também em distâncias percorridas, taxas de avaria e taxas de imobilização. É também efetuado um balanço das emissões poluentes de Monóxido de Carbono, Hidrocarbonetos Não Queimados, Óxidos de Azoto e Partículas, e do gás com efeito de estufa Dióxido de Carbono.

A informação tratada refere-se à atividade de várias tipologias de autocarros urbanos (*standard*, articulado, médio e mini) de duas tecnologias de propulsão, Diesel e Gás Natural Comprimido, entre os anos de 2000 e 2019.

O termo de comparação utilizado, o segmento, permitiu perceber que, mesmo dentro da mesma tecnologia, os resultados obtidos não são homogéneos. A implementação de tecnologias alternativas ao Diesel poderá enfrentar problemas logísticos. Os custos de manutenção aumentam com a idade dos respetivos veículos e não são homogéneos na mesma tecnologia e na mesma tipologia. O impacto ambiental é muito influenciado pela idade dos segmentos constituintes da frota. A comparação de tecnologias de diferentes combustíveis carece de uma unidade comparável e deve ser evitada a utilização de valores absolutos.

Esta dissertação oferece informação que não estava previamente organizada e que poderá ser incluída em Análises de Ciclo de Vida mais completas ou poderá servir de termo de comparação para cenários futuros da frota.

Palavras chave: Transporte Público Urbano, Modo Autocarro, Manutenção, Consumos, Emissões, Tecnologia de Propulsão

Página intencionalmente deixada em branco

Abstract

This dissertation develops a comparative analysis between the operating costs of the various segments of the bus fleet of one of the main public transportation companies of the city of Lisbon, focusing on the maintenance costs of general reconditioning and rotables, fuel and engine oil consumption, but also on travelled distances, breakdown rates and immobilization rates. It is also made a balance of the pollutant emissions of Carbon Monoxide, Non-Methane Hydrocarbons, Nitrogen Oxides and Particulate Matter, and the greenhouse gas Carbon Dioxide.

The processed information refers to the activity of various types of urban buses (standard, articulated, midi and mini) of two propulsion technologies, Diesel and Compressed Natural Gas, between the years 2000 and 2019.

The comparison point used, the segment, allowed the realization that, even within the same technology, the results obtained are not homogeneous. The implementation of alternative technologies to Diesel may face logistical problems. Maintenance costs increase with the age of the respective vehicles and are not homogeneous within the same technology and bus type. The environmental impact is strongly influenced by the age of the fleet segments. The comparison between different fuel technologies needs a comparable unit and the usage of absolute values should be avoided.

This dissertation offers information that was not previously organized and that may be included in more complete Life Cycle Analyses or may serve as a point of comparison for future bus fleet scenarios.

Keywords: Urban Public Transportation, Bus, Maintenance, Consumption, Emissions, Propulsion Technology

Página intencionalmente deixada em branco

Nomenclatura e Siglas

$\langle M_{j,k} \rangle$	Distância total percorrida por todos os veículos da categoria j e tecnologia k
ACV	Análise do Ciclo de Vida
C.E.	Consumo Específico
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CTP	Custo Total de Propriedade
EEA	European Environment Agency
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
EF _{i,j,k}	fator de emissão específico da tecnologia do poluente i para o veículo da categoria j e tecnologia k
E _{i,j}	Emissões do poluente i dos veículos da categoria j
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
Euro I, II, III, IV, V	Limites europeus de emissões de poluentes
GJ	Gigajoule
GNC	Gás Natural Comprimido
GPL	Gás Petróleo Liquefeito
HC	Hidrocarbonetos não queimados
IPO	Inspeção Periódica Obrigatória
Nm ³	Metro cúbico normal
NM VOC	Non-Methane Volatile Organic Compound

NO _x	Óxidos de Azoto
PM	Particulate Matter
SCC	Social Cost of Carbon
SIRAPA	Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente
SO ₂	Dióxido de Enxofre
ton	Tonelada
TPM	Total Productive Maintenance
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe

Índice

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Contribuição.....	4
1.4. Estrutura do Trabalho	4
Capítulo 2 – Estado da arte	5
2.1. Análise do Ciclo de Vida	6
2.2. Modelação do Ciclo de Vida.....	7
2.3. Custo do Ciclo de Vida.....	8
2.4. Visão Geral das Tecnologias de Propulsão de Autocarros	11
Capítulo 3 – Enquadramento e Obtenção de Dados.....	17
3.1. Dados Operacionais	18
3.1.1. Distância Percorrida	18
3.1.2. Autocarros Ativos	19
3.1.3. Taxa de Imobilização por Status e Taxa de Imobilização Global.....	20
3.1.4. Taxa de Avarias	21
3.2. Dados de Manutenção.....	21
3.2.1. Manutenção Geral	21
3.2.2. Rotáveis	24
3.3. Dados de Consumos de Combustível e Óleo.....	24
3.4. Dados Ambientais	25
Capítulo 4 – Tratamento de Dados para Análise Comparativa.....	27
4.1. Dados Operacionais.....	27
4.2. Dados de Manutenção.....	29
4.2.1. Manutenção Geral	29
4.2.2. Rotáveis	30
4.3. Dados de Consumos de Combustível e Óleo	30
4.4. Dados Ambientais	31
4.4.1. Emissões de CO, HC, NO _x e PM.....	31
4.4.2. Emissões CO ₂	35
Capítulo 5 – Análise Global dos Resultados Obtidos	37
5.1. Dados Operacionais	37
5.1.1. Distância Percorrida	37
5.1.2. Taxas de Imobilização por Status e Taxas de Imobilização Global.....	42
5.1.3. Taxa de Avarias	47
5.2. Dados de Manutenção.....	49
5.2.1. Manutenção Geral	49
5.2.1.1. Manutenção Curativa	54
5.2.1.2. Manutenção Preventiva	55
5.2.2. Manutenção Rotáveis	56
5.2.2.1. Motor.....	58
5.2.2.2. Caixa de Velocidades e Diferencial	61
5.3. Dados Consumos de Combustível e Óleo.....	64
5.3.1. Consumo de Combustível.....	64
5.3.2. Consumo de Óleo.....	65
5.4. Dados Ambientais	66
5.4.1. Emissões de Monóxido de Carbono.....	67
5.4.2. Emissões de Hidrocarbonetos não Queimados	69
5.4.3. Emissões de Óxidos de Azoto.....	71
5.4.4. Emissões de Partículas	73
5.4.5. Emissões de Dióxido de Carbono	74
Capítulo 6 – Conclusões	77
6.1. Conclusões	77
6.2. Criação de cenários para avaliação de futuros segmentos de frota	79
6.3. Propostas de trabalho futuro	80
Referências.....	83
Anexos	89

Página intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

Figura 1 - Árvore de decisão para as emissões de escape de veículos rodoviários (adaptado de (Leonidas Ntziachristos, n.d.))	33
Figura 2 - Comparação Idade com Quilômetros Médios Acumulados	38
Figura 3 - Comparação Idade com Quilômetros Médios Acumulados incluindo as novas aquisições	38
Figura 4 - Distância Média Percorrida por Veículo por Ano	39
Figura 5 - Evolução dos Quilômetros Acumulados	41
Figura 6 - Taxas de Imobilização por Status Anuais	42
Figura 7 - Taxas de Imobilização Global por Status Relativas	43
Figura 8 - Categoria Garantias das Taxas de Imobilização	44
Figura 9 - Categoria Abalroamentos das Taxas de Imobilização – Sazonalidade	44
Figura 10 - Taxa de Imobilização Global de alguns segmentos e média da frota	46
Figura 11 - Sazonalidade da Taxa de Imobilização Global	47
Figura 12 - Taxas de Avaria com Impacto	48
Figura 13 - Sazonalidade das Taxas de Avarias	49
Figura 14 - Relação Custos Totais Manutenção por Quilômetro	50
Figura 15 - Relação Tempo de Mão de Obra Total por Quilômetro	50
Figura 16 - Relação Custos Totais Manutenção por Quilômetro com a idade	52
Figura 17 - Média da Relação Custos Totais Manutenção por Quilômetro com a idade	53
Figura 18 - Relação Custos Manutenção Curativa por Quilômetro	54
Figura 19 - Relação Tempo de Mão de Obra Manutenção Curativa por Quilômetro	54
Figura 20 - Relação Custos Manutenção Preventiva por Quilômetro	55
Figura 21 - Relação Tempo de Mão de Obra Manutenção Preventiva por Quilômetro	55
Figura 22 - Variação dos Custos e Nº Intervenções da Manutenção de Motores	56
Figura 23 - Variação dos Custos e Nº Intervenções da Manutenção de Caixas de Velocidades	57
Figura 24 - Variação dos Custos e Nº Intervenções da Manutenção de Diferenciais	57
Figura 25 - Variação dos Custos Absolutos Anuais da Manutenção de Motores	58
Figura 26 - Variação dos Custos Anuais da Manutenção de motores por Veículo	59
Figura 27 - Relação Custos Totais Manutenção Geral e Rotáveis por Quilômetro 2010-2019	63
Figura 28 - Consumo Específico de Combustível Anual	64
Figura 29 - Consumo Específico Combustível Sazonal	65
Figura 30 - Consumo Específico Óleo Anual	65
Figura 31 - Consumo Específico de Óleo Sazonal	66
Figura 32 - Fatores de Emissão CO	67
Figura 33 - Emissões anuais de CO por segmento	68
Figura 34 - Emissões anuais absolutas de CO	69
Figura 35 - Fatores de Emissão de HC	69
Figura 36 - Emissões anuais de HC por segmento	70
Figura 37 - Emissões anuais absolutas de HC	70
Figura 38 - Fatores de Emissão de NO _x	71
Figura 39 - Emissões anuais de NO _x por segmento	72
Figura 40 - Emissões anuais absolutas de NO _x	72
Figura 41 - Fatores de Emissão de PM	73
Figura 42 - Emissões anuais de PM por segmento	73
Figura 43 - Emissões anuais absolutas de PM	74
Figura 44 - Fatores de Emissão de CO ₂	74
Figura 45 - Emissões anuais de CO ₂ por segmento	75
Figura 46 - Emissões anuais absolutas de CO ₂	76

Página intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Resumo dos veículos abrangidos e abordados pela metodologia Tier 2 (adaptado de [36])</i>	34
<i>Tabela 2 - Resumo fatores de emissão de gases de escape para veículos pesados (adaptado de [36])</i>	34
<i>Tabela 3 - Resumo fatores de emissão de gases de escape para autocarros (adaptado de [36])</i>	35
<i>Tabela 4 - Fatores de emissão do Gás Natural e do Diesel (adaptado de [40])</i>	35
<i>Tabela 5 - Taxas de Imobilização Global</i>	45
<i>Tabela 6 - Custo por Intervenção Curativa em Motores</i>	60
<i>Tabela 7 - Custos por Intervenção Curativa em Caixas de Velocidades</i>	61
<i>Tabela 8 - Custo Por Intervenção Curativa em Diferenciais</i>	62

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo tem como objetivo o enquadramento da dissertação, explicando o contexto e a motivação para o seu desenvolvimento, os objetivos, a sua contribuição e a estrutura adotada.

1.1. Enquadramento

Atualmente, a operação de transportes públicos é fundamental para a sociedade e o seu funcionamento e confiabilidade afetam a qualidade de vida das populações que deles dependem. Perante um pensamento cada vez mais responsável e sustentável, as empresas de transporte rodoviário enfrentam desafios, não só sociais e económicos, como também ambientais. O bom funcionamento dos transportes públicos é fundamental para reduzir o fluxo de veículos de transporte de passageiros individuais, tornando este tema atual e relevante.

Torna-se assim importante o desenvolvimento de estudos e de modelos que contribuam para o conhecimento e para o desenvolvimento dos fornecedores dos serviços de transportes públicos urbanos. A qualidade e a sustentabilidade económica das operadoras destes transportes assentam em parâmetros de funcionamento, que acarretam custos, como as práticas e políticas de manutenção e os custos relativos aos consumos de combustível, mas que são fundamentais para um funcionamento que satisfaça as populações que servem. Face à responsabilidade ambiental (e às consequentes legislações impostas), torna-se necessário também monitorizar o impacto ambiental deste tipo de serviço e apresenta-se também a necessidade de inovação.

Os transportes públicos coletivos são um serviço fundamental para uma grande parte da população. Para tornar este serviço atrativo é, não só necessário que a oferta cubra as exigências da população servida, como também o é garantir a qualidade do serviço. A operação dos veículos dos fornecedores deste serviço implica, entre muitos outros, custos de operação, derivados dos consumos de combustível e custos de manutenção, para manter e restaurar o bom estado dos veículos. Para o desenvolvimento desta dissertação, os dados necessários foram fornecidos pela Carris.

A Carris é a principal operadora de transportes rodoviários urbanos na cidade de Lisboa, tendo uma frota de mais de 700 viaturas de diversas tecnologias rodoviárias e ferroviárias, 3 ascensores e 1 elevador vertical (Carris, n.d.-b). A operação da Carris abrange, necessariamente, a manutenção das suas viaturas, além de um compromisso para a mobilidade sustentável e a procura de soluções novas e inovadoras para responder aos desafios no âmbito dos transportes.

Esta dissertação incidirá fundamentalmente sobre os custos da fase de operação de autocarros urbanos, mas são vários os custos que se enquadram no Custo do Ciclo de Vida. O Custo do Ciclo

de Vida começa com os Custos de Aquisição, prossegue com os Custos de Posse (que podem ser simplesmente relacionados com a Lei), Custos de Operação, Custos de Manutenção e termina com os Custos de Abate. Tanto os Custos de Operação com os Custos de Manutenção implicam custos diretos e indiretos: os Custos de Operação implicam principalmente os custos associados à condução dos veículos e ao consumo de combustível, mas indiretamente incluem todos os custos associados ao planeamento e à organização do serviço de transporte público; os Custos de Manutenção incluem, indiretamente, os custos do planeamento e organização da manutenção, da formação (que transmite o conhecimento para a sua execução), mas concretamente acarreta os custos do abastecimento, dos serviços de limpeza, dos materiais, peças e respetiva mão de obra, de consumíveis como os pneus e lubrificantes e de outros serviços de terceiros (M. Pombo, comunicação pessoal, abril, 2021).

Sendo os Custos de Manutenção um tema predominante neste trabalho, considerou-se pertinente enquadrar alguns fatores que influem nos Custos de Manutenção. São inúmeros os fatores que exercem influencia nos Custos de Manutenção, com peso e consequências diferentes. Apesar de nem todos os aspetos a seguir refletidos serem abordados, considerou-se relevante fazer uma reflexão, referindo sinteticamente alguns destes fatores:

- Especificações / Características dos autocarros – neste ponto, inserem-se os tipos de motorização, que difere na energia e nas formas de armazenamento e respetiva capacidade; a tipologia, caracterizada principalmente pelas dimensão e lotação; low-floor / low-entry, que tem consequências no tipo de ponte traseira e na manutibilidade (grau de facilidade em praticar a manutenção); o número de portas (que na presente dissertação varia entre 2 e 3); a rampa para os passageiros de mobilidade reduzida ser manual ou elétrica; a plataforma de comunicações do veículos;
- Qualidade de projeto e de fabrico dos autocarros – ao nível do chassis (estrutura, suspensão, sistema pneumático, motor e caixa de velocidades), carroçaria e instalação elétrica;
- Fatores como a distância percorrida anualmente por cada veículo, com o acréscimo da idade e da quilometragem acumulada dos mesmos;
- Políticas de renovação da frota e respetiva gestão da frota na fase final da vida útil;
- Características da operação – além de fatores organizacionais e da organização da operação, como em relação à operação em si: condições atmosféricas (ar condicionado e *chauffage*), perfil dos percursos, qualidade dos pavimentos, velocidade comercial, ordenamento do trânsito/grau de prioridade ao Transporte Público, distância média entre paragens, lotação média e taxa de ocupação, percursos em vazio e potencial vandalismo;
- Manutenção dos veículos – organização da manutenção e os respetivos fatores organizacionais, estratégias de manutenção e os seus aspetos logísticos, instalações e equipamentos e os fatores humanos, nomeadamente a quantidade dos colaboradores e a sua

qualificação (que depende do seu contexto social e cultural, da sua formação base e do contexto da seleção e contratualização), a disponibilidade de formação durante o serviço e outros fatores laborais.

Além dos problemas habituais que uma empresa enfrenta economicamente, para que seja possível servir com qualidade e fiabilidade, a uma empresa de transportes rodoviários surge também a responsabilidade social e ambiental. A atividade dos transportes é das mais responsáveis pela poluição atmosférica (Gomes Martins, 2020), atribuindo às operadoras de transportes um papel fundamental em relação à mobilidade sustentável e à contribuição para uma maior qualidade de vida das populações que servem. Como já dito, a operação deste tipo de serviço inclui custos de operação e implica uma carga ambiental. Na atualidade, esta área torna-se merecedora de uma investigação mais aprofundada quanto ao seu funcionamento e às tentativas de redução das cargas energéticas e ambientais, mantendo os custos num intervalo que a sociedade esteja disposta a tolerar (Ally & Pryor, 2016).

Nesta dissertação, serão então abordados parâmetros importantes dos custos de operação e de manutenção, como os custos de manutenção dos veículos e dos seus respetivos rotáveis, os consumos de combustível e de óleo de motor, que em muito contribuem para os custos de operação e será também feito um balanço das emissões poluentes para um certo período de atividade.

1.2. Objetivos

No contexto acima descrito, os objetivos da presente dissertação são os seguintes:

- Realizar uma revisão bibliográfica da Análise do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*), e do Custo de Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost*), nomeadamente da operação de frotas rodoviárias urbanas, com o propósito de compreender as suas aplicações, elementos constituintes e os aspetos a ter em conta da operação de autocarros urbanos;
- Obtenção, tratamento e análise comparativa de dados relativos à operação de vários segmentos de autocarros da Carris, sendo eles distâncias percorridas, taxas de imobilização por *status* e taxas de imobilização global, taxas de avarias, custos e tempo de mão de obra de manutenção geral e de rotáveis, consumos de combustível e óleo de motor e emissões;
- Elaborar propostas de trabalhos futuros e criação de cenários para avaliação e comparação de futuros segmentos da frota.

1.3. Contribuição

No presente trabalho faz-se uma análise comparativa dos custos de operação e de manutenção de uma frota de autocarros urbanos. Para o seu desenvolvimento, foram obtidos dados da operação da frota da Carris a partir do *software* de apoio à gestão. Este tipo de análise revela-se oportuno, uma vez que a informação e o conhecimento desenvolvido e explorado nesta dissertação não se encontra previamente organizada pelo *software*.

Estando desenvolvido o cenário da operação de uma frota de autocarros composta por várias tipologias e, ao momento do desenvolvimento da dissertação, duas tecnologias de propulsão, a informação contida neste documento revela-se também como termo de comparação para futuros cenários, alterações e desenvolvimentos da frota e poderá ser também incluída em Análises do Ciclo de Vida mais completas.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos e 4 anexos.

No primeiro capítulo, a dissertação é contextualizada e introduzida. No segundo capítulo procede-se a uma revisão bibliográfica alusiva à Análise do Ciclo de Vida. No terceiro capítulo são descritos os dados e parâmetros de operação obtidos através do *software* de apoio à gestão da manutenção da Carris e, no quarto capítulo, é abordado o processamento e tratamento dos mesmos. No quinto capítulo são analisados os resultados e são feitas representações gráficas.

No sexto capítulo constam as conclusões da presente dissertação, bem como propostas de desenvolvimento de trabalhos futuros.

Por fim, são apresentados as referências bibliográficas e os anexos.

Nos anexos consta o tratamento e análise de dados de falha e suspensos de alguns componentes reparáveis e não reparáveis.

Capítulo 2 – Estado da arte

As operadoras de frotas de autocarros têm vindo a ter interesse crescente em tecnologias alternativas de autocarros com baixas emissões, impacto ambiental reduzido e potenciais custos operacionais mais baixos. Contudo, com a incerteza quanto ao custo total de propriedade de novas tecnologias e dos impactos do seu ciclo de vida, além dos limites dos estudos *well-to-wheel* (impacto ambiental dos processos de obtenção dos combustíveis, do “poço até à roda”), os detentores das frotas podem não ter necessariamente todas as ferramentas e provas para avaliar os impactos do ciclo de vida. Surge então a necessidade de desenvolver modelos de apoio à decisão e de avaliação da incerteza dos impactos do ciclo de vida das tecnologias que constituem uma dada frota, neste caso, das tecnologias alternativas de autocarros (Harris, Soban, Smyth, & Best, 2018). O mercado dos transportes públicos tem crescido nos países desenvolvidos e esta área merece investigação mais aprofundada nas tentativas de redução das cargas energéticas e ambientais, mantendo os custos num intervalo que a sociedade esteja disposta a tolerar (Ally & Pryor, 2016).

Neste capítulo é desenvolvida uma revisão bibliográfica sobre modelos de Análise do Ciclo de vida, cujo objetivo é abordar técnicas de desenvolvimento destes modelos e perceber as parcelas e variantes dos seus métodos. É também abordada uma análise complementar à Análise do Ciclo de Vida, o Custo do Ciclo de Vida e, apesar dos dados disponíveis para análise dizerem respeito apenas à propulsão Diesel e GNC, é feita uma revisão sobre as tecnologias alternativas disponíveis para frotas de autocarros urbanos.

Note-se ainda que há uma outra corrente da literatura neste assunto, relativa ao desenvolvimento de modelos de planeamento destinados a apreender os compromissos entre custos e o nível do serviço, ou seja, quanto à capacidade adequada para o volume de passageiros e à frequência mínima do serviço para garantir a oferta, mas que não será abordada nesta dissertação (Durango-cohen & Mckenzie, 2017).

Este capítulo divide-se nas seguintes secções: na secção 2.1. será introduzido o tema na Análise do Ciclo de Vida e algumas ferramentas para a sua realização; na secção 2.2. são elucidadas algumas metodologias para a modelação do ciclo de vida e de algumas parcelas que o constituem; na secção 2.3. é abordado a análise do Custo de Ciclo de Vida, uma análise paralela à Análise do Ciclo de Vida e na secção 2.4. é ilustrado como é que o Custo de Ciclo de Vida pode ser uma ferramenta de auxílio à decisão na renovação de frotas de autocarros urbanos e é feita uma revisão sobre as várias tecnologias alternativas de autocarros disponíveis e das suas vantagens e desvantagens.

2.1. Análise do Ciclo de Vida

Os métodos da Análise do Ciclo de Vida (ACV) são tipicamente usados para comparar tecnologias alternativas e existem três tipos comuns de ACV: baseadas no processo, baseadas nas entradas e saídas económicas e uma combinação das duas (Harris et al., 2018; Harris, Soban, Smyth, & Best, 2020). A ACV baseada no processo considera entradas (de energia, materiais, etc.) e as resultantes saídas (emissões, desperdícios, produtos, etc.) de cada processo unitário ao longo do ciclo de vida de um produto, isto é, é uma abordagem *bottom-up* (Harris et al., 2018; Lenzen, n.d.). A ACV baseada nas entradas e saídas económicas usa as transações monetárias para caracterizar a cadeia de fornecimento do produto, incluindo os impactos diretos e indiretos, ou seja, numa abordagem *top-down* (Harris et al., 2018). A ACV híbrida é recomendada quando é requerida mais precisão e permite obter um conjunto mais completo de resultados do que uma única das abordagens.

No contexto dos autocarros, a falta de dados sobre componentes é frequentemente citada como a razão dos estudos *bottom-up* não considerarem a fase de fabrico na modelação do ciclo de vida (Xu et al., 2015; Zhou et al., 2016).

Análises do Ciclo de Vida híbridas permitem uma fidelidade adicional aos métodos baseados no processo para secções essenciais do ciclo de vida do produto, como a fase *well-to-wheel* (Moro & Helmers, 2017), com métodos de ACV económicas a abranger a extração e o fabrico da matéria-prima do produto. Trabalho prévio tem vindo a utilizar dados económicos de componentes *standard* (Durango-cohen & Mckenzie, 2017; McKenzie & Durango-Cohen, 2012), enquanto que ACV baseadas no processo têm sido combinadas com os resultados das ACV económicas para quantificar o impacto da adição ou da substituição de itens específicos como, por exemplo, as baterias (Cooney, Hawkins, & Marriott, 2013; Ercan & Tatari, 2015).

A incerteza e avaliação de cenários futuros podem ainda ser abordadas conduzindo análises probabilísticas e de sensibilidade para encontrar fatores críticos e incorporando técnicas, como a Simulação de Monte Carlo, é possível produzir uma maior variedade de resultados possíveis (Harris et al., 2018, 2020), já que as ACV e análises de Custo de Ciclo de Vida (CCV) mesmo abordando o impacto ambiental e económico do ciclo de vida de um produto, estas abordagens não preveem impactos absolutos no futuro (Harris et al., 2020).

A norma ISO 14040 fornece orientações para o desenvolvimento destes modelos (Harris et al., 2018) e inúmeros estudos adaptam ferramentas já estabelecidas nas suas ACV (Harris et al., 2020), como a GREET (Argonne National Laboratory, n.d.-b), a AFLEET (Argonne National Laboratory, n.d.-a), e a GHGenius ((S&T) Squared Consultants Inc., n.d.).

O Custo de Ciclo de Vida é outra abordagem da Análise de Ciclo de Vida, mas analisa os custos monetários envolvidos com um produto ou serviço. O CCV está, mesmo que não diretamente, integrado juntamente com a Análise do Ciclo de Vida, nos princípios de tomada de decisão para a otimização de processos de concepção, durante a sua fase de projeto (Hapuwatte & Jawahir, 2019; Jawahir, Badurdeen, & Rouch, 2013). A integração da Análise do Ciclo de Vida com o Custo de Ciclo de Vida alcança uma metodologia abrangente de avaliação da sustentabilidade (Bradley, Jawahir, Badurdeen, & Rouch, 2018).

2.2. Modelação do Ciclo de Vida

A modelação da ACV pode consistir num ou vários submodelos relativos ao ciclo de vida, desde o processamento e fabrico de materiais (para os veículos e infraestruturas), até à fase de utilização dos veículos e à produção de combustível e eletricidade (Harris et al., 2018). Estes estudos podem também ser combinados com desenvolvimentos anteriores e modelos de previsão (Harris et al., 2020).

Como já referido, utilizam-se fatores relacionados com os processos, como os fatores de emissão, e entradas e saídas económicas. Quanto às entradas económicas, são normalmente avaliadas em termos de combustíveis, custos de aquisição, consumos energéticos, preços de combustível e custos de manutenção que influenciem o CTP (Custo Total de Propriedade) (Ercan & Tatari, 2015; Harris et al., 2020), podendo mesmo ser incluídos nos custos de operação os custos laborais com motoristas, por exemplo, se se vir necessidade de ser mais preciso (Harris et al., 2020). Além disto, é também necessário decidir se a análise é feita a uma frota completa ou, ao nível mais baixo, veículo-a-veículo (Harris et al., 2018). Para uma análise mais profunda, pode ser incluída na ACV a análise do Custo de Ciclo de Vida, onde o enquadramento económico pode considerar o tempo e a variação do valor do dinheiro ao longo dos anos, utilizando taxas de interesse, além de que torna também possível monetizar as emissões poluentes e de gases de efeito de estufa e os impactos na saúde pública (Bradley et al., 2018; Hellgren, 2007).

Adaptando modelos de ciclo de vida já existentes para analisar tecnologias alternativas e cenários pretendidos, é mesmo possível desenvolver modelos de dimensionamento da frota, de atribuição de uma determinada tecnologia a uma rota específica e de gestão energética, no caso dos veículos elétricos e híbridos (Harris et al., 2020).

2.3. Custo do Ciclo de Vida

O conceito do Custo de Ciclo de Vida não é recente e, ao longo dos anos, foram desenvolvidos inúmeros modelos, mas não há um modelo CCV individual que tenha sido aceite como modelo *standard* (Bradley et al., 2018).

No caso do CCV de um veículo, os custos do combustível, custos capitais e custos de manutenção e operação são normalmente incluídos no seu CCV e, matematicamente, o CCV é dado pelo somatório dessas parcelas, sendo que uma delas, o custo do combustível, depende do seu preço e do consumo de veículo para veículo (Hellgren, 2007; Stempien & Chan, 2017).

Qualquer modelo de custo e enquadramento económico deve considerar o tempo como elemento. O custo final a que o modelo chega no presente pode ser anualizado, a uma taxa de juro específica, ao longo da vida útil do ativo. O custo anualizado, dividido pela vida, ciclos ou quilometragem de um ativo, resulta num custo capital por hora, ou ano, ciclo ou mesmo quilómetro ao longo de toda a vida útil (Bradley et al., 2018; Hellgren, 2007).

Um estudo realizado em 2005 (Hellgren, 2007) usou dados existentes para estimar o CCV de algumas tecnologias de propulsão rodoviárias em 2020. Já nesta altura se estimava que veículos híbridos ou elétricos a bateria seriam economicamente concorrentes aos convencionais a combustíveis fósseis.

Os modelos de custo nos contextos rodoviários incluem, tipicamente, o custo do veículo e do combustível. O desempenho dos veículos, consumos de combustível e outras características são normalmente caracterizadas por simulações em computador, podendo ser feitas comparações para diferentes parâmetros, como o preço dos combustíveis. Neste estudo (Hellgren, 2007), um *software*, designado por THEPS, encontra automaticamente a opção de propulsão com menor custo, dadas as restrições e os pré-requisitos. A opção de propulsão que apresente o menor CCV e que cumpra todos os constrangimentos é a opção vencedora. Constrangimentos estes que podem ser requisitos de desempenho. O algoritmo do *software* procura entre as opções disponíveis e encontra o ajuste otimizado das variáveis.

Em relação à monetização de emissões poluentes ou de gases de efeito de estufa, existe o SCC (*Social Cost of Carbon*), que corresponde a um valor monetário provocado pela emissão de uma tonelada de carbono num dado momento no tempo (Pearce, 2003; Wang, Deng, Zhou, & Yu, 2019). Nos valores do SCC estão presentes incertezas, devido a suposições com a modelação das projeções socioeconómicas, respostas climáticas previstas, danos futuros e outros fatores económicos (“Q&A: The social cost of carbon | Carbon Brief,” 2017). Um enquadramento capaz de análise probabilística está apto para incluir o SCC nos cálculos do ciclo de vida. Custos do ciclo de vida energético, cálculos *well-to-wheel* e custos da substituição do sistema energético incluem fatores de previsão,

representando as alterações anuais previstas dos futuros cenários energéticos e tecnológicos. Pode ainda ser considerada uma taxa de desconto, aplicada aos cálculos do custo do ciclo de vida, para representar o custo num valor monetário para um dado momento cronológico (Harris et al., 2020).

No universo dos autocarros urbanos, o mercado dos veículos a Diesel está muito mais explorado que o mercado dos veículos híbridos ou a pilha de combustível, e continua a ser bastante maior que o mercado dos veículos a Gás Natural (Ally & Pryor, 2016). O Gás Natural Comprimido (GNC) é o combustível mais utilizado a seguir ao Diesel e ambos são responsáveis pelas emissões de diversos poluentes atmosféricos, como o CO, SO₂, NO_x e partículas (Ercan, Zhao, Tatari, & Pazour, 2015). Algumas tecnologias rodoviárias alternativas que se estão a considerar são autocarros híbridos Diesel-elétricos, elétricos a bateria (de carregamento rápido e lento) ou mesmo a pilha de hidrogénio (Ally & Pryor, 2016; Ercan et al., 2015; Ribau, Silva, & Sousa, 2014; Tong, Hendrickson, Biehler, Jaramillo, & Seki, 2017).

Perante orçamentos limitados, alcançar o projeto de uma frota ambientalmente otimizada está a tornar-se um tópico de pesquisa prático e útil. Tanto os governos, como a sociedade em geral, estão cada vez mais preocupados com os impactos ambientais. As mudanças a efetuar numa frota de autocarros urbanos implicam custos significativos, além dos ambientais, e devem ser considerados pelo CCV, uma vez que mesmo que existam financiamentos externos, estes não são ilimitados. Estando as operadoras de transportes urbanos a começar a considerar combustíveis alternativos ao Diesel e a renovar as suas frotas, é essencial adquirir informações suficientes e precisas para apoiar decisões que minimizem os impactos ambientais relacionados com a operação e com o investimento. Nestes estudos salienta-se a relevância das condições de condução e o conflito entre a otimização dos custos de investimento, a eficiência e outras análises do ciclo de vida. O CCV deve ser um auxiliar no apoio à decisão para a combinação ideal de uma frota de autocarros urbanos que tente minimizar, tanto o CCV, como as emissões poluentes. Em conjunto com o CCV deve ser feita uma análise dos impactos ambientais que estes ativos representam ao longo da sua vida (Ercan et al., 2015; Ribau et al., 2014).

Na aplicação de uma análise do CCV, é possível verificar que os vários fatores considerados poderão influenciar o resultado da mesma. Então, para vários estudos, o resultado obtido para o CCV pode ser muito diferente. Podem afetar drasticamente o resultado da análise do CCV o preço dos combustíveis e as características dos ciclos de funcionamento de região para região, incluindo velocidade média e distância anual percorrida (Ally & Pryor, 2016; Ribau et al., 2014).

Implementar tecnologias rodoviárias alternativas neste setor tem como objetivo melhorar a eficiência dos veículos e o seu impacto ambiental e para se chegar ao objetivo do CCV neste contexto, um valor monetário ou uma unidade monetária que possa comparar outros impactos, procede-se ao somatório

de algumas parcelas que se venham a considerar relevantes. Para determinar os impactos do CCV são utilizados parâmetros de operação ao longo da vida e dados de custo iniciais (de capital) e, sempre que possível, são usados dados reais e já existentes das transportadoras. Os custos capitais e de operação de autocarros a GNC e a Diesel já estão bem desenvolvidos. Devem definir-se também parâmetros importantes para descrever o ciclo de funcionamento, como a distância em quilometragem/ano, frequência de paragens por distância ou a velocidade média, no caso dos autocarros urbanos (Ally & Pryor, 2016; Ercan et al., 2015; Ribau et al., 2014).

Quando uma nova frota de autocarros de tecnologia alternativa é implementada, bem como as infraestruturas de suporte à nova tecnologia, pode ser estimado o Custo Total de Propriedade (CTP). Normalmente, neste contexto, o CTP consiste em quatro componentes: o custo de aquisição, os custos (pelo consumo) de combustível, custos de operação e manutenção e os custos das infraestruturas, que podem incluir a sua construção ou, no caso de já existirem, incluem as possíveis modificações que possam ser feitas para acondicionar a nova frota, como a aquisição de novos equipamentos de manutenção e abastecimento para autocarros com tecnologias de propulsão diferentes da convencional a Diesel (Tong et al., 2017). Devem ser consideradas variáveis globais, derivadas dos veículos, e variáveis económicas, como taxas para prever valores no futuro (Ally & Pryor, 2016). Os custos dos combustíveis são calculados com base na distância anual percorrida e no preço atual do combustível e do seu contexto económico. O preço do combustível irá certamente mudar ao longo da vida dos autocarros, mas estas mudanças são difíceis de prever e devem ser realizados outros tipos de análises económicas para compreender o impacto dos seus custos (Tong et al., 2017). Dentro das estimativas do CCV pode ainda ser tido em conta se os custos são suportados totalmente pelas operadoras de transportes ou se existem fundos externos (Tong et al., 2017).

Neste contexto, podem ser usadas metodologias de objetivo individual ou algoritmos com múltiplos objetivos, onde são enfatizados alguns aspetos além dos custos, como emissões de CO₂ e a poluição atmosférica relacionada com a saúde pública e os custos dos danos ambientais. Um dos objetivos destes estudos é minimizar o CCV, significando que o CCV é um dos parâmetros destas metodologias. Estes modelos consideram o número de autocarros das várias tecnologias (Diesel, híbridos Diesel-elétricos, elétricos a bateria, GNC, etc.) como uma das variáveis de decisão. Cada tipo de combustível precisa de técnicos de manutenção especializados e infraestruturas diferentes para a sua manutenção e abastecimento; uma frota variada iria enfrentar problemas de logística. Entre autocarros a Diesel e híbridos, assume-se que não são precisos investimentos nas infraestruturas, porque são compatíveis com as já existentes instalações de abastecimento, mas para os autocarros elétricos a bateria e a GNC, já serão necessárias novas infraestruturas para as novas estações de abastecimento. Então, o custo das infraestruturas deverá ser inserido no CCV dos novos autocarros para assegurar que o modelo não propõe uma combinação de uma frota muito heterogénea (Ercan et

al., 2015; Ribau et al., 2014). Nestes casos, os componentes do CCV serão o custo inicial do veículo, o custo do combustível consumido ao longo da vida, custos de manutenção e reparação, custo de reposição de baterias (no caso dos autocarros elétricos e híbridos) e os custos das novas infraestruturas necessárias. Para as várias tecnologias rodoviárias já citadas, o custo das parcelas descritas em cima pode ser muito diferente. (Ercan et al., 2015; Ribau et al., 2014).

Considerando que um dos objetivos da alteração da frota é a diminuição das emissões de poluentes, além de se tentar estabelecer o menor custo económico para esta alteração, faz sentido ser feito ainda um estudo em relação às emissões das novas tecnologias rodoviárias. Assim, o CCV entra como auxiliar à decisão que sustenta a decisão tomada com este estudo. Deve ser feita uma estimativa do custo dos danos para a saúde pública relacionados com poluentes atmosféricos, uma vez que os veículos pesados, como os autocarros urbanos, estão entre os principais contribuintes para a poluição atmosférica das zonas urbanas. Para isto, os valores dos poluentes atmosféricos devem ser convertidos numa unidade que represente o custo dos danos na saúde pública. Mais uma vez, há que ter em conta vários aspetos da região em que o estudo está a ser feito, como os regimes de funcionamento dos veículos, a densidade populacional e se as áreas a investigar são muito industrializadas ou não (Ercan et al., 2015). Os componentes do ciclo de vida desta análise consistem nalguns parâmetros de operação (como os gases de escape) mas podem também ser os processos de produzir e fornecer os combustíveis usados para alimentar os autocarros e outras atividades que extraem energia primária e matéria prima usada nos processos de produção. Podem mesmo ser incluídas emissões provenientes do fabrico das baterias usadas nos autocarros elétricos a bateria (Tong et al., 2017).

2.4. Visão Geral das Tecnologias de Propulsão de Autocarros

Nos estudos citados são analisadas várias tecnologias, como a convencional a Diesel, GNC, híbridos, elétricos a bateria ou mesmo a pilha de combustível. Em Portugal, os autocarros convencionais a Diesel ainda perfaziam 97,4% do *share* de autocarros em 2018, com o GPL e GNC a representar 2,1%, elétricos a bateria e híbridos plug-in 0,1% e outros 0,4% não determinados (ACEA, 2019).

Os veículos a Diesel apresentam o Custo Total de Propriedade mais baixo (Ally & Pryor, 2016). Além disto, a aquisição de novas viaturas desta tecnologia nestes estudos assume infraestruturas de abastecimento já existentes, tornando ainda mais em conta a sua aquisição (Harris et al., 2020).

Os autocarros a GNC apresentam custos de aquisição superiores aos convencionais a Diesel (Durango-cohen & Mckenzie, 2017; Stempien & Chan, 2017) e implicam custos de adaptação de infraestruturas elevados (Ercan & Tatari, 2015; Ercan et al., 2015; McKenzie & Durango-Cohen, 2012) e ao longo da sua vida, ainda emitem quantidades de significativas de CO e NO_x (Ercan &

Tatari, 2015; Ercan et al., 2015), mas em relação aos autocarros a Diesel, são uma opção viável para diminuir as emissões de CO₂ (Stempien & Chan, 2017; Xu et al., 2015). Na pesquisa efetuada, verificou-se que os custos de operação nem sempre são uma vantagem, podendo ser superiores (Ally & Pryor, 2016; Ercan & Tatari, 2015) ou inferiores (Durango-cohen & Mckenzie, 2017; McKenzie & Durango-Cohen, 2012; Stempien & Chan, 2017).

O biodiesel é visto, desde há alguns anos, como uma alternativa ao gasóleo no ponto de vista económico, energético e ambiental (Ahouissoussi & Wetzstein, 1998). Economicamente, o biodiesel tem a vantagem de não precisar de adaptação de infraestruturas de abastecimento (Ahouissoussi & Wetzstein, 1998; Ercan & Tatari, 2015) e de não precisar de alterações no motor (Ahouissoussi & Wetzstein, 1998; Gomes Martins, 2020), não sendo necessária a aquisição de novos autocarros. No ponto de vista ambiental, o biodiesel é uma opção biodegradável e, embora com emissões de NO_x mais elevadas, a emissão de Hidrocarbonetos Não Queimados, Monóxido de Carbono e Partículas é mais baixa que o Diesel (Ahouissoussi & Wetzstein, 1998; Gomes Martins, 2020), além de que, devido à sua estrutura, as emissões de CO₂ não contribuem na sua totalidade para as emissões de gases de efeito de estufa (Ahouissoussi & Wetzstein, 1998; Gomes Martins, 2020).

Os resultados obtidos concluem que os custos de operação são muito influenciados pelo consumo de combustível (Hellgren, 2007). Veículos híbridos são uma opção eficiente em ambientes urbanos, em regiões com preços elevados de combustíveis fósseis e tiram maior partido em veículos pesados (Hellgren, 2007).

Autocarros híbridos Diesel-Elétricos possuem um CTP mais elevado que os convencionais a Diesel, mas esta diferença poderá ainda vir a ser atenuada, caso os custos capitais diminuam devido ao desenvolvimento e aumento da oferta desta tecnologia (Ally & Pryor, 2016). Estes veículos provaram ser uma opção para otimizar os impactos da operação da frota uma vez que se demonstrou que reduzem significativamente os impactos ambientais com um CCV relativamente baixo (Ercan et al., 2015), pelo reduzido consumo de combustível e a conseqüente redução de emissões (Harris et al., 2020), e satisfazem restrições da operação, como a autonomia e a adaptação de infraestruturas já existentes para veículos a Diesel (Harris et al., 2020), atenuando o ritmo da adaptação necessário para a operação de autocarros totalmente elétricos (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016). Existem ainda a opções de veículos híbridos com transmissão menos eletrificada, como os micro híbridos ou os meio híbridos, com custos mais reduzidos que veículos totalmente elétricos, mantendo a vantagem da redução de consumos e emissões, quando comparados com autocarros a Diesel, e a possibilidade de integrarem travagem regenerativa e auxiliares elétricos inteligentes (Albers, Meissner, & Shirazi, 2011; Harris et al., 2020; Orbaiz et al., 2018).

Os autocarros elétricos a bateria são apelativos para os operadores rodoviários, devido às reduzidas emissões poluentes e de gases de efeito de estufa (Xu et al., 2015), melhor desempenho em ciclos urbanos caracterizados pelo “para-arranca”, pela operação silenciosa e potenciais custos de manutenção reduzidos (Barbosa, 2014). A comparação de resultados entre os cenários de carregamento noturno e de oportunidade revela um compromisso entre a dependência da capacidade das baterias e as infraestruturas de carregamento. Mesmo não tendo em conta as implicações da autonomia dos autocarros elétricos, estes resultados são importantes de ter em conta para responder a complexidades do planeamento da implementação deste tecnologia, como os requisitos energéticos e de gestão de carregamentos (durante a noite, por oportunidade nas paragens de autocarro ou nos terminais) (Harris et al., 2018). De uma perspetiva puramente económica, devido ao custo de adaptação de infraestruturas e das baterias, a aquisição de autocarros elétricos a bateria poderá não ser justificável, pois o investimento é perto do dobro do de um veículo Euro VI semelhante (Lajunen, 2014; Mahmoud et al., 2016), mas é esperado que estes custos rapidamente decresçam com a evolução desta tecnologia (Ally & Pryor, 2016; Ercan et al., 2015; Harris et al., 2018; Tong et al., 2017). A implementação desta tecnologia precisará de veículos adicionais, aumentando os custos de aquisição, já por si, mais dispendiosos por veículo, para uma operação equivalente a uma frota a Diesel, devido à autonomia mais limitada (Harris et al., 2020; Mahmoud et al., 2016). Estima-se que os autocarros elétricos poderão ser a solução para emissões nulas das frotas, mas o ponto de partida para a eletrificação das frotas, poderão ser autocarros híbridos (Mahmoud et al., 2016). O aumento do uso de baterias neste tipo de veículos poderá conduzir à melhoria da autonomia num futuro próximo (Tsiropoulos, Tarvydas, & Lebedeva, 2018), além de que também poderão ser feitas análises sobre estratégias de carregamento (Göhlich et al., 2018).

Os autocarros a hidrogénio exigem melhorias significativas em termos de custo, especialmente na produção deste, antes de se tornarem numa alternativa competitiva (Mahmoud et al., 2016). No entanto, possuem emissões de escape nulas e, numa análise de impacto das emissões na saúde pública, obteriam resultados negligenciáveis. Esta opção poderá vir a ser viável caso a produção de hidrogénio se torne mais corrente, diminuindo o seu preço, ao ponto de poder vencer o preço do Diesel (Ally & Pryor, 2016).

Outro resultado a que se chegou é que ciclos de funcionamento com paragens mais frequentes e/ou velocidades médias mais baixas, fazem com que os veículos tenham um CCV mais elevado, que provêm dos maiores consumos de combustível e de custos de manutenção mais elevados. Concretamente para alguns tipos de percursos, os autocarros híbridos são mais económicos que os autocarros convencionais a Diesel para regimes de funcionamento com velocidades médias mais baixas e com paragens mais frequentes, mas os convencionais a Diesel acabam por ser mais económicos para velocidades médias mais altas (Ercan et al., 2015).

É possível perceber que o CCV aumenta com a diminuição das emissões de CO₂ e vice-versa. A razão deve-se ao facto das tecnologias com menores emissões de gases de efeito de estufa terem custos iniciais mais elevados (Ercan et al., 2015; Ribau et al., 2014).

Considerando ainda a disponibilidade de autocarros articulados (de 18 metros de comprimento) além dos autocarros *standard* (de 12 metros de comprimento), os articulados apresentam maiores custos e maiores consumos, mas também apresentam capacidade de passageiros mais elevada. Avaliando as duas opções em termos de custos de propriedade e de impactos ambientais, os autocarros articulados são mais caros no geral, mas há que considerar questões operacionais que podem forçar uma ou outra tipologia. A gama de tecnologias rodoviárias disponíveis para os autocarros articulados é semelhante à dos *standard*. O custo de operação relativo é pior em comparação com os autocarros *standard*, pelas seguintes razões: os autocarros articulados têm menos procura, apresentam menor eficiência de consumo de combustível, por serem mais pesados, apresentam valores de quilometragem anual menores, por serem menos utilizados aos fins de semana e em períodos de férias; outra razão que pode incorrer é se a unidade do CCV utilizada (por exemplo, custo/autocarro/ano) não contabilizar o aumento da oferta que os autocarros articulados prestam (maior capacidade de passageiros) em comparação com os autocarros *standard*. No caso de se estarem a considerar autocarros articulados na análise do CCV deve ser utilizada uma unidade compatível com a capacidade dos vários tipos de veículos, como passageiro.kilómetro (no ponto de vista da Procura) ou lugar.kilómetro (no ponto de vista da Oferta), podendo, então, favorecer os autocarros articulados. Enquanto que os autocarros articulados podem ser uma mais valia em horas de ponta, tal não acontece para horas de vazio (Tong et al., 2017).

Em termos económicos, os autocarros a Diesel são os que apresentam, por enquanto, menor custo de propriedade. No entanto, as tecnologias de propulsão híbridas e a hidrogénio são recentes, e as suas comparações económicas podem vir a ser alteradas (Ally & Pryor, 2016).

Há que ter em conta que fatores como a velocidade média, o peso dos veículos e as estradas, percursos e clima das regiões antes de tirar conclusões sobre consumos de combustível. Os consumos de combustível são dos fatores que mais afetam, tanto os custos como os impactos ambientais, o que torna essencial considerar diferentes tipos de regime de funcionamento para a realização destes estudos. Ciclos de funcionamento com paragens mais frequentes, tipicamente, favorecem autocarros elétricos a bateria (Ercan et al., 2015; Tong et al., 2017).

A utilização de baterias ainda tem desafios práticos na sua implementação imediata num percurso típico de autocarro urbano, por terem uma autonomia mais baixa que as outras opções rodoviárias e seria necessário um bom planeamento de percursos e carregamentos, além de precisarem de infraestruturas específicas que permitam o seu carregamento. Algumas tendências favoráveis para as

baterias, é que o seu custo tem vindo a diminuir rapidamente, enquanto o seu desempenho está a melhorar a um ritmo semelhante. É de notar, ainda, que são mais fáceis de implementar num controlo tecnológico inteligente e, no futuro, poderão permitir a criação de sistemas de transportes inteligentes, que comunicam o estado da bateria e a localização GPS, facilitando o planeamento dos carregamentos. É sugerido que as transportadoras reflitam a curto e a longo prazo sobre esta alternativa, pois possui uma boa eficiência energética, zero emissões e custos de manutenção e operação reduzidos (Tong et al., 2017).

Os autocarros a Diesel continuam a ser a opção que apresenta menores custos de propriedade, mas ainda não podem ser tiradas conclusões económicas sobre tecnologias híbridas e a hidrogénio, por estarem pouco desenvolvidas e estudadas neste contexto; qualquer estudo económico pode vir a ser alterado em breve, pelo próprio desenvolvimento da indústria nesta área. Outro aspeto importante é a disponibilidade de financiamentos externos. Havendo financiamento externo, autocarros elétricos a bateria poderão ser uma boa solução porque, mesmo tendo custos de aquisição mais elevados (atenuados, claro, por estes financiamentos) os seus custos de manutenção e operação são potencialmente mais baixos, por serem mais simples e terem consumos mais eficientes. Por enquanto, veículos mais amigos do ambiente representam um acréscimo do CCV e ainda é necessário trabalhar nos compromissos entre os custos e a sustentabilidade ambiental (Ally & Pryor, 2016; Ercan et al., 2015; Tong et al., 2017).

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 3 – Enquadramento e Obtenção de Dados

Neste capítulo encontram-se descritos, e contextualizados, os parâmetros analisados para os efeitos comparativos da dissertação e será ilustrada, também, a sua obtenção. Todos os dados abordados neste capítulo foram retirados do *software* de apoio à gestão da Carris, à exceção dos dados ambientais que são obtidos a partir da metodologia EMEP/EEA (Leonidas Ntziachristos, n.d.).

Tal como algumas das metodologias abordadas no capítulo anterior, os dados incluídos na análise comparativa remetem aos custos de manutenção, custos de operação, através dos consumos de combustível e de óleo e ao balanço das emissões, em termos absolutos (Ercan & Tatari, 2015; Harris et al., 2020; Stempien & Chan, 2017). A distância percorrida e a quantidade de autocarros ativos são também determinadas, devido à necessidade de os resultados serem disponibilizados numa unidade comparável entre si (Tong et al., 2017). São ainda abordados parâmetros de funcionamento como as Taxas de Imobilização por Status, as Taxas de Imobilização Global e as Taxas de Avaria, com o objetivo de as entreligar entre si e com os custos de manutenção. Por último, a unidade de comparação é o Segmento (Harris et al., 2018), apesar da maioria deles terem em comum serem a Diesel, com a intenção de perceber se existe diversidade dos resultados obtidos dentro da mesma tecnologia ou tipologia. Um segmento corresponde a um conjunto de autocarros, da mesma aquisição, com as mesmas características técnicas gerais dos principais equipamentos do chassis e da carroçaria que os constituem (Carris Transportes de Lisboa, n.d.).

Para além da secção dedicada à introdução, neste capítulo integram-se as secções que contêm os dados da atividade da Carris que foram analisados: 3.1. dados operacionais, onde se inserem a Distância Percorrida, Taxas de Imobilização por Status, Taxas de Imobilização Global e Taxas de Avarias, com e sem impacto no cliente; 3.2. dados de Manutenção, geral e de rotáveis; 3.3. dados de consumos de combustível e óleo do motor; 3.4. dados ambientais, mais concretamente as emissões de CO (Monóxido de Carbono), HC (Hidrocarbonetos não queimados), NO_x (Óxidos de Azoto), PM (Partículas) e CO₂ (Dióxido de Carbono).

Todos os dados abordados são relativos à atividade de 17 segmentos de autocarros da Carris entre os anos de 2000 e 2019. O sistema de apoio à exploração da Carris contém registos detalhados de manutenção a partir de 2000, pelo que foi decidido englobar os segmentos de frota que tivessem operado desde essa data. Os segmentos analisados foram adquiridos entre 1995 e 2010 e entre eles existem duas tecnologias de propulsão, Diesel e GNC, e várias tipologias de autocarros: *standard*, articulado, médio e mini. Dentro dos vários segmentos analisados há aspetos que não serão abordados concretamente: a nível da motorização, diferem a forma e a capacidade de armazenamento; dentro da mesma tipologia, as dimensões e a lotação podem variar; dentro da mesma tipologia, há variações

low-floor/low-entry; todos os segmentos possuem 2 ou 3 portas; todos os segmentos terão, naturalmente, diferenças ao nível do projeto e fabrico (nomeadamente a nível do chassis e carroçaria). As aquisições de autocarros de 2018 não serão consideradas, pois ainda se encontram abrangidas pela garantia e não serão incluídas tecnologias ferroviárias nesta dissertação, uma vez que os veículos mais recentes estão ao serviço há mais de 20 anos. Por semelhança, alguns segmentos de autocarros foram fundidos, excetuando para a análise das emissões nos casos de segmentos semelhantes que se insiram em legislações ambientais diferentes. Por limitações do *software* de apoio à gestão e devido a múltiplas atualizações do mesmo, que alteraram a forma como a informação se encontra disponível, nem todos os dados foram obtidos da mesma maneira para vários intervalos temporais.

Por motivos de confidencialidade, os vários segmentos *standard* e articulados, serão designados por uma letra (A-Articulado e S-*Standard*) e por um número, e o segmento médio e mini serão designados por Md e Mn respetivamente. Os segmentos a GNC são designados também com um G no fim. Com a exceção dos valores dos consumos de combustível e óleo, dos fatores de emissão e das emissões, os valores apresentados e as suas representações por via de gráficos, serão todos adimensionalizados.

3.1. Dados Operacionais

3.1.1. Distância Percorrida

A Distância Percorrida dos segmentos foi obtida de três formas diferentes porque, ao longo dos anos, a forma como os dados são imputados e emitidos pelo *software* foi diferindo. Nesta secção, são então abordadas as três metodologias para a obtenção da Distância Percorrida:

- **2000 – 2009** – Cada autocarro tem associados pontos de medição individuais que associados, entre outros, à Distância Percorrida e aos consumos, que correspondem à medição diária do tacógrafo no ato do abastecimento. Para a atividade entre os anos 2000 e 2009, a Distância Percorrida foi obtida a partir da pesquisa dos pontos de medição que correspondem à Distância Percorrida de cada carro de cada segmento. Devido à forma como a informação está armazenada no *software*, a pesquisa dos pontos de medição foi limitada entre o primeiro e último carro de cada segmento e a janela temporal foi reduzida ao período de um mês. Assim, cada tabela exportada correspondia a todas as medições de Distância Percorrida, de todos os carros de um dado segmento, no intervalo de um mês. A partir deste formato, é também possível determinar a quantidade de carros ativos num dado mês.
- **2010 – 2014** – Para este período, a Distância Percorrida foi obtida diretamente a partir da Distância Percorrida total de cada segmento, mensalmente. Neste aspeto, não foi possível determinar, consistentemente, a quantidade de carros que circularam, ou não, num dado mês.

Sendo assim, para este intervalo, assume-se que o número de carros ativos é o mesmo da dimensão do segmento no presente mês. Num caso concreto, ocorreu que para o período de um ano, um dos segmentos tivesse mais carros ativos e, portanto, mais quilómetros absolutos, uma vez que para esta medida estão incluídos carros que foram adquiridos antes de 1995, abatidos ainda antes de 2014.

- **2015 – 2019** – A partir de 2015, é possível obter numa só exportação de dados, valores do consumo de combustível e óleo, os quilómetros percorridos e os consumos específicos, para cada autocarro individualmente. Então, é possível novamente obter a Distância Percorrida de cada segmento, através da Distância Percorrida anual de cada carro, e determinar o número de veículos ativos mensalmente.

3.1.2. Autocarros Ativos

Tal como referido na secção sobre a obtenção da Distância Percorrida, a partir da Distância Percorrida individual de cada carro, é possível determinar a quantidade de carros cuja Distância Percorrida não é nula para um dado mês. Assim, os autocarros cuja Distância Percorrida seja nula num dado mês não foram considerados como carros ativos, por não terem contribuído para a oferta do serviço.

No caso do período entre 2010 e 2014, que não foi possível obter a Distância Percorrida individual de cada veículo, foi pesquisado somente o número de autocarros registados em cada segmento, mensalmente. Desta maneira, apenas consta a dimensão do segmento, sem ter em conta os veículos que tiveram, ou não, distância percorrida nula.

Em ambos os casos, a quantidade de carros a considerar como veículos a fornecer oferta é dinâmica e, nalguns casos, acompanha o decréscimo destes devido a abates ou vendas a outras entidades. Tirando casos de abates pontuais, os abates do segmento completo costumam ser lentos e arrastam-se durante algum tempo, pelo que os últimos anos de serviço de segmentos abatidos não são representativos (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020). O mesmo acontece para vendas a outras entidades, que normalmente acontecem em lotes separados.

3.1.3. Taxa de Imobilização por Status e Taxa de Imobilização Global

A Taxa de Imobilização por Status aplica-se à frota toda, sem especificar segmentos, e insere-se em oito categorias:

- IAB – Abalroamentos;
- ICTN – Contenciosos;
- ICT1 – Contratos Diversos;
- ICTR – Contratos de Manutenção;
- IDIV – Diversos;
- IGAR – Garantias;
- IMAT – Falta de Peças/Orgãos;
- IREG – Reposição Geral/Comercial.

A categoria IAB corresponde, tal como o nome indica, aos abalroamentos que resultam em danos na carroçaria ou no chassis; a ICTN corresponde a assuntos legais, tipicamente resultantes de acidentes/abalroamentos; a categoria ICT1 foi ignorada, uma vez que apresenta valores desprezíveis no cenário anual; a ICTR corresponde aos contratos da manutenção geral, mas não distingue manutenção preventiva da curativa; a IDIV inclui carros parados a aguardar abate e situações de apreensão de documentos; a IGAR compreende os carros ainda abrangidos pela garantia; a IMAT implica imobilizações devido à ausência de peças/órgãos que recuperem a condição do veículo; e a IREG representa reparações gerais ou intercalares, que podem ser imobilizações por um período de várias semanas, como reparações ou reconstruções gerais da carroçaria.

As Taxas de Imobilização por Status são diretamente retiradas mensalmente, em valores percentuais, e só foi possível obter estas informações para anos posteriores a 2009, inclusive. Por não especificar segmentos, nesta taxa estarão incluídos segmentos que não estão a ser analisados na dissertação, como as aquisições de 2018 e outros segmentos que entraram ao serviço antes de 1995, mas foram abatidos ao longo destes anos.

A Taxa de Imobilização Global corresponde à percentagem de cada segmento que está imobilizada, mas sem especificar a causa da imobilização. Estes dados são também obtidos num formato mensal a partir de 2008.

3.1.4. Taxa de Avarias

A partir de 2016, a Taxa de Avarias dividiu-se em dois tipos: Taxa de Avarias Com Impacto no Cliente e Taxa de Avarias Sem Impacto no Cliente. A Taxa de Avarias Com Impacto no Cliente põe em causa a capacidade do carro circular, implicando uma interrupção no serviço de 15 minutos ou mais.

Algumas ocorrências inserem-se num ou noutro tipo de avarias conforme a altura do ano. Uma avaria no ar condicionado, por exemplo, é considerada avaria com impacto nos meses de verão, mas é considerada sem impacto nos meses de inverno, porque o veículo pode circular sem ar condicionado nos meses frios, uma vez que os autocarros não têm aquecimento no compartimento dos passageiros e o ar condicionado só faz frio.

A Taxa de Avarias é obtida mensalmente, para cada segmento, sendo medida em avaria/10000 km. Só foi possível obter este parâmetro para anos posteriores a 2010, inclusive.

3.2. Dados de Manutenção

3.2.1. Manutenção Geral

Neste subcapítulo, considerou-se pertinente introduzir alguns princípios e conceitos gerais da Manutenção de ativos numa rodoviária. Estes conceitos aplicam-se cabalmente a qualquer empresa de transporte público (Pombo, 2016), e não apenas à Carris. A atividade da Manutenção pode dividir-se em 5 níveis ou escalões, em natureza e em duração (Monchy & Vernier, n.d.), cujos diferentes tipos de trabalhos vêm descritos na norma francesa AFNOR X 60-011 (Monchy, n.d.), e neste contexto vão desde simples abastecimentos a reparações importantes e profundas (Pombo, 2016):

- Nível 1 – Abastecimento de combustível, atesto de níveis de fluidos lubrificantes, líquido de refrigeração e Adblue, limpeza e lavagem exterior;
- Nível 2 – Revisões, lubrificações, mudanças de óleos, substituição de consumíveis;
- Nível 3 – Operações de manutenção preventiva sistemática e condicionada requerendo conhecimentos técnicos específicos. Diagnóstico, localização e reparação de avarias por substituição de componentes ou elementos funcionais;
- Nível 4 - Todos os trabalhos importantes de manutenção preventiva e curativa com exceção de renovação e reconstrução;
- Nível 5 – Renovação, reconstrução e execução de reparações importantes confiadas a uma oficina central ou exterior.

No geral, os níveis 1 a 3 são executados em oficinas localizadas nas “estações” de recolha e os níveis 4 e 5 são executados numa oficina central (Pombo, 2016). Cada parque de recolha conta com instalações de abastecimento de combustível, limpeza e lavagem além das oficinas para os primeiros escalões da manutenção. Os serviços de abastecimento e limpeza são, geralmente, subcontratados a empresas terceiras. Refira-se ainda que, mais recentemente, a tendência é de reduzir os 5 níveis mencionados a apenas 3 níveis, devido ao conceito TPM (*Total Productive Maintenance*): o nível I passa a corresponder aos níveis 1 e 2, que correspondem a manutenção de primeira linha, o nível II corresponde aos níveis 3 e 4, que já incluem o campo de ação de equipas de técnicos de manutenção, e o nível III corresponde ao nível 5 (Monchy & Vernier, n.d.).

Serão agora brevemente definidos os tipos de manutenção acima citados e praticados neste contexto. A manutenção preventiva sistemática, independentemente da ocorrência de qualquer falha, é realizada mediante programas previamente determinados, em função de um parâmetro de utilização de cada veículo (neste caso, quilómetros percorridos). As ações de manutenção a realizar em cada intervenção são inicialmente baseadas nas recomendações do fabricante, podendo ser ajustadas tendo em conta as características específicas da utilização e a experiência do executante. Nos roteiros de manutenção preventiva sistemática estão incluídas ações de manutenção condicionada, ou seja, de inspeção, das quais podem resultar ações de manutenção corretiva. O planeamento e a programação da manutenção preventiva sistemática processa-se tendo em conta uma entrada de dados de um parâmetro de utilização, neste caso, os quilómetros percorridos (Pombo, 2016).

A manutenção condicionada é realizada perante a necessidade detetada a partir da inspeção de controlo do estado de funcionamento ou de verificação de determinados parâmetros (como a deteção de fugas, de fissuras ou fraturas). É possível prevenir a ocorrência de avarias através do acompanhamento da evolução, e da observação das tendências, dos parâmetros de degradação (Assis, 2014; Pombo, 2016).

Na sequência da deteção de uma falha ou desvio em relação ao normal funcionamento, é então realizada a manutenção corretiva. Como referido anteriormente, a falha ou a avaria pode ser detetada numa ação de inspeção, mas é mais frequente manifestar-se por um sintoma detetado durante o serviço do veículo (Pombo, 2016). A um segundo nível, a manutenção corretiva divide-se em manutenção paliativa e manutenção curativa (Assis, 2014; Monchy, n.d.). A manutenção paliativa aplica-se a intervenções de manutenção corretiva que, neste contexto, não podendo ser suficientemente profundas, apenas recolocam o veículo em condições mínimas de funcionamento durante um determinado período de tempo (Pombo, 2016). Já uma intervenção curativa procura as causas da falha e elimina-as (Assis, 2014). No entanto, no contexto da Carris, a manutenção curativa refere-se à que acima foi mencionada como manutenção corretiva. A manutenção curativa refere-se à correção de falhas e a manutenção corretiva consiste na realização de alterações técnicas em órgãos

ou componentes originais, a fim de melhorar o seu desempenho ou corrigir falhas sistemáticas verificadas em serviço (M. Pombo, comunicação pessoal, maio, 2021). Em quase todos os modelos de autocarros é necessário recorrer a este tipo de intervenção nalguns pontos (M. Pombo, comunicação pessoal, maio, 2021). Assim, o que se designará por manutenção curativa a partir deste ponto da dissertação, refere-se às ações efetuadas para a correção de falhas verificadas em serviço.

Ao fim de vários anos de serviço começa a surgir a necessidade de intervenções mais profundas, a nível do chassis e da carroçaria. O recondicionamento de veículos corresponde aos níveis 4 e 5, e, em geral, acontece próximo do meio da vida útil do autocarro (Pombo, 2016). A fadiga das estruturas do chassis e da carroçaria, a degradação da pintura e danos decorrentes de acidentes de alguma dimensão, requerem intervenções mais profundas, com mais tempo de mão de obra e maior tempo de imobilização.

Em termos de manutenção, para qualquer falha ou anomalia é atribuída uma Nota. Perante uma falha ou anomalia terá naturalmente de haver alguma ação (ou ações) necessária(s) para repor a condição. Através da abertura das Notas, registam-se as necessidades de intervenção, a que em geral se segue a abertura das Ordens respetivas. As Ordens permitem agregar os recursos humanos e materiais empregues e, automaticamente, os custos. Quando as ações de reposição da condição são de baixo custo, isto é, representam pouco gasto de mão de obra e peças/materiais, a abertura de uma Ordem teria custos administrativos sem benefícios que daí pudessem advir. No entanto, quando as ações necessárias para a reposição da condição tiverem um custo superior a um limiar definido, então os custos são individualizados e é aberta a respetiva Ordem. Excetuam-se falhas e anomalias que digam respeito a qualquer sistema que envolva segurança (como os travões ou a direção), cuja abertura da Ordem é obrigatória, independentemente do custo (Pombo, 2016). O acesso a estas Ordens através do *software* permite saber o número de frota do autocarro em que foram efetuadas, a data, os custos da intervenção e as horas de mão de obra despendidas. São também associadas Ordens a intervenções no contexto de inspeções, preparações para IPO, revisões ou testes e verificações. Cada Nota tem também associada uma descrição da anomalia e cada Ordem é acompanhada por uma descrição breve da(s) ação(ões) realizadas. Assim, são feitas as comparações relativas aos custos da manutenção, às horas de mão de obra despendidas e é feita ainda a distinção da manutenção preventiva e da manutenção curativa, através dos textos de ação. Os custos incluem custos de peças e custos de mão de obra.

Pelas limitações do *software*, esta pesquisa foi efetuada por segmento e mensalmente, e foi possível obter estas informações para os anos entre 2000 e 2019. No entanto, não foi possível obter estes dados para segmentos cuja manutenção é feita por entidades externas. Particularmente para estes segmentos, esta condição não impediu a obtenção de dados operacionais, taxas de imobilização e taxas de avarias, mas não foi possível obter custos de manutenção com o detalhe adequado.

3.2.2. Rotáveis

É designado por Rotável um componente ou um órgão reparável que pode ser substituído por outro previamente recondicionado e preparado. Este procedimento permite a redução do tempo de imobilização dos equipamentos. Quando o órgão falha, prossegue para reparação em oficina, sendo reparado e guardado em armazém até se tornar necessário para a substituição de um órgão seu igual, no mesmo equipamento, ou num semelhante (Assis, 2014).

Neste contexto, não só é executado o recondicionamento dos veículos, como também é o recondicionamento de órgãos. Os principais órgãos mecânicos (motor, caixa de velocidades e diferencial) são também alvo de uma reparação geral, com desmontagem completa e substituição de componentes importantes. Deverão estar disponíveis para substituição órgãos (rotáveis) em estado reparado para permitir a rápida recolocação do autocarro ao serviço (Pombo, 2016).

As Ordens referentes a intervenções nos rotáveis não constam na mesma pesquisa das Ordens da manutenção. Os rotáveis de cada segmento têm uma referência, que identifica o tipo de rotável (motor, caixa de velocidades ou diferencial) e o segmento em que se insere.

A partir das referências de cada rotável, é possível pesquisar todas as Ordens que correspondem a um determinado rotável de um determinado segmento. A partir da pesquisa das Ordens é, então, possível aceder aos custos das intervenções e a um breve texto.

Não sendo possível determinar o tempo de mão de obra despendido, para a análise da manutenção de rotáveis, aceitou-se que a cada Ordem corresponde uma intervenção.

São efetuadas comparações relativas aos custos da manutenção de rotáveis, ao número de intervenções e, através dos textos da ação, é feita a distinção entre manutenção curativa e preventiva. Os rotáveis abordados são o motor, a caixa de velocidades e, para alguns segmentos, o diferencial. Foi possível obter estas informações a partir de 2010 e foi possível verificar que os rotáveis não mudam de segmento.

3.3. Dados de Consumos de Combustível e Óleo

Nesta secção são abordadas as duas metodologias usadas, por questões técnicas relativas ao *software*, para a obtenção dos consumos de combustível e de óleo do motor. O consumo de combustível é medido em litros, para os segmentos a Diesel, e em metro cúbico normal [Nm³], para os segmentos a GNC. O consumo de óleo é medido em litros.

O consumo de óleo apenas diz respeito a atestos e não inclui óleo substituído em intervenções da manutenção.

Em concordância com o que foi descrito na secção da Distância Percorrida, para este período temporal foi necessário pesquisar os pontos de medição correspondentes ao consumo de combustível e de óleo. Cada carro tem associado a si um ponto de medição que corresponde ao consumo de combustível e um ponto que corresponde ao consumo de óleo. Mais uma vez, pelas limitações do *software*, a pesquisa foi limitada aos pontos de medição, do consumo de combustível ou do consumo de óleo, entre o primeiro e último carro de cada segmento e numa janela temporal mensal.

Devido à forma de imputação destes pontos no *software* não foi possível intercetar os pontos de medição do segmento S-6 e, assim, obter os consumos deste segmento para períodos de operação anteriores a 2009.

A partir de 2010 exportaram-se diretamente os consumos totais mensais de cada segmento.

Tal como referido, de 2015 em diante, é possível incluir não só os consumos como a Distância Percorrida, além da vantagem de constarem os autocarros individualmente todos em vez de se determinar apenas o segmento completo.

3.4. Dados Ambientais

Os veículos com motores de combustão interna são responsáveis pela emissão de gases de escape. Nos seus constituintes, incluem-se os poluentes CO, HC, NO_x e PM, entre outros. Outro composto também tido como indesejável é o CO₂, gás com efeito de estufa, mas não é considerado poluente (Gomes Martins, 2020).

Perante a responsabilidade social e ambiental da Carris, considerou-se relevante perceber o impacto ambiental que a sua operação tem na cidade de Lisboa. Serão determinadas as emissões de CO, HC, NO_x, PM e CO₂ a partir de 2010, uma vez que, até esse ano, a Carris tinha ao serviço mais segmentos cuja atividade não vai constar nesta dissertação. A metodologia para a determinação das emissões é ilustrada no capítulo 4.

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 4 – Tratamento de Dados para Análise Comparativa

Neste capítulo é descrito o processamento a que os dados acima apresentados foram sujeitos para que seja possível a análise comparativa entre segmentos.

Nas secções seguintes, está descrito o tratamento a que foram sujeitos os seguintes dados: 4.1. Dados Operacionais, onde se aborda brevemente a obtenção do número de veículos ativos, para que seja possível obter posteriormente unidades comparativas, a Distância Percorrida, Taxas de Imobilização por Status, Taxas de Imobilização Global, Taxas de Avaria Com e Sem Impacto no Cliente; 4.2. Dados de Manutenção, Geral, onde foi possível distinguir a manutenção preventiva da manutenção curativa, e de Rotáveis, dando mais ênfase à manutenção curativa neste caso; 4.3. Dados Consumo de Combustível e Óleo; 4.4. Dados Ambientais, onde se calcularam os fatores de emissão que posteriormente permitirão obter as emissões de CO, HC, NO_x, PM e CO₂.

4.1. Dados Operacionais

Segue-se a descrição do processamento dos Dados Operacionais já designados anteriormente:

- **Veículos Ativos** – Uma vez que os segmentos a analisar são de dimensões diferentes, achou-se pertinente determinar a quantidade de carros ativos por segmento. Esta informação tornou-se relevante por permitir apresentar resultados em função da quantidade de autocarros por segmento. Caso contrário, apresentar resultados absolutos sem ter em conta a dimensão do segmento, iria induzir imprecisão à análise comparativa.

O número de autocarros por segmento é conhecido, mas o de autocarros ativos é variável, devido a situações como grandes reparações, que podem representar imobilizações de semanas ou meses, ou a procedimentos de manutenção mais simples que imobilizam os veículos apenas uns dias. A metodologia adotada pretende determinar a quantidade de veículos que contribuiu efetivamente para a oferta do serviço, mesmo sofrendo aproximações, como por exemplo, considerar autocarros que só tenham circulado metade de um mês como veículos ativos nesse mesmo mês. Esta aproximação terá tanto mais impacto quanto menor for a dimensão do segmento em questão. A dimensão absoluta dos segmentos pode também decrescer ao longo do tempo, uma vez que também são considerados abates ou vendas dos veículos a outras entidades.

Entre os anos 2000 a 2009 e posteriormente a 2015, inclusive, a partir das medições da distância percorrida individual para cada carro, foi possível determinar a quantidade de carros, por segmento e mensalmente, que apresentaram uma distância percorrida superior a

0 quilómetros. Para este intervalo temporal, os autocarros com distância percorrida nula num dado mês, não foram considerados como carros ativos para esse mesmo mês.

Para o período entre 2010 e 2014, a quantidade de autocarros ativos considerada é a dimensão de cada segmento. (foram considerados como carros ativos todos os que estavam ativos num dado segmento.) Para este intervalo temporal não foi possível ter em conta as imobilizações temporárias que pararam autocarros que, mais tarde voltaram ao serviço;

- **Distância Percorrida** – A Distância Percorrida absoluta de cada segmento foi obtida através da soma dos quilómetros mensais de todos os autocarros de um dado segmento. Para efeitos comparativos, a Distância Percorrida mensal de cada segmento foi dividida pelo número de carros ativos desse segmento nesse mês, obtendo-se assim a distância média mensal percorrida por cada autocarro de cada segmento.

Posteriormente foi determinada a Distância Percorrida média anual percorrida por cada autocarro. Neste processo, foi possível determinar que a quantidade dos carros ativos pode variar bastante ao longo do ano. Então, a Distância Percorrida média anual percorrida por cada autocarro foi considerada como sendo a soma das distâncias médias mensais dos meses de um dado ano.

Além da distância média percorrida por carro anualmente, foi também determinada a distância acumulada dos segmentos ao longo dos anos entre 2000 a 2019 para comparar a evolução deste parâmetro.

Na representação gráfica da distância média anual percorrida por autocarro, não foram considerados o primeiro ano de entrada ao serviço dos segmentos nem os últimos anos por não serem representativos;

- **Taxa de Imobilização por Status** – As Taxas de Imobilização por Status vêm diretamente em percentagem mensal de frota imobilizada (por tipo de imobilização). Para uma primeira análise mais genérica, foram simplesmente calculadas as médias anuais das imobilizações. Estes valores são então analisados tanto como absolutos como relativos ao todo das imobilizações.

Além de uma análise geral, são analisadas individualmente as médias anuais das imobilizações devido a questões de garantia, para as relacionar com aquisições de novos segmentos, e devido a abalroamentos, considerados relevantes por serem, talvez, a razão de imobilização mais aleatória e menos controlável pela Carris;

Para os abalroamentos, é ainda abordada a sazonalidade com que os mesmos ocorrem.

- **Taxa de Imobilização Global** – Uma vez que as Taxas de Imobilização já correspondem à percentagem do segmento que está imobilizada mensalmente, foram calculadas as médias anuais de cada segmento e para a frota completa, para efeitos comparativos. Além disso, foi calculada a sazonalidade da Taxa de Imobilização da frota completa;

- **Taxa de Avarias** – Tal como para as Taxas de Imobilização Global, a Taxa de Avarias também já vem em valores mensais correspondentes a todo o segmento. Tanto para a Taxa de Avarias Com Impacto no Cliente como para a Taxa de Avarias Sem Impacto no Cliente, foram calculadas as médias anuais para todos os segmentos e para a frota completa e foi calculada a sazonalidade das Taxas de Avarias da frota completa.

4.2. Dados de Manutenção

4.2.1. Manutenção Geral

Estes dados foram analisados em maior profundidade. Em primeiro lugar, para facilitar a leitura, a informação nestas tabelas foi ordenada por ordem decrescente dos custos, pois é expectável que Notas associadas a intervenções de manutenção curativa sejam mais dispendiosas.

De seguida, mesmo mantendo a ordenação por ordem decrescente dos custos, esta informação foi também ordenada alfabeticamente pelo texto breve de ação. A partir desta ordenação foi simples a seleção das Notas como sendo intervenções de manutenção preventiva ou curativa. Como intervenções de manutenção preventiva foram consideradas todas as notas cujos textos de ação continham como parte da descrição: plano inspeções autocarro; plano IPO; Manutenção AC (teste/verificação do sistema); Inspeção Rx (inspeções denominadas por R1 a R5, sendo a R5 a mais complexa, e definidas pela Carris com base nas recomendações do fabricante); Revisão (AC, carroçaria, luzes, bandeiras, cadeiras e estofos, interior, estrutura, geral); Restantes Ações R4/R5; verificação (AC, suspensão, correias); Preparação para IPO. Todas as restantes Notas foram consideradas como intervenções de manutenção curativa.

Após esta distribuição, tanto os custos associados como as horas de mão de obra, em base mensal, foram somados para obter os valores totais mensais, e posteriormente anuais, de cada segmento.

Para efeitos comparativos, tanto os custos anuais totais como as horas de mão de obra foram divididos pela Distância Percorrida para obter a relação custos/quilómetro e horas/quilómetro de cada segmento. São feitas representações gráficas para os custos e horas totais, custos e horas da manutenção preventiva e custos e horas da manutenção curativa. É também feita uma representação da relação custo/quilómetro, não em base anual, mas em relação à idade do segmento.

4.2.2. Rotáveis

Da mesma maneira que para os dados descritos anteriormente, o número de intervenções nos rotáveis também foi dividido em intervenções de manutenção preventiva ou manutenção curativa. No caso da informação relativa às intervenções nos rotáveis, foi possível verificar que as intervenções curativas se cingem apenas a recondiçõamentos complexos destes órgãos ou dos seus constituintes, pelo que se decidiu atribuir as intervenções nos rotáveis apenas como preventivas ou curativas.

Os custos e o número de intervenções foram assim agrupados, em manutenção preventiva ou curativa, e somados mensalmente e, conseqüentemente, anualmente, por rotável (motor, caixa de velocidades e diferencial) e por segmento.

São representados graficamente os custos totais do recondiçõamento de motores, caixas de velocidades e diferenciais, sem especificar o segmento, e são relacionados com o número de intervenções preventivas e curativas.

Quanto a relações comparativas, apenas os custos despendidos com motores foram analisados por segmento. As caixas de velocidades são de apenas três fornecedores e os diferenciais não têm um impacto considerável, não justificando a divisão entre segmentos. Além da representação gráfica dos custos absolutos das intervenções em motores por segmento, é ainda analisada a relação custos/autocarro. Os rotáveis, por serem órgãos reparáveis e substituíveis, não realizam o mesmo trabalho que o autocarro como sistema. Assim, considerou-se impreciso que a relação dos custos fosse feita com a distância percorrida, e foi antes utilizada uma relação com a quantidade de veículos de cada segmento. Como a quantidade de carros ativos pode variar ao longo do tempo, esta relação foi feita anualmente e para a média de carros ativos de cada segmento, nesse ano.

Para os três rotáveis analisados, foi ainda calculada a relação custo/intervenção curativa por segmento.

4.3. Dados de Consumos de Combustível e Óleo

Tendo o volume dos consumos de combustível e de óleo em base mensal, os consumos anuais de cada segmento foram determinados a partir da soma dos consumos dos meses desse ano.

Para permitir a comparação, é determinado o consumo específico. O consumo específico anual foi determinado a partir do somatório do consumo a dividir pelo somatório da distância percorrida. O consumo específico do combustível foi determinado em L/100 km, ou Nm³/100 km para o GNC, e o consumo específico do óleo foi determinado em L/1000 km, por uma questão de facilidade de visualização e interpretação.

Os consumos específicos são então abordados anualmente e sazonalmente. É expectável que, através da análise anual, seja possível identificar o envelhecimento dos veículos e o possível desgaste dos seus componentes. O objetivo da análise sazonal é compreender se há efeitos que levem a variações sazonais significativas no consumo, como a utilização do ar condicionado nos meses de verão ou as condições de trânsito.

4.4. Dados Ambientais

4.4.1. Emissões de CO, HC, NO_x e PM

As emissões de CO, HC, NO_x e PM são calculadas a partir da metodologia e dos fatores de emissão da *European Environment Agency* (Leonidas Ntziachristos, n.d.).

As emissões de escape são apresentadas de acordo com quatro categorias de veículos, especificadas pela *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE). Para métodos de estimativa mais detalhados, estas quatro categorias estão divididas em subcategorias de acordo com o combustível usado, tamanho do motor, peso ou tecnologia do veículo.

De acordo com a metodologia, os autocarros urbanos correspondem à categoria *Heavy-Duty Vehicles*. Para a presente análise, os segmentos de autocarros inserem-se em cinco subcategorias:

- Diesel, *Rigid* ≤ 7,5 t;
- Diesel, *Urban Buses Midi* ≤ 15 t;
- Diesel, *Urban Buses Standard* 15-18 t;
- Diesel, *Urban Buses Articulated* > 18 t;
- CNG, *Urban CNG Buses*.

Doravante, e de acordo com a correspondência entre a anterior classificação Corinair (Leonidas Ntziachristos, n.d.) para veículos pesados e autocarros e o novo sistema de classificação, estas cinco categorias serão simplificadas em três:

- *Heavy Goods Vehicle for vehicles* < 7,5 t;
- *Urban Buses*, para os *Midi*, *Standard* e *Articulated*;
- *Urban CNG Buses*.

Para os segmentos de autocarros analisados, foram identificadas diferentes legislações de emissões abrangidas pela presente metodologia, cada segmento com a legislação que lhe concerne:

- Euro I;
- Euro II;
- Euro III;
- Euro IV;
- EEV (GNC);
- Euro V.

De maneira a permitir a seleção do método de estimativa das emissões de escape, é apresentado, como procedimento, uma árvore de decisão.

A metodologia mais simples utiliza o combustível como indicador de atividade, combinando o mesmo com fatores de emissão específicos médios do combustível. No entanto, só deve ser utilizado na ausência de informações mais detalhadas do que as estatísticas do combustível. Além disso, deve ser feito um esforço no sentido de recolher estatísticas detalhadas para permitir a utilização das metodologias mais complexas.

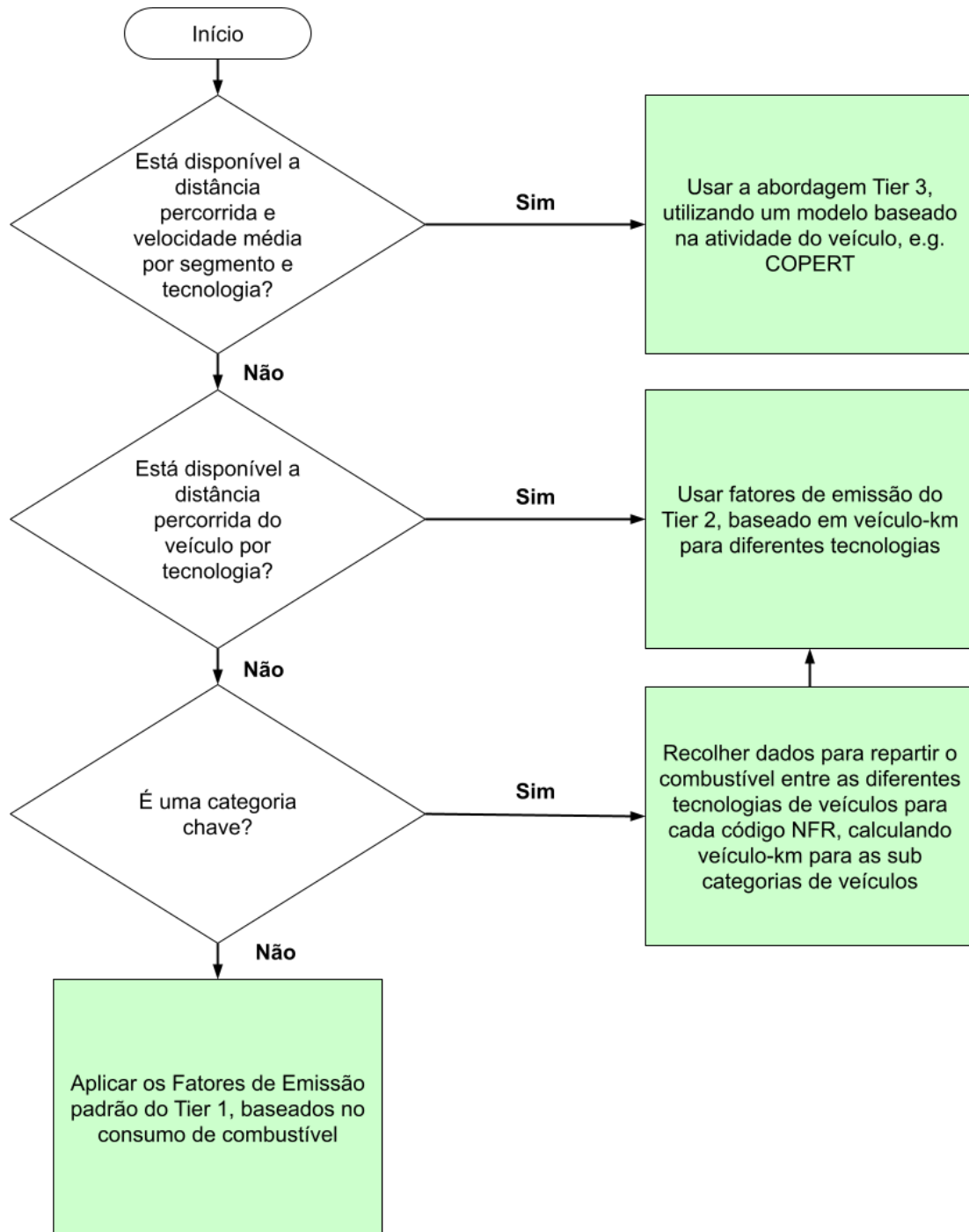


Figura 1 - Árvore de decisão para as emissões de escape de veículos rodoviários (adaptado de (Leonidas Ntziachristos, n.d.))

Para o caso corrente, não há informação relativa à velocidade média por segmento e tecnologia. No entanto, existe informação relativa à Distância Percorrida dos veículos. De acordo com a árvore de decisão apresentada, o Tier 2 deverá ser o método aplicado.

A abordagem *Tier 2* considera o combustível usado por diferentes categorias de veículos e as suas normas de emissões. As categorias dos veículos são subdivididas em diferentes tecnologias, de acordo com a legislação de controlo de emissões.

Tabela 1 - Resumo dos veículos abrangidos e abordados pela metodologia Tier 2 (adaptado de (Leonidas Ntziachristos, n.d.))

Categoria (j)	Tipo	Legislação/Tecnologia (k)
Veículos Pesados	Gasolina e Diesel	Convencional, Euro I – Euro VI
Autocarros	Autocarros Urbanos GNC	Euro I, Euro II, Euro III e EEV
	Autocarros Urbanos	Convencional, Euro I – Euro VI

Fornecendo a distância anual percorrida por segmento e tecnologia, estes valores devem ser multiplicados pelos fatores de emissão *Tier 2*.

O algoritmo usado é:

$$E_{i,j} = \sum_k (<M_{j,k}> \times EF_{i,j,k}) \quad (1)$$

Onde:

$<M_{j,k}>$ = distância total anual percorrida por todos os veículos da categoria *j* e tecnologia *k*;

$EF_{i,j,k}$ = fator de emissão específico da tecnologia do poluente *i* para o veículo da categoria *j* e tecnologia *k*.

Os fatores de emissão são definidos em gramas por quilómetro e para cada tecnologia referida na tabela seguinte:

Tabela 2 - Resumo fatores de emissão de gases de escape para veículos pesados (adaptado de (Leonidas Ntziachristos, n.d.))

Tipo	Tecnologia	CO	NMVOC	NO_x	PM
Unidades		g/km	g/km	g/km	g/km
Notas			Dado como HC exceto CH ₄		
Diesel ≤ 7,5 t	Euro III – 2000	0,584	0,115	2,630	0,057

Tabela 3 - Resumo fatores de emissão de gases de escape para autocarros (adaptado de (Leonidas Ntziachristos, n.d.))

Tipo	Tecnologia	CO	NMVOC	NO _x	PM
Unidades		g/km	g/km	g/km	g/km
Notas			Dado como HC exceto CH ₄		
Autocarros Urbanos a GNC	Euro II – 91/542/EEC II	2,700	0,313	15,000	0,010
	EEV	1,000	0,045	2,500	0,005
Autocarros Urbanos <i>Standard</i>	Euro I – 91/542/EEC I	2,710	0,706	10,1000	0,479
	Euro II – 91/542/EEC II	2,440	0,463	10,700	0,220
	Euro III – 2000	2,670	0,409	9,380	0,207
	Euro IV – 2005	0,223	0,022	5,420	0,046
	Euro V - 2008	0,223	0,022	3,090	0,046

Estando definidos o algoritmo e os fatores de emissão, procede-se ao cálculo das emissões associando a Distância Percorrida de cada segmento à sua legislação respetiva. Os valores da Distância Percorrida utilizados foram os valores anuais obtidos para cada segmento, ilustrados anteriormente.

Para confirmar os resultados obtidos e por já estarem também calculados os consumos anuais de cada segmento, foi aplicado o *Tier 1*, o seu algoritmo e os seus fatores de emissão aos consumos. Tal como a metodologia indica, o *Tier 1* é menos preciso e apresenta valores superiores aos obtidos através do *Tier 2*. No entanto, os valores obtidos para o *Tier 2* consideraram-se fidedignos, uma vez que se encontram na mesma ordem de grandeza para os obtidos no *Tier 1*.

4.4.2. Emissões CO₂

O fator de emissão do CO₂ foi retirado do formulário SIRAPA (Vicente, 2015). Deste documento, retiraram-se as seguintes informações:

Tabela 4 - Fatores de emissão do Gás Natural e do Diesel (adaptado de (Vicente, 2015))

Combustível	PCI do Combustível	Unidade do PCI	Fator de emissão CO ₂ [kg/GJ]
Gás Natural	0,03844	GJ/Nm ³	56,6
Gasóleo	43,07	GJ/ton	74,1

Para determinar a massa de CO₂ através deste método, foi necessário calcular a massa de combustível, no caso do Diesel. Para o GNC, foi usado o volume consumido anualmente, já calculado e ilustrado anteriormente.

A determinação da massa de combustível Diesel consumida foi obtida através da multiplicação do consumo anual por segmento em litros, já referido, pela densidade do combustível. A densidade considerada é de 845 kg/m³ (0,845 kg/L) (Gomes Martins, 2020).

Os consumos de Diesel, em toneladas, e os consumos de GNC são então multiplicados pelo fator de emissão que lhes concerne.

Capítulo 5 – Análise Global dos Resultados Obtidos

No capítulo que se segue, os resultados obtidos através do tratamento e processamento abordados anteriormente, são ilustrados e discutidos. Alguns dos parâmetros são ilustrados através de gráficos, enquanto outros são apresentados em tabelas. São feitas várias comparações dos parâmetros analisados a seguir entre os vários segmentos, incluindo comparações sazonais, quando se achou pertinente, e comparações anuais para identificação do envelhecimento dos veículos.

Nas secções seguintes são debatidos resultados obtidos e as várias comparações, sendo eles, respetivamente: os parâmetros que se inserem nos 5.1. Dados Operacionais, ou seja, Distância Percorrida, as Taxas de Imobilização por Status, Taxas de Imobilização Global e Taxas de Avaria Com e Sem Impacto no Cliente; 5.2. dados de Manutenção, geral, onde são representadas as parcelas da manutenção preventiva e curativa e de rotáveis, dando ênfase à comparação entre motores dos vários segmentos; 5.3. dados de consumos de combustível e óleo de motor, alvo de uma comparação anual e sazonal; e 5.4. Dados Ambientais, referentes às emissões de CO, HC, NO_x, PM e CO₂, sendo demonstrados os respetivos fatores de emissão e sendo os valores representados por segmento e em valor absoluto para a frota anualmente.

5.1. Dados Operacionais

5.1.1. Distância Percorrida

Em primeiro lugar, tendo as distâncias anuais percorridas e sabendo a idade de cada segmento, ilustrou-se o panorama geral da frota da Carris em dezembro de 2019, último mês da janela temporal dos dados analisados. O primeiro gráfico mostra a relação dos quilómetros acumulados, entre 2000 e 2019, e a idade de cada segmento, bem como a média da frota. No entanto, nas circunstâncias reais da Carris em dezembro de 2019, as novas aquisições já estavam ao serviço, e é ilustrada a influência que estas têm na média da frota.

Idade e Quilômetros Médios Acumulados

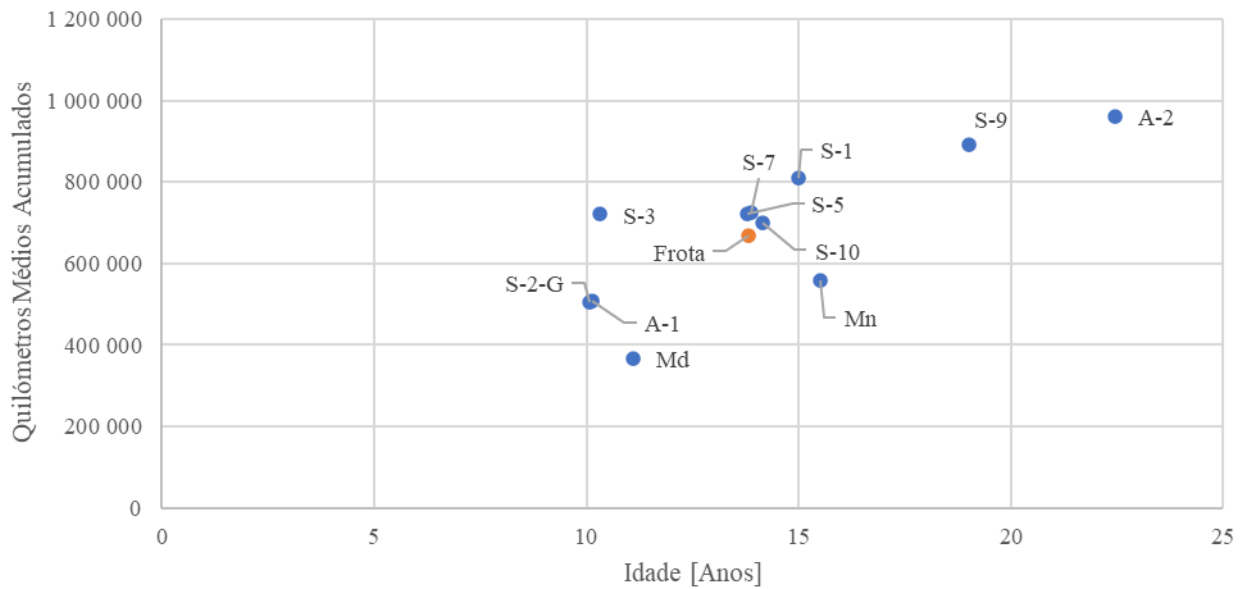


Figura 2 - Comparação Idade com Quilômetros Médios Acumulados

Idade e Quilômetros Médios Acumulados

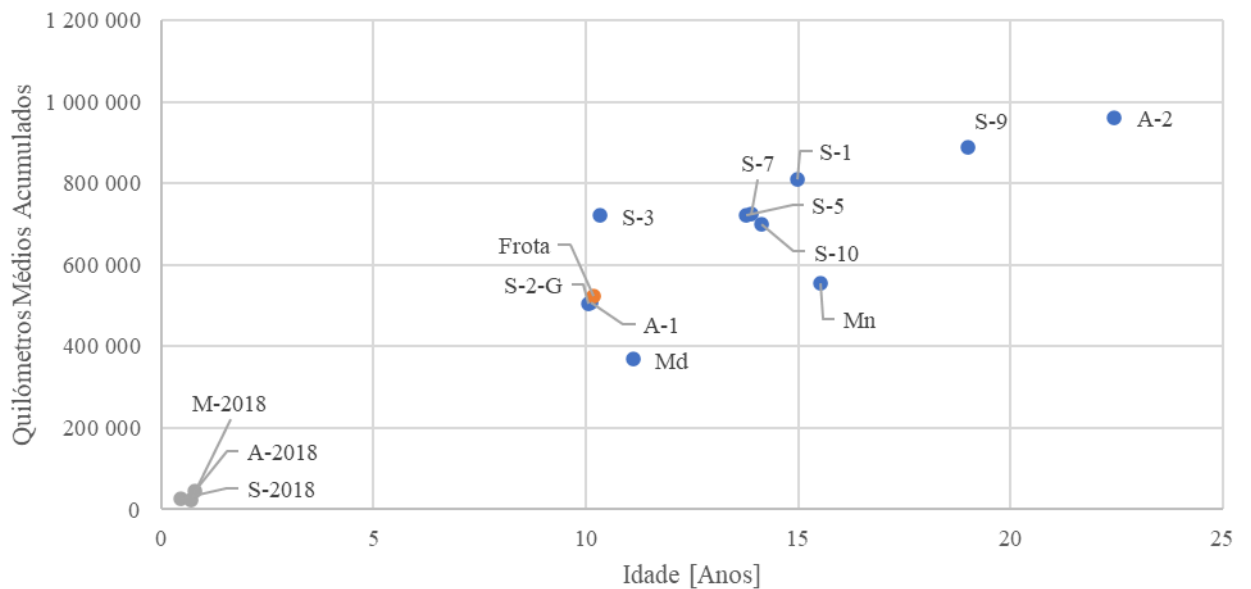


Figura 3 - Comparação Idade com Quilômetros Médios Acumulados incluindo as novas aquisições

A partir deste cenário é possível interpretar de imediato que a relação entre a idade e os quilômetros médios acumulados é linear em relação à maioria dos segmentos. No entanto, destacam-se nesta análise três segmentos: o segmento S-3 apresenta praticamente os mesmos quilômetros acumulados que os segmentos com mais 4 anos de serviço, enquanto que os segmentos Md e Mn apresentam menos quilômetros acumulados do que seria esperado para a sua idade.

Após a inclusão do panorama geral em termos de distância percorrida, segue-se uma análise à distância média percorrida por autocarro e a reflexão sobre o seu tipo de funcionamento:

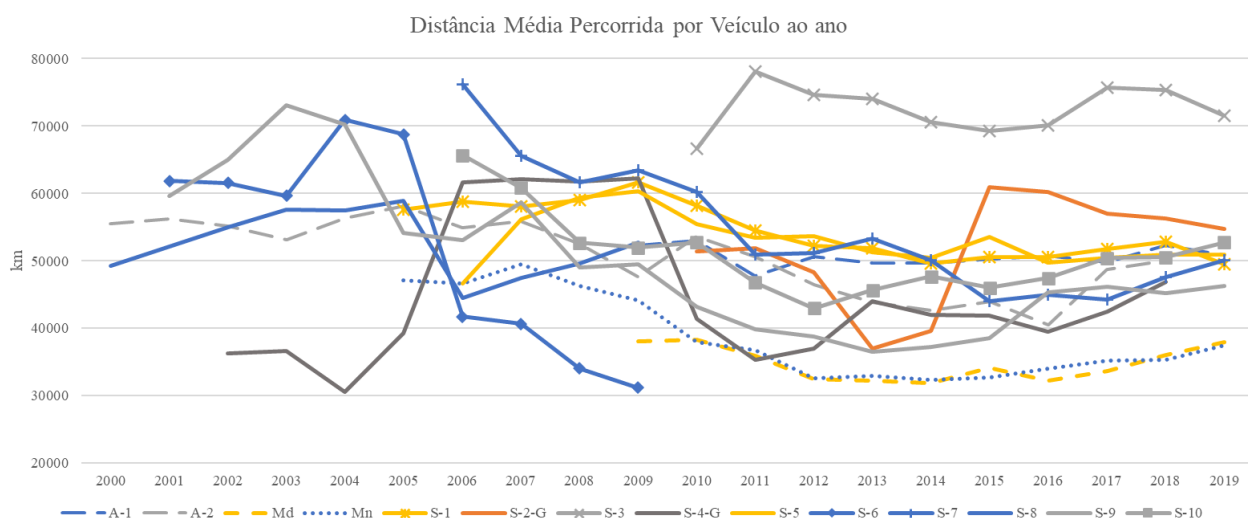


Figura 4 - Distância Média Percorrida por Veículo por Ano

Neste gráfico, destaca-se a distância média percorrida dos segmentos já identificados como fora do normal, o segmento S-3, Md e Mn. Além destes, o segmento S-4-G, que não se encontra no gráfico anterior por já não estar ao serviço em dezembro de 2019, também tem um funcionamento característico. É perceptível que cada segmento tem o seu perfil e que este pode variar ao longo dos anos.

O segmento S-3 apresenta claramente uma maior utilização anual que os restantes. Em parte, este segmento é muito utilizado em carreiras noturnas por possuir cabine de proteção para o motorista. Além disto, são autocarros com uma boa reputação de fiabilidade e com bons consumos (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020), o que faz com que a expedição tenha alguma preferência, além de ser o único segmento anterior a 2018 que possui cabine de segurança para o motorista, fazendo com que este segmento circule mais. Quanto à preferência da expedição, há ainda fatores não quantificáveis para a escolha dos segmentos (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020), como por exemplo, o conforto e a comodidade do motorista na condução. É de esperar que os veículos deste segmento comecem a dar problemas mecânicos com menos idade do que o que seria expectável, mesmo que a carroçaria ainda esteja em boas condições (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020).

Em relação aos segmentos Md e Mn, são segmentos de tipologia mini e médio, que têm relativamente pouca utilização, são empregues em carreiras mais curtas e com menor frequência (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020). O aumento da distância média percorrida a partir de 2017

deve-se ao início das Carreiras de Bairro da Carris (Câmara Municipal de Lisboa, n.d.), onde são preferidos este tipo de veículos.

O segmento S-4-G era pouco usado no início e foi necessária uma melhoria no abastecimento do gás natural para que passassem a ter uma utilização mais recorrente (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020), como é possível observar pela distância média percorrida pelo segmento S-4-G entre os anos de 2001 e 2005. Questões logísticas também podem vir a influenciar os perfis de funcionamento dos segmentos.

Os segmentos A-1 e A-2, articulados, têm distâncias percorridas anuais semelhantes aos segmentos *standard*. Apesar de no estado da arte constar que esta tipologia tem menos procura, na prática, tal pode não acontecer, pelos inúmeros fatores que podem caracterizar o serviço. Apesar dos articulados serem uma mais-valia para horas de ponta, há carreiras que têm muita procura ao longo de todo o dia e que justificam a circulação de autocarros articulados nalguns percursos durante todo o dia (M. Pombo, comunicação pessoal, maio, 2021), e não apenas nas horas de ponta. Esta tipologia está muitas vezes destacada em carreiras com velocidades médias mais elevadas, por circularem em eixos estruturantes da cidade de Lisboa (G. Gonçalves, comunicação pessoal, maio, 2021).

É ainda possível relacionar a alteração do perfil do segmento A-2, com a aquisição do segmento A-1, ambos articulados, e do S-4-G com a aquisição do S-2-G, ambos a GNC.

Perante a necessidade de utilizar um termo comparável (Harris et al., 2018), ao utilizar o segmento como unidade de comparação foi possível visualizar que o tipo serviço varia muito, mesmo dentro da mesma tecnologia ou da mesma tipologia. É perceptível que alguns segmentos têm tipos de serviço muito característicos e esta informação perder-se-ia se o termo de comparação fosse a tecnologia, a tipologia ou se se analisasse a frota como um todo.

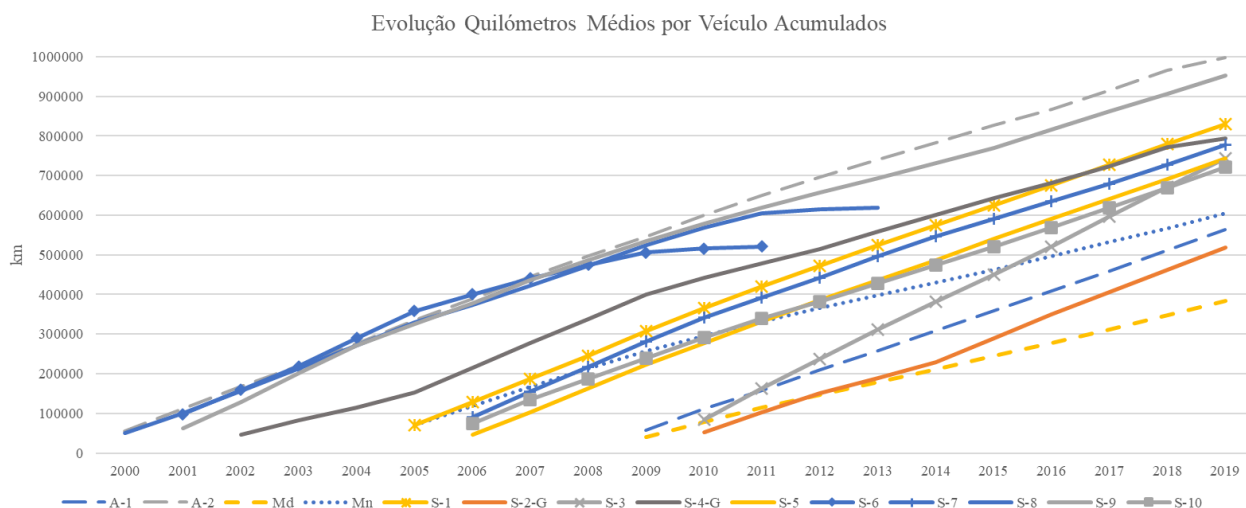


Figura 5 - Evolução dos Quilómetros Médios por Veículo Acumulados

Para complementar, é ilustrada graficamente a evolução dos quilómetros acumulados, onde é possível ver que os vários segmentos apresentam diferentes declives. Como seria de esperar, segmentos com um perfil de maior utilização, como o S-3, tem um declive maior, enquanto que os segmentos Md e Mn têm declives menores.

Excepcionalmente, para esta representação foi incluída a atividade dos últimos anos dos segmentos do S-6 e S-8. Para a obtenção da distância média percorrida por carro, considerou-se que a atividade dos últimos anos não é representativa. Tal veio a confirmar-se na representação da evolução dos quilómetros acumulados, que não têm um aumento relevante nos últimos anos de atividade destes segmentos.

Em relação aos segmentos a GNC, em 2010, com a aquisição de um novo segmento em 2009, a oferta (Figura 4 - Distância Média Percorrida por Veículo por Ano) provida por esta tecnologia baixa novamente, mas em 2014 o declive da linha dos quilómetros acumulados do segmento S-2-G aumenta, podendo significar uma melhor inserção desta tecnologia, que se revela como fundamental para a adaptação de novas aquisições a GNC na frota. As conclusões a retirar sobre a operação dos veículos a GNC numa frota pode estar condicionada, nesta dissertação, uma vez que, no período analisado, estiveram no máximo 60 viaturas a GNC em circulação, e apenas entre 2010, momento da aquisição mais recente de veículos a GNC contabilizados para o estudo, e 2015, ano em que começaram a ser abatidos os primeiros veículos a GNC, adquiridos em 2001. As duas parcelas do segmento S-4-G, de 2001 e 2005, foram abatidas em 2015 e ao longo de 2019 respetivamente, com cerca de 14 anos de serviço, mas uma das razões pode ser o facto da vida útil das garrafas de GNC ser de 15 anos (G. Gonçalves, comunicação pessoal, março, 2021), e poderá não haver comparação entre a vida útil do veículo em si com a vida útil de um semelhante a Diesel, que em alguns dos segmentos analisados tem tantos ou mais anos de serviço.

As duas figuras anteriores mostram que as várias tipologias de autocarros têm, na maioria, ciclos de funcionamento semelhantes. Excetuam-se essencialmente os dois segmentos das tipologias mini e médio e um segmento *standard*, o S-3. As tipologias mini e médio têm menor lotação e são procuradas para carreiras mais curtas, com menor frequência ou em horas de vazio, o que leva a uma menor procura pela expedição e a ciclos de funcionamento potencialmente menos exigentes. No entanto, estas tipologias executam serviços com características muito específicas, o que se verá mais à frente. O segmento S-3 é uma exceção em relação ao funcionamento típico dos *standard*; a sua distância anual percorrida mais elevada deve-se ao facto de estar alocado especialmente a carreiras noturnas por possuir cabine de proteção para o motorista, como já referido, e ver-se-á de seguida que este segmento possui baixas taxas de avarias, correspondendo a uma boa reputação de fiabilidade.

5.1.2. Taxas de Imobilização por Status e Taxas de Imobilização Global

As Taxas de Imobilização por Status são representadas de forma absoluta e relativa, para permitir observar como afetam a totalidade da frota, e também a representação das várias categorias da imobilização entre si.

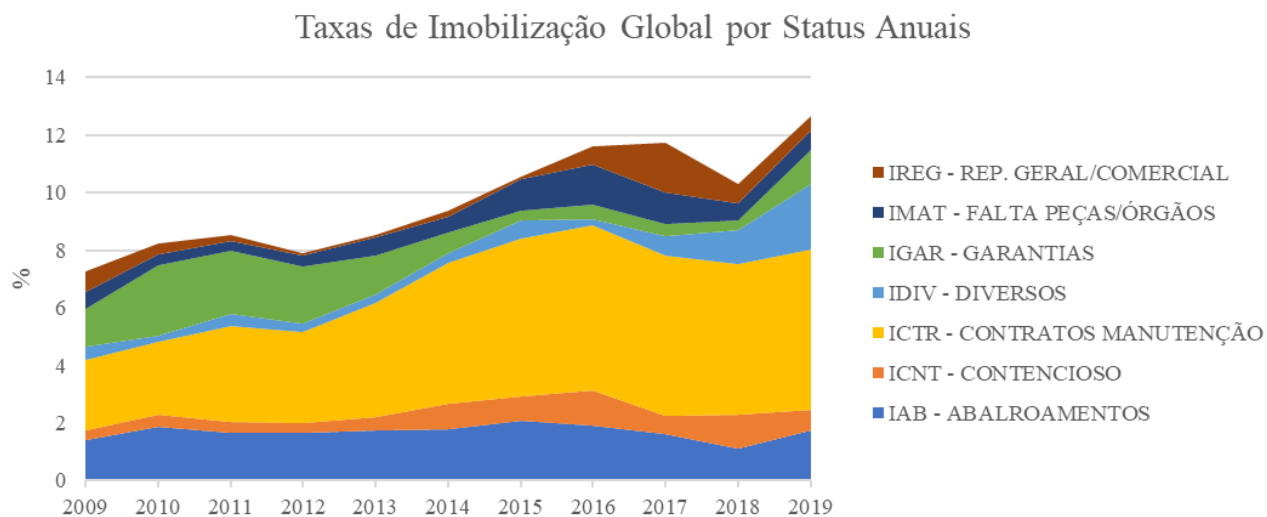


Figura 6 - Taxas de Imobilização por Status Anuais

Taxas de Imobilização Global por Status Anuais

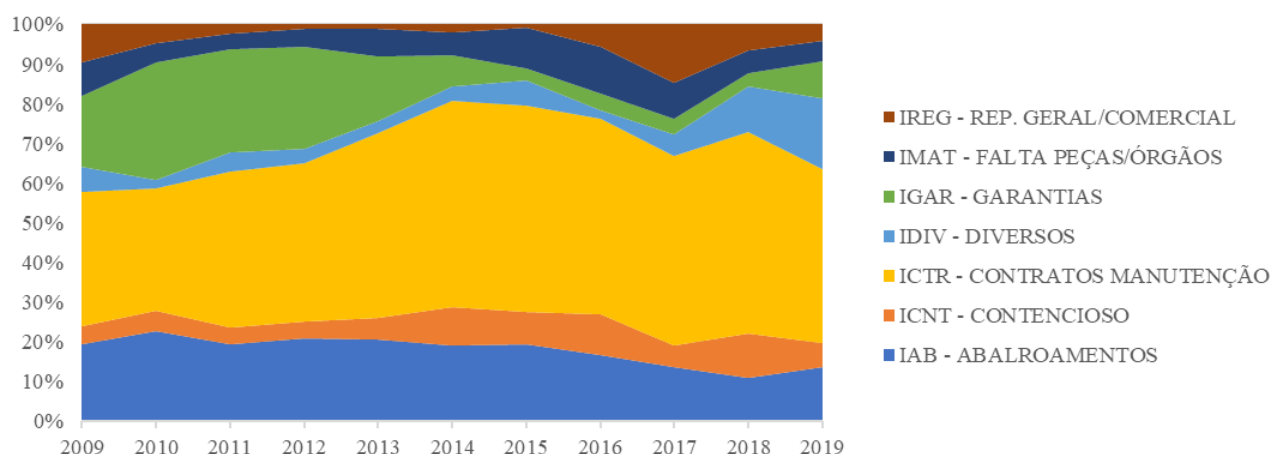


Figura 7 - Taxas de Imobilização Global por Status Relativas

A categoria correspondente à manutenção regular dos autocarros foi, ao longo dos anos analisados, a categoria preponderante que leva à imobilização.

É possível também verificar a preponderância das garantias nos dois anos a seguir a novas aquisições.

Outra categoria que amplifica nos últimos anos é a dos diversos, onde se inserem situações de autocarros parados a aguardar abate, e que coincide com processos de abate de vários segmentos, tendo sido alguns deles arrastados até dezembro de 2019 ou mesmo até momentos posteriores.

Genericamente, é reconhecível que as Taxas de Imobilização aumentaram em 2019, em grande parte devido às situações da categoria Diversos. No entanto, salienta-se que em 2018 começaram a circular os autocarros das aquisições mais recentes e, mesmo com uma Taxa de Imobilização mais elevada, a Carris conseguiu manter a oferta nesse ano. Uma Taxa de Imobilização baixa não representa obrigatoriamente um objetivo a atingir, desde que o impacto que tenha na oferta não seja relevante (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020).

Individualmente, foram ainda ilustradas as categorias das Garantias e dos Abalroamentos, esta última por ser provavelmente a mais aleatória e por se considerar relevante tentar detetar um padrão.

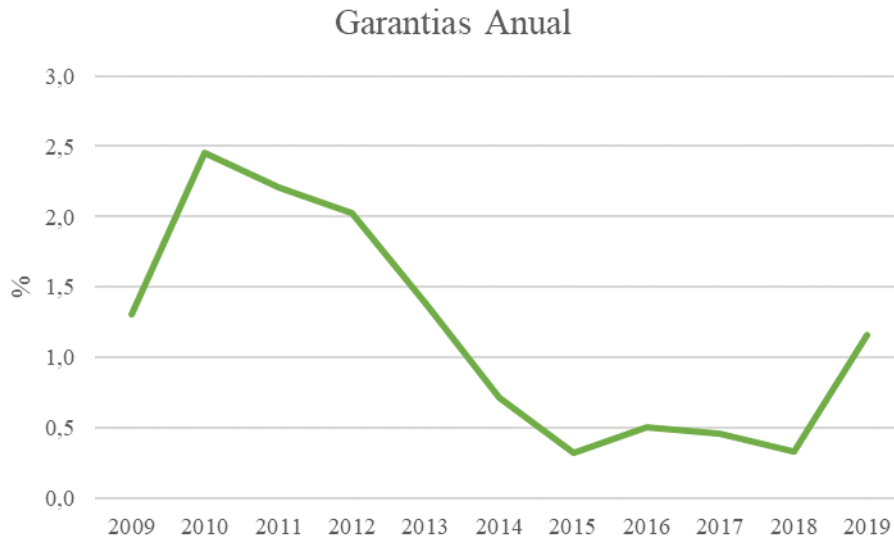


Figura 8 - Categoria Garantias das Taxas de Imobilização

Como seria de esperar, a Taxa de Imobilização devido às garantias acompanha a aquisição de novos segmentos. Entre 2008 e 2010 foram adquiridos 5 segmentos de autocarros e, em 2018, foram adquiridos 3 segmentos.

De seguida, segue-se a representação da sazonalidade dos abalroamentos. O gráfico seguinte expressa os valores médios vários anos, entre 2009 e 2019, em cada mês.



Figura 9 - Taxas de Imobilização por Abalroamentos – Sazonalidade

A sazonalidade das Imobilizações por abalroamentos varia relativamente pouco e não mostra tendências que caracterizem meses de verão e meses de inverno. Os abalroamentos não ocorrem

obrigatoriamente nestes meses, pois pode ocorrer um certo desfasamento nas imobilizações (M. Pombo, comunicação pessoal, abril, 2021)

As taxas de Imobilização Global são representadas em formato tabela e complementado com um gráfico dos segmentos com valores mais característicos. Para facilitar a leitura e a análise, na tabela consta também a quantidade de autocarros por segmento. Na tabela, consta também a média da frota completa.

Tabela 5 - Taxas de Imobilização Global

	Ve.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média
A-1	50	0,5*	2,2*	5,0	6,0	5,9	8,8	10,6	9,5	9,8	10,5	7,8	7,5	7,0
A-2	40	7,0	10,6	8,0	6,9	8,7	9,4	8,7	9,8	9,7	15,2	15,9	23,7	11,1
Md	20	15,4	13,4	16,3	12,6	8,6	10,7	12,5	17,0	9,0	8,3	14,3	22,7	13,4
Mn	40	13,3	15,8	14,9	14,8	10,1	9,2	12,7	12,5	20,9	19,6	13,8	9,6	13,9
S-1	148	4,0	4,2	4,1	3,8	3,6	5,8	6,5	7,7	9,2	8,2	7,1	9,0	6,1
S-2-G	20	-	-	11,8	14,5	20,4	14,7	11,8	11,9	15,6	19,6	18,9	16,4	15,6
S-3	40	-	11,0	18,3	14,7	16,7	14,5	15,9	18,9	18,6	15,2	17,1	19,0	16,4
S-4-G	40	8,7	a)											
S-5	100	5,2	4,8	5,3	4,4	4,3	5,0	5,3	6,7	6,0	7,0	9,6	11,6	6,3
S-6	39	11,4	13,6	a)										
S-7	67	4,8	4,9	7,4	12,8	11,8	11,1	11,7	14,9	16,3	16,2	6,7	12,2	10,9
S-8	110	10,2	7,3	a)										
S-9	35	9,0	12,7	15,9	19,5	7,7	10,6	11,8	12,7	16,3	16,4	10,1	24,7	14,0
S-10	33	7,2	7,4	6,4	7,2	12,1	9,5	11,7	9,5	12,5	11,5	12,2	15,5	10,2
Frota	782	8,0	8,3	9,7	10,0	9,3	9,7	10,8	11,5	12,5	13,0	11,4	14,3	10,7

No gráfico que se segue encontra-se representada a média da frota e alguns segmentos que se consideraram particulares:

* O segmento A-1 era composto por apenas 20 veículos em 2008 e 2009

a) Não foi possível obter dados posteriores ao ano referido

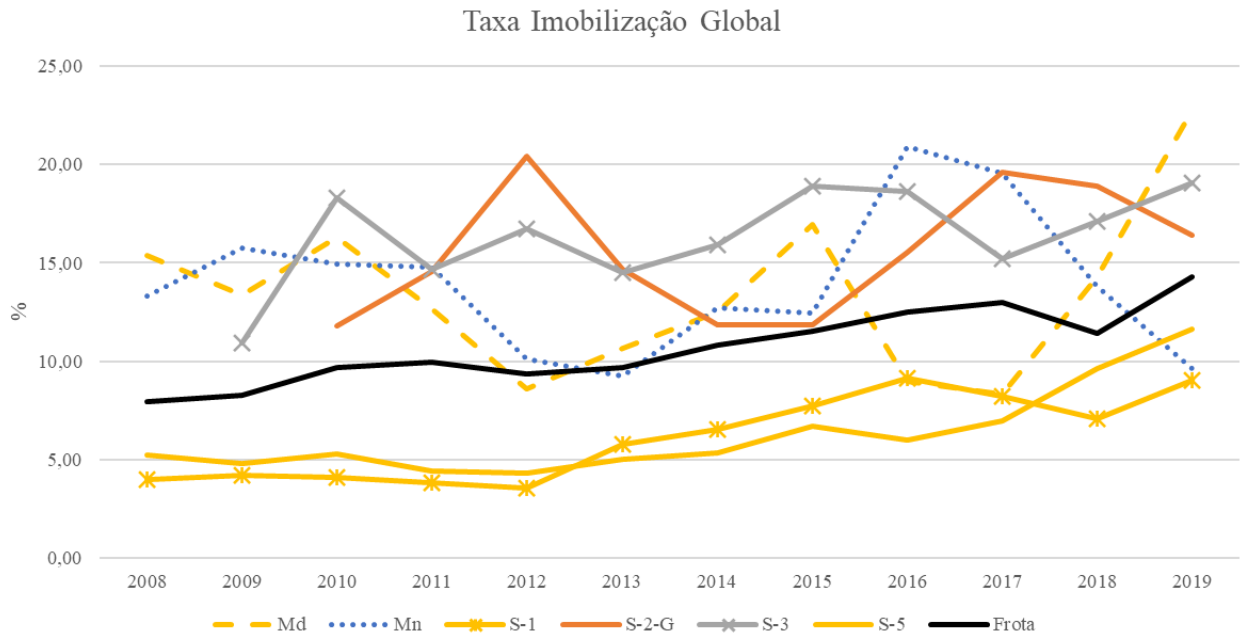


Figura 10 - Taxa de Imobilização Global de alguns segmentos e média da frota

No gráfico acima são representados os dois maiores segmentos, dois segmentos pequenos e dois segmentos de média dimensão. É possível verificar que os segmentos maiores apresentam taxas de imobilização mais baixas, logicamente porque cada carro imobilizado tem menos peso na percentagem da imobilização do segmento. Pelo contrário, os segmentos mais reduzidos apresentam taxas de imobilização mais elevadas porque cada imobilização tem um impacto maior, mesmo assumindo igual probabilidade de um veículo ficar imobilizado em todos os segmentos.

O segmento que caracteristicamente tem maior taxa de imobilização é o S-3, o que pode dever-se a ser um segmento com um perfil de utilização mais exigente. Outro segmento com taxas de imobilização mais elevadas é o Mn, mesmo com distâncias percorridas anuais relativamente pequenas. O serviço prestado por esta tipologia é caracterizada por uma utilização intensiva. Concretamente, os trajetos executados por estes veículos são muito exigentes, com ruas sinuosas, pendentes elevadas e maus pisos. Além de terem taxas de ocupação muito elevadas, as distâncias entre paragens nos percursos destes autocarros são curtas e com trânsito muito congestionado, caracterizando assim o regime “para-arranca” (M. Pombo, comunicação pessoal, abril, 2021). As necessidades dos serviços prestados pela tipologia mini são muito específicas e tendo as características designadas em conta, a taxa de imobilização elevada é uma consequência da utilização intensiva, pois sobrecarrega o veículo.

Outra representação abordada é a variação sazonal das taxas de imobilização:



Figura 11 - Sazonalidade da Taxa de Imobilização Global

As Taxas de Imobilização crescem visivelmente ao longo dos meses quentes, o que pode dever-se a avarias do ar condicionado e problemas por sobreaquecimento do motor, que não são tão suscetíveis de acontecer em meses frios. No mês de agosto, a oferta do serviço é mais reduzida e há menor necessidade de autocarros a circular.

5.1.3. Taxa de Avarias

As Taxas de Avarias com Impacto são apresentadas ao longo dos anos e sazonalmente. Na representação anual são ilustrados todos os segmentos e a média da frota, enquanto que sazonalmente é apenas apresentada a média da frota.

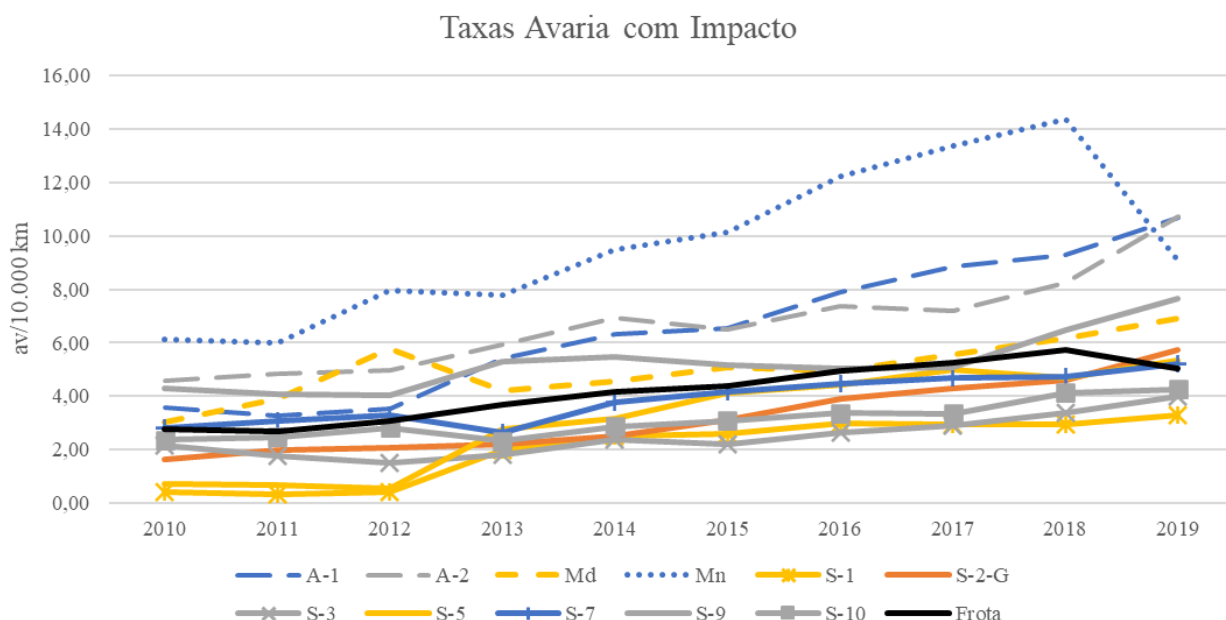


Figura 12 - Taxas de Avaria com Impacto

Com esta informação é possível perceber que o segmento Mn é o mais problemático, o que vai ao encontro com as características específicas do seu serviço, já referidas. O decréscimo das Taxas de Avarias deste segmento em 2019 deve-se ao facto destes veículos terem sido substituídos pelos do segmento Md sempre que possível (G. Gonçalves, comunicação pessoal, dezembro, 2020). De seguida, os segmentos A-1 e A-2, que por serem articulados, são maiores e estão mais sujeitos a falhas devido ao acréscimo de componentes, é de esperar que apresentem taxas de avarias maiores em relação às tipologias de menor dimensão. O segmento S-9 é o *standard* com maior taxa de avarias, mas também é dos segmentos mais envelhecidos.

Em relação ao segmento S-3, apesar de apresentar, como já visto, taxas de imobilização relativamente altas, apresenta baixas taxas de avarias, ou seja, a imobilização deste segmento não se deve principalmente a falhas dos veículos.

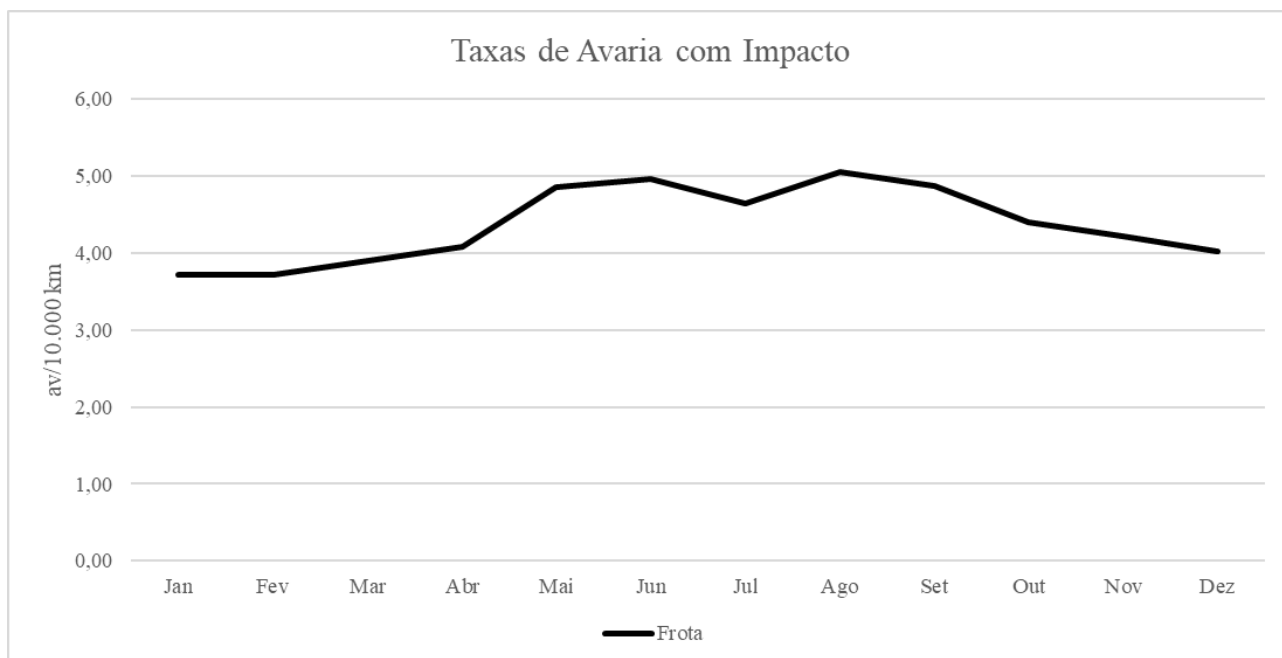


Figura 13 - Sazonalidade das Taxas de Avarias

Mais uma vez, as Taxas de Avaria aumentarem nos meses quentes pode dever-se às avarias do ar condicionado, que nos meses de verão implica que o autocarro não circule, contrariamente aos meses de inverno em que não é necessária ação para que o veículo esteja disponível.

As Taxas de Avaria sem Impacto, por terem começado a ser monitorizadas apenas em 2016, não foram consideradas relevantes para se incluir graficamente. Verificou-se que as Taxas de Avaria sem Impacto são cerca de um terço das Taxas de Avaria com Impacto.

5.2. Dados de Manutenção

5.2.1. Manutenção Geral

Os custos e tempo de mão de obra relativos à manutenção são representados na totalidade e pelas parcelas anuais da manutenção preventiva e manutenção curativa. São efetuadas comparações em função da distância percorrida. É também feita uma abordagem à relação custos/quilómetro, mas em relação à idade do segmento. Por questões de confidencialidade, os custos são designados por Unidade Monetária (UM) e o tempo de mão de obra por Unidade Temporal (UT).

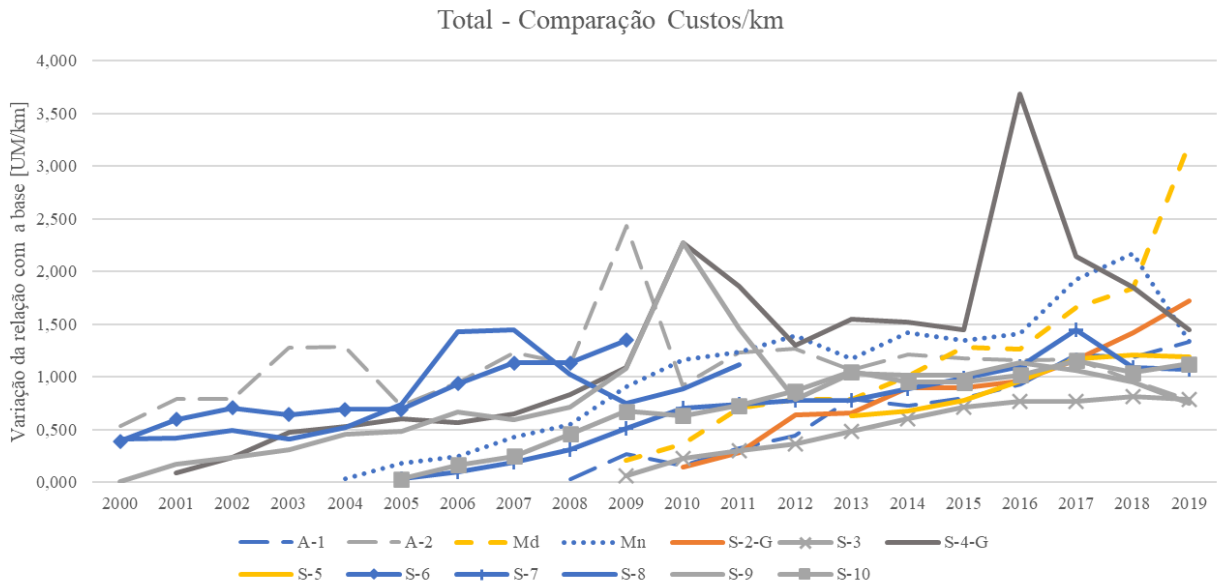


Figura 14 - Relação Custos Totais Manutenção por Quilómetro

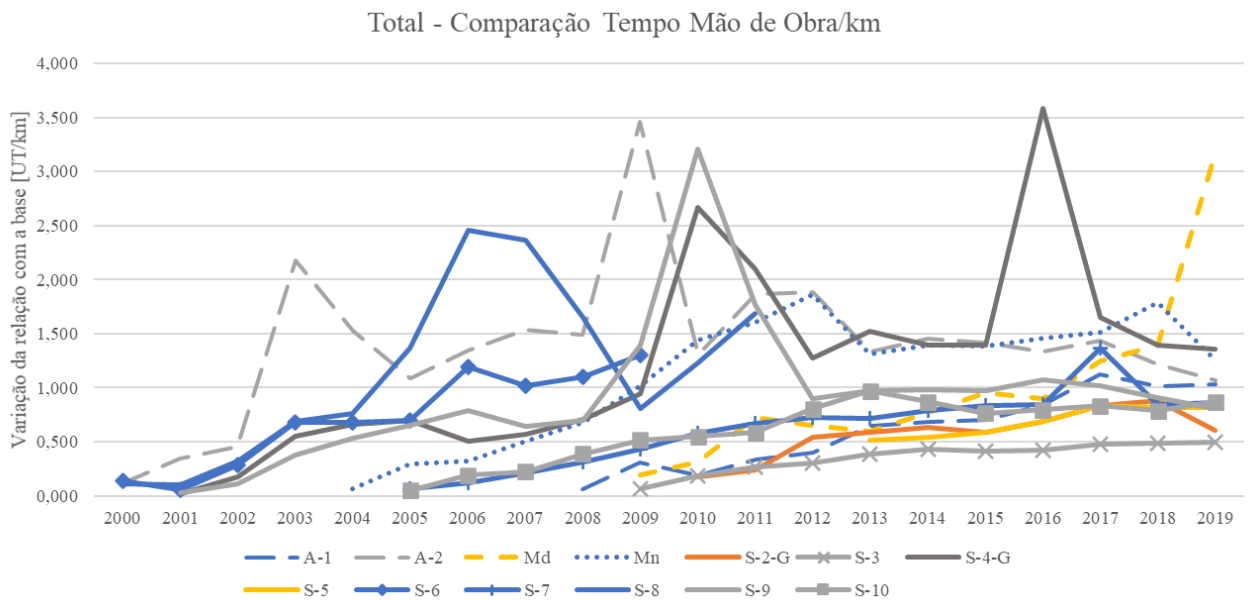


Figura 15 - Relação Tempo de Mão de Obra Total por Quilómetro

Em primeiro lugar, serão analisados os “picos” dos custos da manutenção de alguns segmentos, sendo eles:

- Segmento A-2 nos anos 2003, 2004, 2009, 2011 e 2012;
- Segmento S-8 nos anos 2006 e 2007;
- Segmento S-9 no ano 2010;
- Segmento S-4-G nos anos 2010, 2011, 2016 e 2017;
- Segmento Mn nos anos 2012 e 2018;
- Segmento S-7 no ano 2017;
- Segmento Md no ano 2019.

Tendo acesso à descrição breve de cada Ordem de manutenção, achou-se pertinente determinar a razão para aumentos dos custos de manutenção tão abruptos. Na maioria dos casos acima mencionados, os custos elevados devem-se a reparações e recondiçõamentos profundos dos veículos. Como já mencionado, ao fim de alguns anos de serviço, surge a necessidade de intervenções profundas. Os aumentos abruptos ocorrem quando os respectivos segmentos têm cerca de 10 anos de serviço, ou seja, estão na ordem da sua meia vida. O aumento abrupto dos custos da manutenção do segmento S-4-G em 2016 corresponde a reparações a nível do soalho e em 2012 o segmentos Mn teve problemas nas longarinas do chassis. Exceccionalmente, o “pico” do segmento S-7 em 2017 foi originado por uma gralha na inserção dos dados no *software*. Apesar de não ser tão pronunciado como para os restantes segmentos, os custos deste ano fogem aos custos normais do respetivo segmento e considerou-se merecedor de atenção. Ao aprofundar as razões para os aumentos dos custos, detetou-se que o segmento S-7, em 2017, possui uma Ordem com um tempo de mão de obra na ordem dos milhares de horas. O cálculo dos custos de mão de obra é calculado automaticamente pelo *software*, pelo que esta gralha representa um aumento enorme de custos de mão de obra que não ocorreram na realidade. Com isto, despertou-se a necessidade de ter sentido crítico ao observar informação deste género. Os dados inseridos no *software* nem sempre correspondem à realidade (M. Borsdorf, comunicação pessoal, dezembro, 2020).

De um modo geral, as linhas dos custos são semelhantes às linhas das horas aplicadas para os respetivos segmentos em ambas as representações. Apesar das diferenças entre os vários segmentos, os custos e o tempo empregados na manutenção, tende a aumentar ao longo dos anos.

O segmento S-3 é claramente o segmento menos dispendioso, o que está conforme com as baixas taxas de avarias analisadas anteriormente. Em conformidade com o funcionamento intensivo do segmento Mn, este será dos mais dispendiosos em termos de custos de manutenção. Outro aspeto que está em conformidade com a análise das taxas de imobilização é o aumento súbito dos custos e das horas despendidas no segmento Md.

É também ilustrada a relação custo/quilómetro, mas relacionada com a idade dos segmentos, e não anualmente. O formato das linhas será igual aos da representação anterior, mas permitirá observar a evolução dos custos com o envelhecimento dos segmentos.

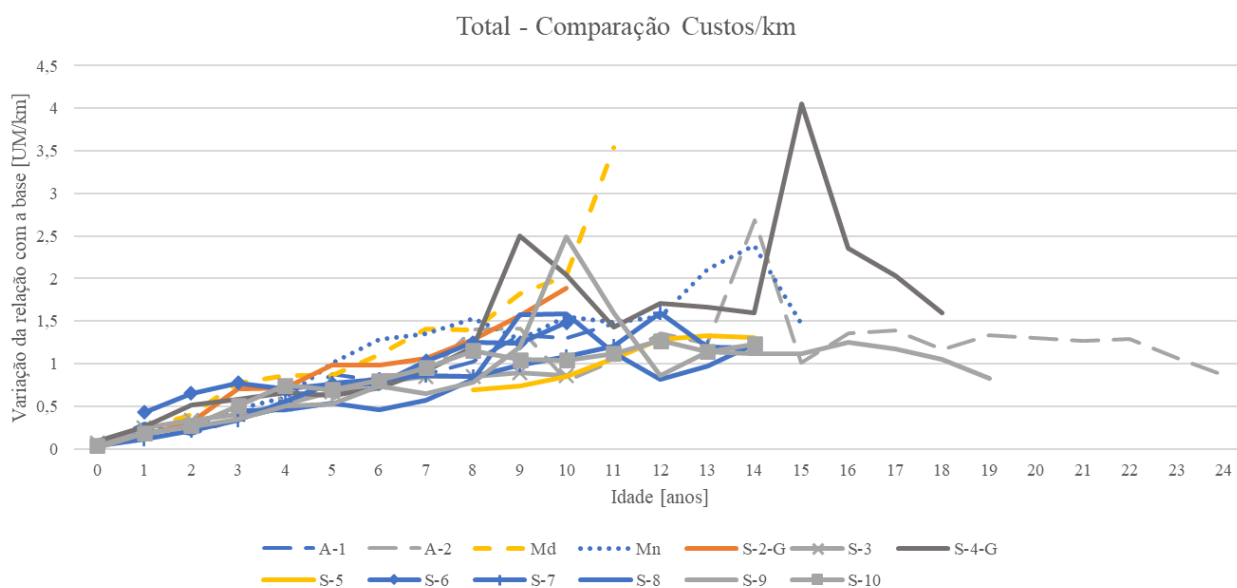


Figura 16 - Relação Custos Totais Manutenção por Quilómetro com a idade

Como seria de esperar, os custos da manutenção tendem a aumentar com o envelhecimento e utilização acumulada e, eventualmente, alguns segmentos sofrem intervenções profundas. Os segmentos com o crescimento mais rápido em custos de manutenção são os segmentos Mn e Md evidenciando que, mesmo percorrendo distâncias anuais menores, estes segmentos têm uma utilização muito exigente. Já referido para o segmento Mn, também o segmento Md efetua serviços muito intensos, em percursos sinuosos, íngremes e com piso em mau estado.

Para facilitar a visualização do crescimento dos custos da manutenção com a idade dos segmentos, segue-se a representação da relação custo/quilómetro média da frota:

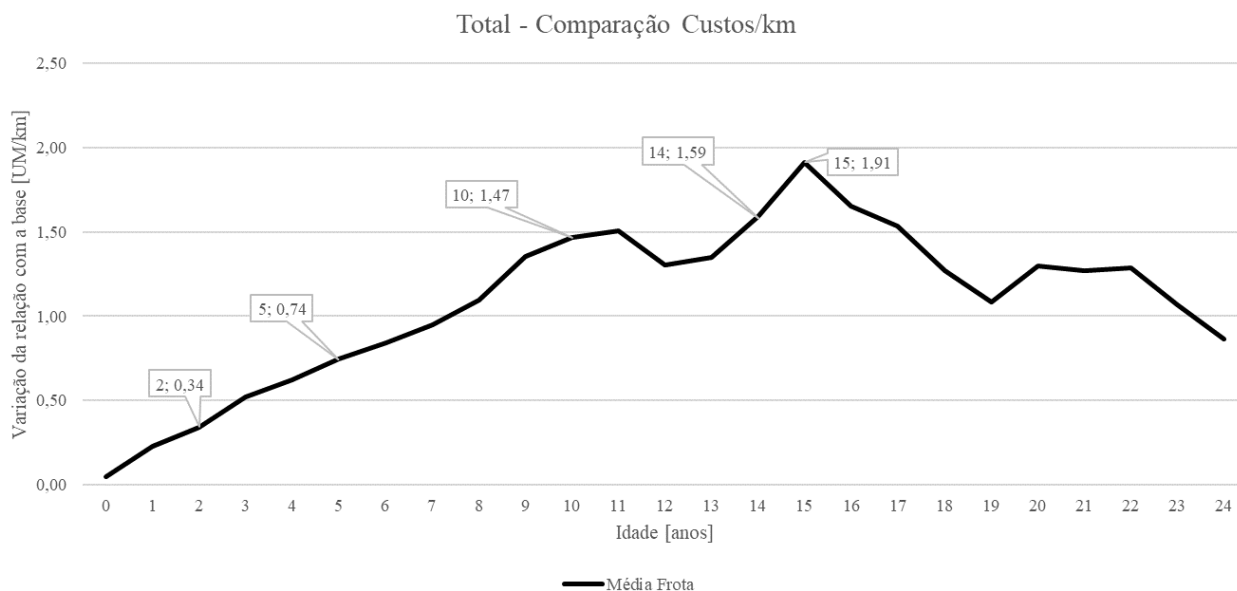


Figura 17 - Média da Relação Custos Totais Manutenção por Quilómetro com a idade

Salienta-se o custo/quilómetro aos dois anos, por ser o fim da garantia, aos cinco e aos dez anos. A partir dos 15 anos, a relação custo/quilómetro não foi considerada fidedigna, uma vez que, para os segmentos analisados, apenas 4 deles perfizeram 15 ou mais anos de serviço, durante os anos de operação da qual os dados foram analisados, seja por terem sido retirados antes dessa idade ou por ainda não a terem alcançado em 2019. Além disso, considerou-se que a partir daqui os dados poderão não ser reveladores; dos 4 segmentos que perfizeram 15 anos de operação, apenas 3 chegaram aos 18 anos, 2 aos 19 e 1 aos 20. Por serem segmentos mais envelhecidos, seria de esperar que a relação custo/quilómetro fosse mais elevada e tal não se verifica. Estes dados, por serem referentes a poucos segmentos, podem não corresponder à realidade e basta os dados de um segmento estarem adulterados para influenciar o panorama real.

Aos 5 anos, o custo por quilómetro é cerca do dobro da mesma medida no fim da garantia. Entre os 10 e os 14 anos, esta relação volta a dobrar.

5.2.1.1. Manutenção Curativa

De seguida, representam-se as relações custo/quilómetro e horas/quilómetro da componente curativa da manutenção.

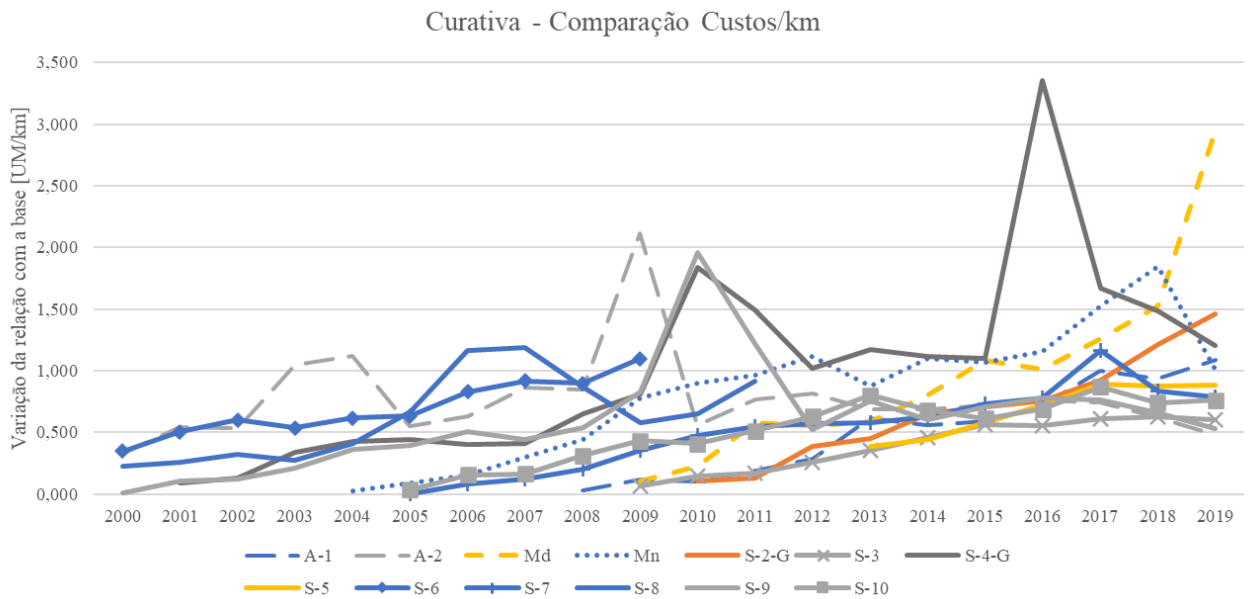


Figura 18 - Relação Custos Manutenção Curativa por Quilómetro

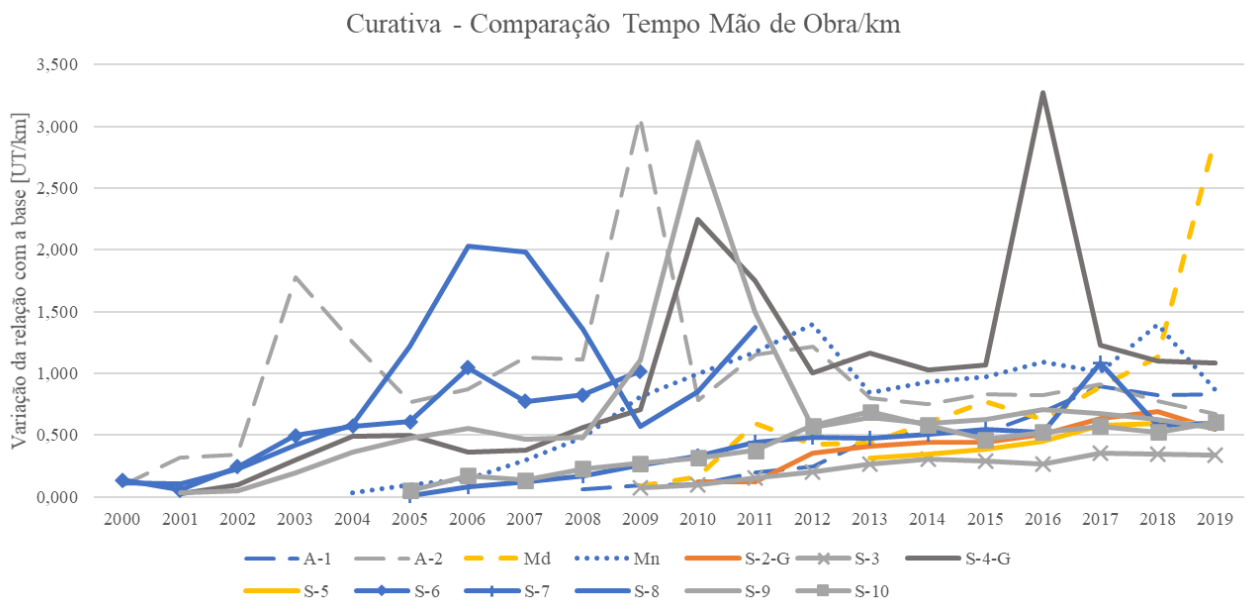


Figura 19 - Relação Tempo de Mão de Obra Manutenção Curativa por Quilómetro

Mais uma vez, a forma das linhas da relação custo/quilómetro é semelhante à relação hora/quilómetro e é possível perceber que a componente da manutenção curativa é a que mais contribui para a manutenção geral e vai subindo com o tempo.

5.2.1.2. Manutenção Preventiva

Segue-se a representação das relações custo/quilómetro e horas/quilómetro da componente da manutenção preventiva.

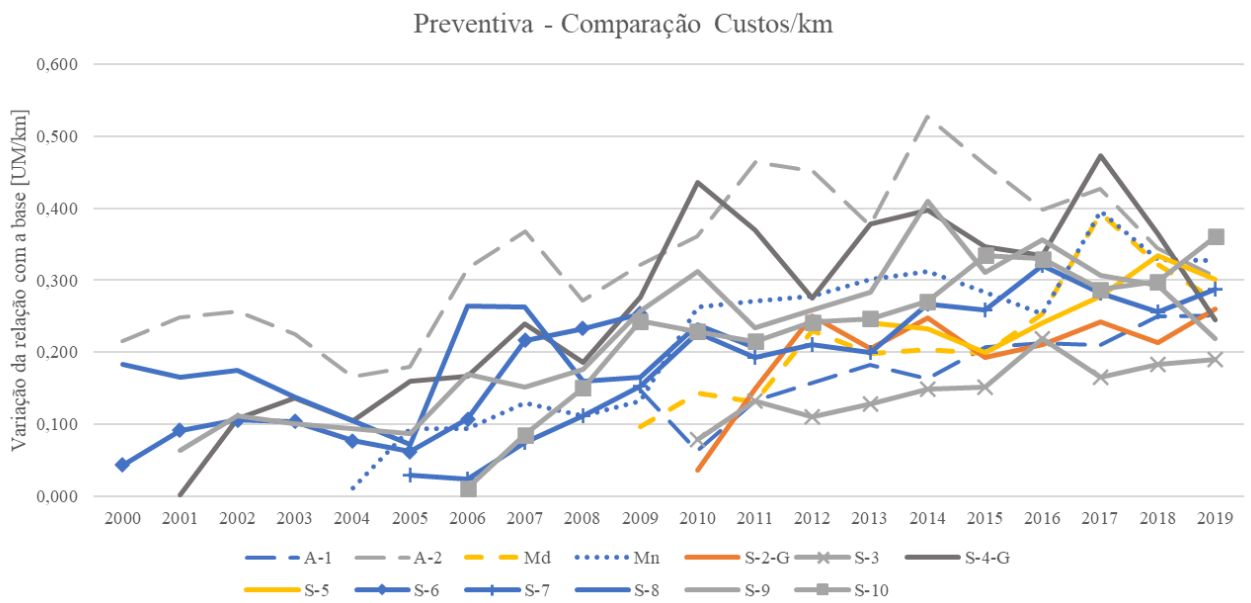


Figura 20 - Relação Custos Manutenção Preventiva por Quilómetro

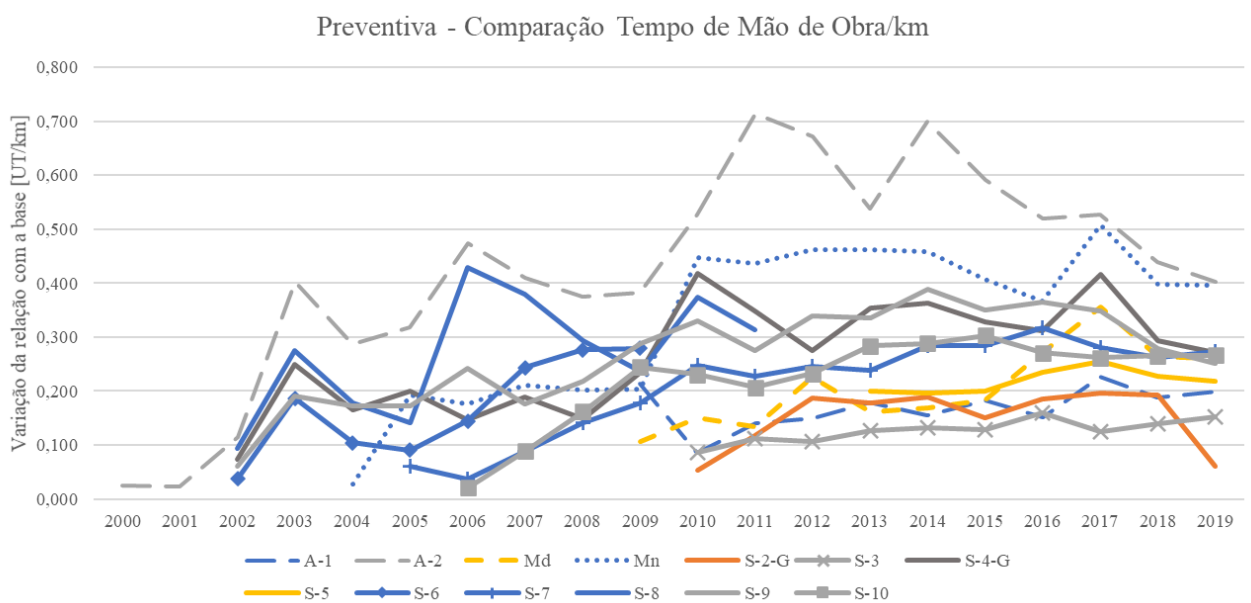


Figura 21 - Relação Tempo de Mão de Obra Manutenção Preventiva por Quilómetro

Confirma-se que a dimensão da componente da manutenção preventiva é menor que a da manutenção curativa no panorama da manutenção geral. Além disso, as relações custo/quilómetro e tempo/quilómetro não sofrem uma diferença tão abrupta ao longo do tempo, mas também tendem a subir, o que pode refletir a degradação dos veículos ao longo do tempo através de operações de manutenção preventiva condicionada cada vez mais profundas.

O formato das relações custo/quilómetro e horas/quilómetro apresentadas é mais uma vez semelhante, exceto para o segmento Mn.

5.2.2. Manutenção Rotáveis

Num panorama geral, são abordados os custos totais inerentes à manutenção de motores, caixas de velocidades e diferenciais, sem relacionar o segmento. É também ilustrado o número de intervenções de manutenção curativa e de manutenção preventiva com custos.

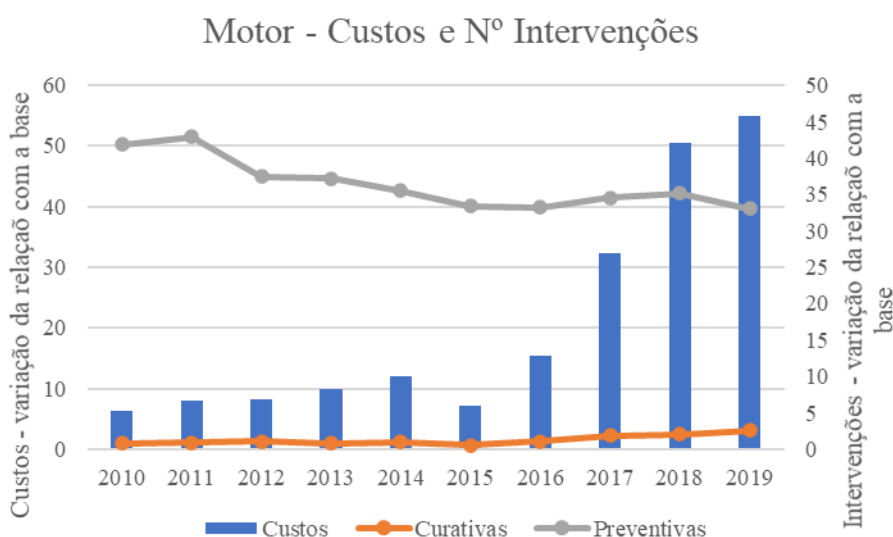


Figura 22 - Variação dos Custos e N° Intervenções da Manutenção de Motores

Os motores são os rotáveis com maior peso nos custos da manutenção de rotáveis e, mesmo estes tendo sido estáveis ao longo dos anos, com intervenções curativas que o justificam, nos últimos as despesas subiram abruptamente, acompanhadas naturalmente pelo aumento das intervenções de manutenção curativas. Apesar da reparação dos motores do maior segmento da Carris ser feita por uma entidade externa, é inegável que os custos da manutenção dos motores ganharam dimensão nos últimos anos. Os rotáveis dos segmentos em manutenção externa não são quantificáveis com os dados do *software*. Estes dados só são válidos para os segmentos mantidos pela CarrisBus.

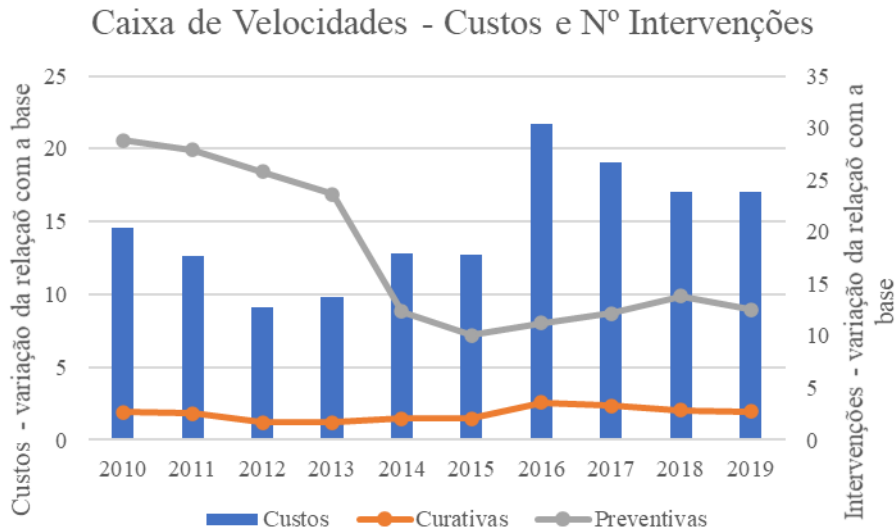


Figura 23 - Variação dos Custos e N° Intervenções da Manutenção de Caixas de Velocidades

Apesar de ter menos impacto que os custos da manutenção dos motores, as despesas com a manutenção das caixas de velocidades também cresceram nos últimos anos.

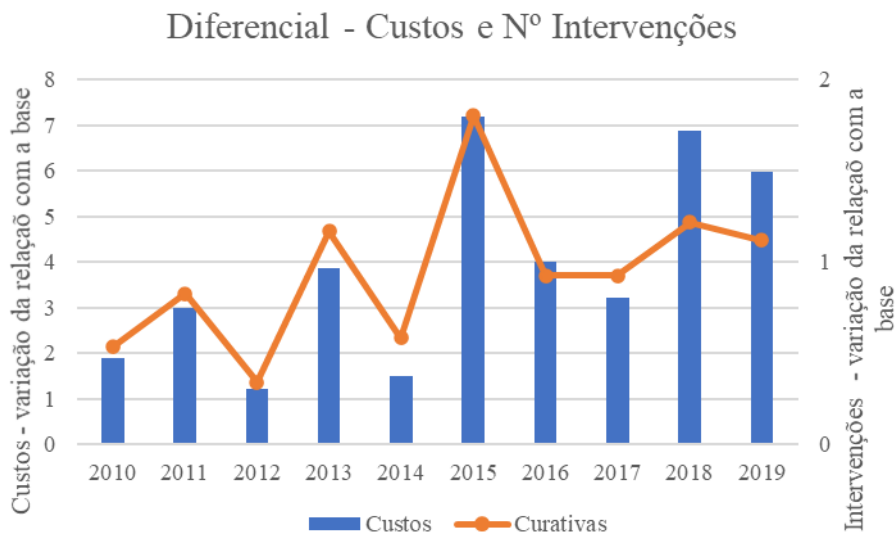


Figura 24 - Variação dos Custos e N° Intervenções da Manutenção de Diferenciais

Quanto aos diferenciais, o número de intervenções não é consistente ao longo dos anos, mas nos últimos dois anos, mais uma vez, os custos com manutenção dos diferenciais aumentam consideravelmente. O diferencial, ao contrário do motor e da caixa de velocidades, não é alvo de recondiçnamentos e inspeções periódicas, tendo sido consideradas as intervenções de natureza curativa. No entanto, as inspeções ao diferencial estão incluídas nos roteiros de manutenção preventiva sistemática de cada veículo.

5.2.2.1. Motor

Por se tratar de um componente mais específico ao segmento, serão agora ilustrados os custos absolutos despendidos por segmento e o custo médio por autocarro, para identificar possíveis segmentos mais problemáticos, eliminando o fator da quantidade de autocarros por segmento.

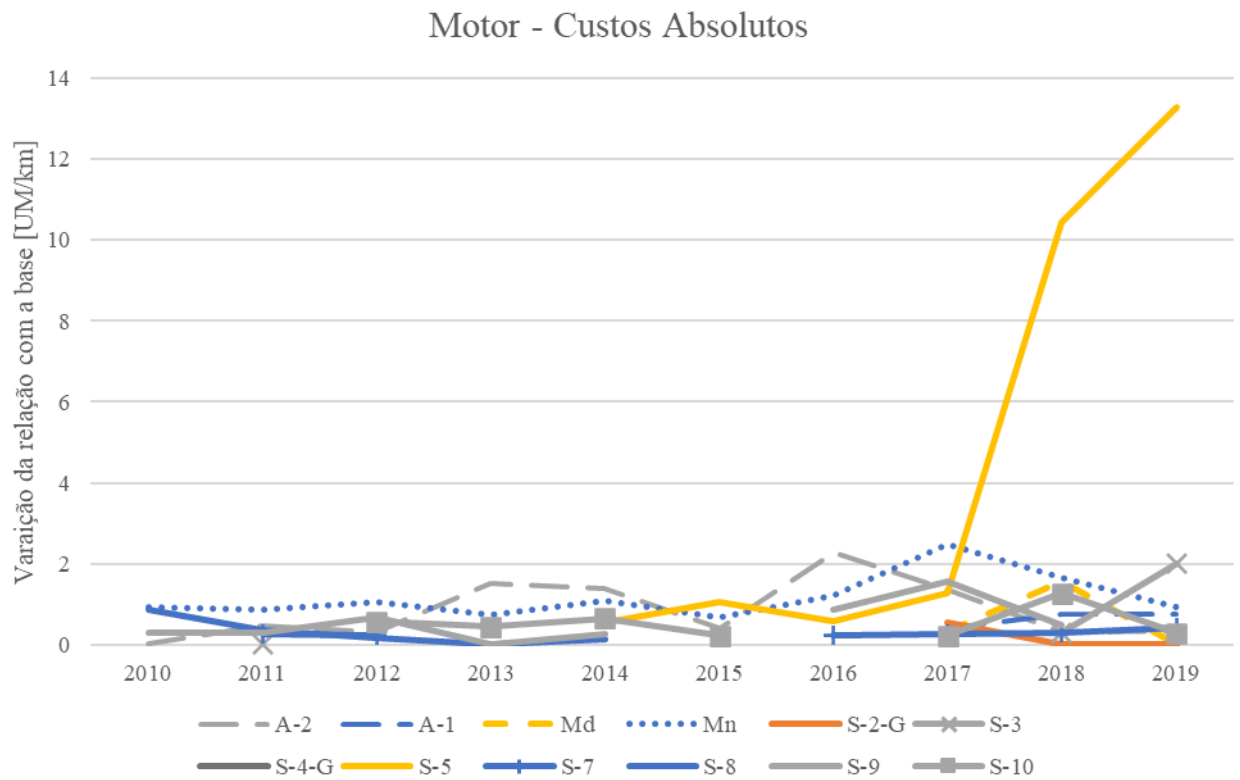


Figura 25 - Variação dos Custos Absolutos Anuais da Manutenção de Motores

Motor Custos/Autocarro

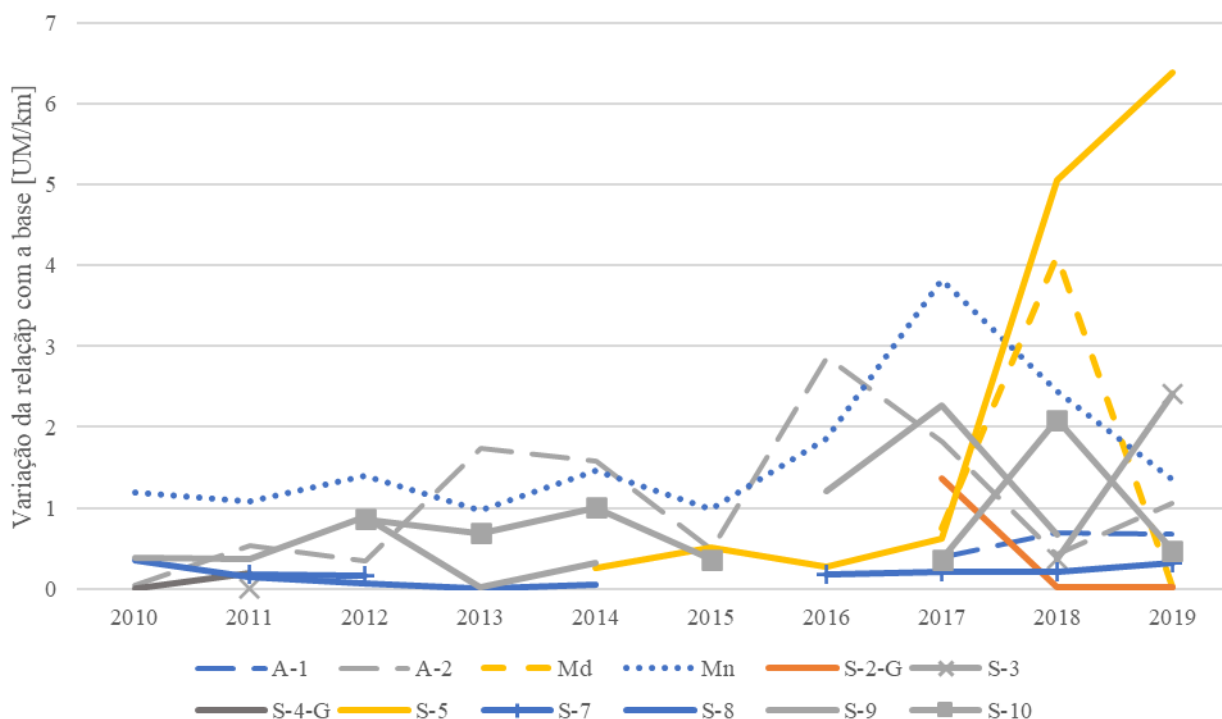


Figura 26 - Variação dos Custos Anuais da Manutenção de motores por Veículo

É possível perceber que há segmentos responsáveis pela subida abrupta dos custos a partir de 2016. Os segmentos que mais destacam são o A-2, Md e Mn. O segmento A-2 é dos segmentos mais envelhecido e estas despesas podem dever-se ao envelhecimento do próprio motor. O segmento das Mn, que ao longo da dissertação já mostrou taxas de avarias elevadas, é mais uma vez consistentemente mais problemático relativamente aos restantes segmentos. Na figura 26 verifica-se que o abrupto aumento das despesas do segmento S-5 não se deve à dimensão do segmento, que é dos maiores da Carris, e cujos custos por autocarro subiram para o dobro dos valores típicos de outros segmentos, o que reflete o mau estado dos motores deste segmento. Verifica-se também um breve aumento nos custos do segmento S-3, que pelo seu uso excessivo em relação aos restantes segmentos, pode estar a dar sinais de envelhecimento precoce do motor, uma vez que o custo por autocarro também aumentou.

Seguem-se os custos por intervenção de manutenção curativa:

Tabela 6 - Custo por Intervenção Curativa em Motores

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
A-1	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,4	1,0
A-2	-	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,5	1,3	1,2	1,3
Md	-	-	-	-	-	-	-	1,2	2,0	-
Mn	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
S-1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S-2-G	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-	-
S-3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,1
S-4-G	-	0,7	-	0,8	-	-	-	-	-	-
S-5	-	-	-	-	1,1	1,4	1,1	1,6	1,7	1,6
S-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-7	-	2,0	-	-	-	-	0,9	1,0	1,1	0,8
S-8	0,6	0,6	0,3	-	0,5	-	-	-	-	-
S-9	0,6	0,6	0,4	-	1,0	-	1,1	1,2	1,9	-
S-10	-	-	0,7	0,9	0,8	0,9	-	0,8	1,2	0,5

Num panorama geral, os custos por intervenção curativa vão aumentando ao longo dos anos, podendo representar o envelhecimento e o estado cada vez mais crítico a que os motores estão sujeitos.

Os custos por intervenção curativa são consistentemente mais baixos no segmento de tipologia mini, o que, mesmo que aumentem ao longo dos anos, resulta de se tratar de um motor derivado de veículos ligeiros, ao contrário dos restantes segmentos que têm motores para veículos pesados. Entre a tipologia *standard* e articulado, tal diferença não se verifica, o que resulta das motorizações serem semelhantes.

* A manutenção do Segmento S-1 é executada por uma entidade externa

5.2.2.2. Caixa de Velocidades e Diferencial

Por se tratar de componentes menos diferenciados que os motores, a manutenção das caixas de velocidades e os diferenciais foi menos aprofundada. Será feita apenas uma reflexão da relação custo/intervenção curativa destes dois rotáveis.

Tabela 7 - Custos por Intervenção Curativa em Caixas de Velocidades

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
A-1	-	-	1,1	-	1,9	1,5	1,2	1,1	1,6	1,8
A-2	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	-
Md	-	-	0,7	-	-	-	1,2	-	1,3	1,0
Mn	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7
S-1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S-2-G	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	1,8
S-3	-	-	-	-	1,2	0,9	1,8	1,2	1,4	1,1
S-4-G	1,3	0,9	1,1	1,0	1,5	1,6	-	-	-	-
S-5	-	-	-	0,9	0,9	0,9	1,1	0,8	0,6	0,8
S-6	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-7	-	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,7	1,3
S-8	0,7	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-
S-9	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	1,1	0,9	0,8	-
S-10	-	2,2	0,7	1,2	1,1	1,3	1,1	1,2	1,1	1,0

É possível perceber que alguns segmentos têm despesas anuais consistentes com as caixas de velocidades, mas alguns deles têm custos relativamente elevados em situações pontuais que de um modo geral correspondem a um recondicionamento completo. No caso do segmento A-1, os custos bastante pronunciados a partir do ano de 2014, devem-se a uma campanha do respetivo fornecedor das caixas de velocidades. Os segmentos mais recentes, como o S-2-G e o S-3, poderão vir a apresentar custos de manutenção de caixas de velocidades mais elevados, como se pode perceber pelas despesas do segmento S-3 e pela despesa de 2019 do segmento S-2-G, pois as caixas de velocidades de gerações mais recentes são mais caras de reparar (G. Gonçalves, comunicação pessoal, maio, 2021).

A maioria dos segmentos mais recentes começam a manifestar despesas consistentes a partir dos 4 anos de serviço. O segmento Mn, apesar de ter um tipo de serviço muito exigente, apresenta custos

* A manutenção do segmento S-1 é executada por uma entidade externa

consistentes relativamente mais baixos, pelo facto destes veículos possuírem tecnologia de veículos ligeiros, e não de veículos pesados.

Tabela 8 - Custo Por Intervenção Curativa em Diferenciais

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
A-1	-	-	-	-	-	-		-	-	-
A-2	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6	-
Md	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	0,9
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S-2-G	-	-	-	-	-	-	1,4	-	2,3	2,3
S-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-4-G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-5	-	-	-	1,3	-	1,4	0,8	0,5	1,1	0,8
S-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-7	-	-	-	0,2	0,4	1,2	0,5	1,0	0,7	0,7
S-8	0,6	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
S-9	1,2	1,5	2,2	1,7	-	1,2	1,5	1,4	2,1	
S-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Dos rotáveis abordados, o diferencial é o que representa menor impacto e menos intervenções de carácter curativo. De acordo com a Figura 24 - *Varição dos Custos e Nº Intervenções da Manutenção de Diferenciais*, o diferencial é o rotável com menos ações curativas. Os segmentos A-2 e S-9, que apresentam custos consistentes ao longo dos anos, são dos segmentos em circulação mais antigos. O segmento S-8, também dos mais envelhecidos, foi retirado do serviço por volta de 2011. Os segmentos S-5 e S-7 estão ambos em meia vida.

* A manutenção do segmento S-1 é executada por uma entidade externa

5.2.3. Comparação Manutenção Geral e Rotáveis

Num panorama geral, foi feita a relação custo/quilómetro para os custos totais da manutenção e dos rotáveis, motor, caixa de velocidades e diferencial, com os quilómetros totais entre os anos 2010 e 2019, uma vez que só foi possível obter dados sobre os rotáveis para períodos posteriores a 2010.

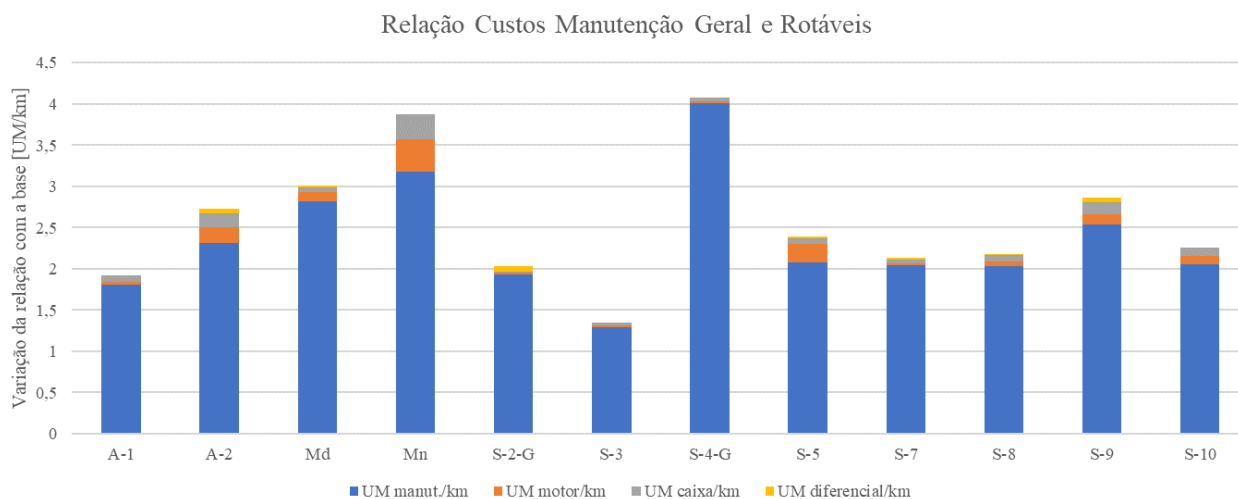


Figura 27 - Relação Custos Totais Manutenção Geral e Rotáveis por Quilómetro 2010-2019

A partir desta representação é possível perceber que a manutenção geral e a manutenção dos rotáveis têm dimensões diferentes para cada um dos segmentos. Estes parâmetros não são fixos, podem variar com a idade dos veículos e não são característicos de uma tipologia de autocarros, mas sim de cada um dos seus segmentos.

Em termos de manutenção, os segmentos de tipologia mini e médio são mais dispendiosos durante a sua vida, indo ao encontro das elevadas taxas de avarias já observadas, do que segmentos mais antigos. Os segmentos a GNC apresentam também custos de manutenção elevados em relação aos seus semelhantes em idade e tipologia *standard*. É mais uma vez notável que o segmento S-3 é o mais económico em termos de despesas de manutenção, podendo dever-se, como já abordado, à sua fiabilidade.

Em relação aos rotáveis, o motor apresenta os custos mais significativos quando comparados com os restantes rotáveis.

5.3. Dados Consumos de Combustível e Óleo

5.3.1. Consumo de Combustível

Segue-se o consumo específico de combustível em base anual, para os diversos segmentos, e em base sazonal, para a frota.

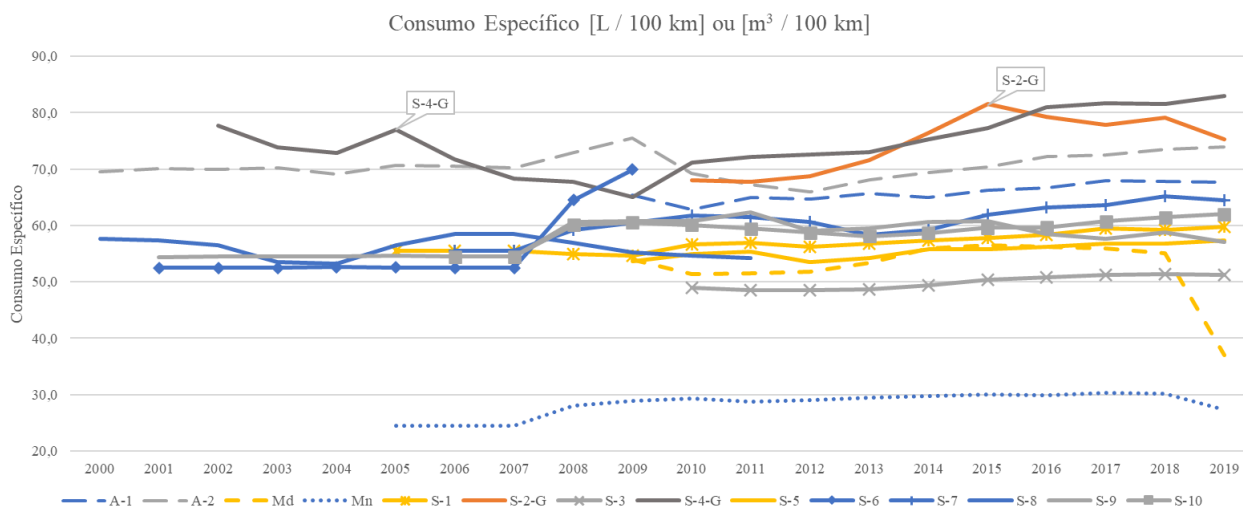


Figura 28 - Consumo Específico de Combustível Anual

O Consumo Específico de combustível, entendido como consumo por distância percorrida, é mais elevado para os segmentos a GNC do que para os segmentos a Diesel da mesma tipologia. O Poder Calorífico Inferior de um litro de Diesel é inferior ao PCI de um Nm³ de GNC (Vicente, 2015), mas a perda de rendimento pode dever-se aos motores a GNC funcionarem com o ciclo Otto, perdendo rendimento em relação aos motores de ciclo Diesel, mas a diferença pode vir a atenuar-se (G. Gonçalves, comunicação pessoal, fevereiro, 2021). Seguem-se os segmentos articulados que, por serem mais pesados e transportarem mais passageiros, têm consumos mais altos. O segmento Mn tem um consumo específico mais baixo por ser da tipologia mini, resultado de se tratar de um segmento com veículos mais leves e tecnologia derivada de veículos ligeiros.

Da tipologia *standard* destaca-se o segmento S-3, que tem um Consumo Específico mais baixo relativamente aos restantes segmentos *standard*. Esta diferença poderá dever-se ao tipo de regime a que este segmento é sujeito. Este segmento é preferencialmente utilizado em percursos noturnos, em que o tráfego tem menor intensidade, podendo assim atingir velocidades médias mais elevadas, contribuindo para a economia do consumo de combustível.

O ligeiro aumento do consumo específico ao longo dos anos poderá dever-se à degradação e envelhecimento dos veículos.

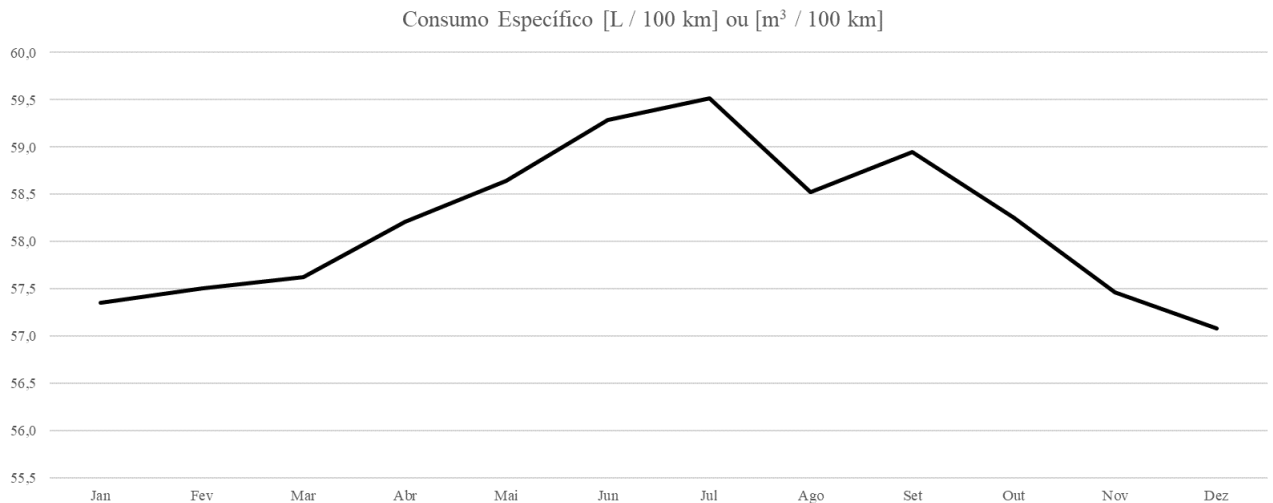


Figura 29 - Consumo Específico Combustível Sazonal

Apesar do aumento da velocidade comercial no verão, o aumento do consumo específico em meses mais quentes pode dever-se ao uso do ar condicionado e à perda de rendimento devido às temperaturas do ar exterior mais elevadas. O aumento da temperatura exterior pode também diminuir a densidade do combustível, tornando necessária uma maior quantidade na injeção.

5.3.2. Consumo de Óleo

Seguem-se as representações do consumo específico de óleo do motor em base anual, para os vários segmentos, e em base sazonal, para a frota.

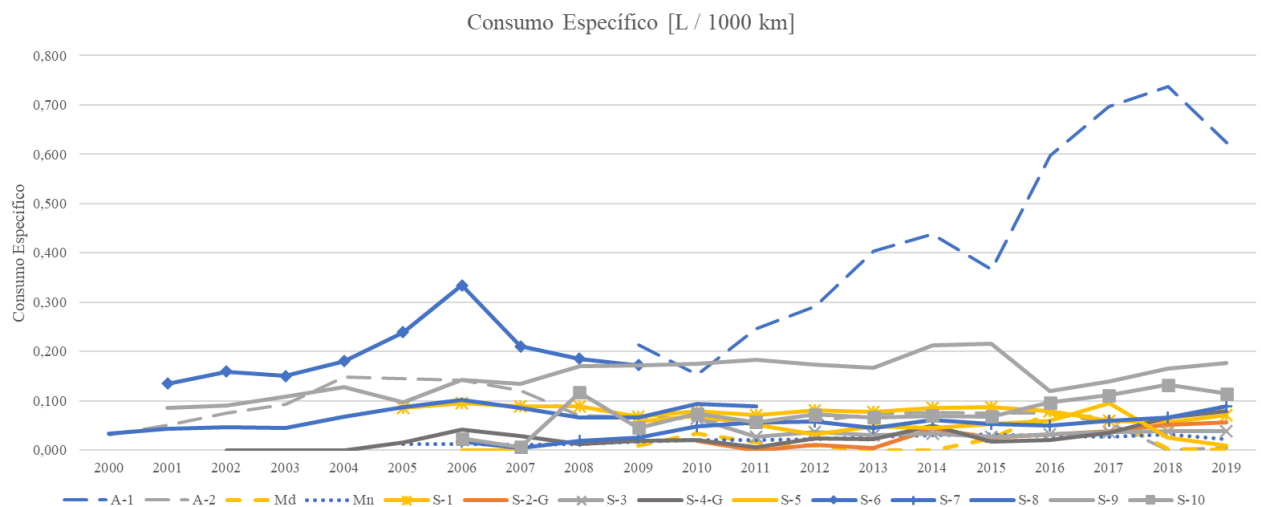


Figura 30 - Consumo Específico Óleo Anual

Quanto ao consumo do óleo, destacam-se dois segmentos, de tipologias diferentes, o S-6 e o A-1, que pode demonstrar que o consumo de óleo não estará relacionado com a tipologia. Abaixo destes, o segmento S-9 também consome consistentemente mais óleo que a maioria. Mais uma vez, em relação à tipologia, não é possível identificar o consumo característico de óleo de cada uma: o segmento articulado A-2 tem consumos de óleo semelhantes à maioria dos segmentos de tipologia *standard*. Note-se também que, na maioria do intervalo temporal, o consumo de óleo dos segmentos a GNC é menor.

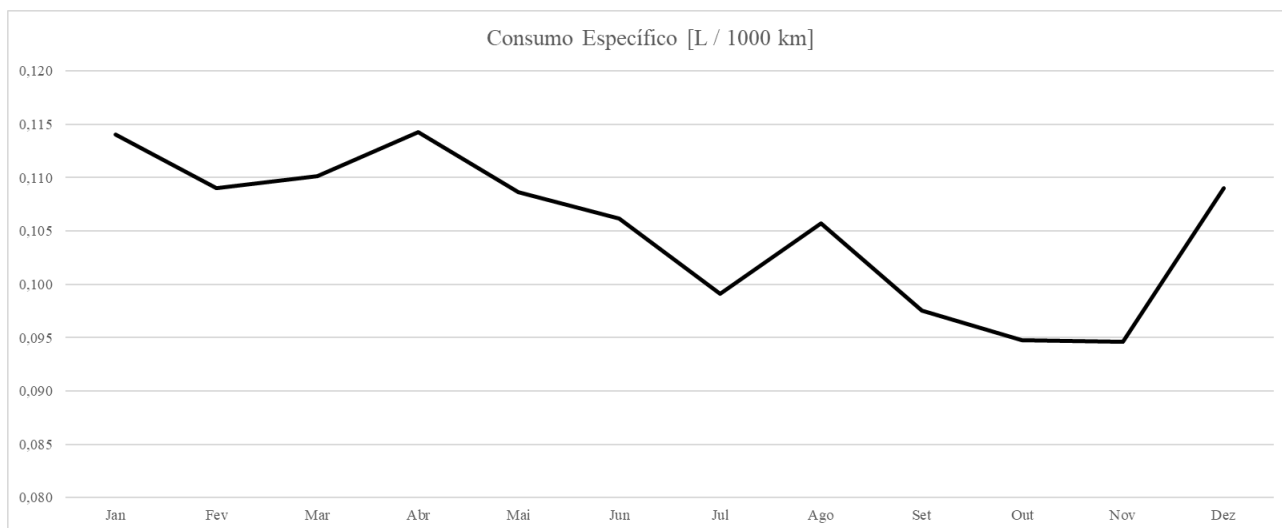


Figura 31 - Consumo Específico de Óleo Sazonal

Ao contrário do consumo de combustível, o consumo de óleo aumenta nos meses com temperaturas mais baixas, com uma variação na ordem dos 20% entre o valor máximo e mínimo. Temperaturas mais baixas aumentam a viscosidade do óleo, que por sua vez já vai aumentando ao longo do tempo, devido ao uso e à acumulação de resíduos e sujidade. É expectável que em meses frios, a substituição do óleo tenha de ser feita com menor periodicidade.

5.4. Dados Ambientais

Nas secções seguintes são ilustradas representações gráficas das emissões de cada poluente dos diversos segmentos. São apresentados os fatores de emissão em g/km, as emissões de cada segmento anualmente e as emissões de todos os segmentos, ambas em toneladas.

O segmento S-4-G é constituído por veículos de duas legislações diferentes e, devido à forma como os dados foram obtidos, para os segmentos S-4-G (1) e S-4-G (2) não foi possível o cálculo das emissões entre 2010 e 2014, tendo o segmento S-4-G (1) sido abatido em 2015, a informação das

duas divisões deste segmentos não será representada. Além deste ponto, em 2010 ocorre um pico nas emissões do segmento A-2, que se deveu à dificuldade com a interação com o *software* e à metodologia ao facto da pesquisa entre 2010 e 2014, que pela organização do *software* incluir autocarros de um outro segmento semelhante ao segmento A-2 nos valores totais deste segmento, adquirido antes de 1995 e que não constou nas análises desta dissertação; os autocarros que não constaram ao longo da dissertação foram abatidos em 2011, corrigindo assim o desvio que ocorre em 2010.

Um aspeto que se deverá verificar é a redução drástica das emissões a partir das normas Euro IV [1] e EEV. A diretiva de 1999 introduziu a norma Euro III (2000) e definiu também as normas Euro IV (2005) e Euro V (2008). Esta diretiva estabelece também limites de emissão mais rigorosos para veículos com emissões extra baixas, conhecidos como “*Enhanced Environmental Friendly Vehicles*” ou EEV (“EU: Heavy-Duty Truck and Bus Engines,” n.d.).

5.4.1. Emissões de Monóxido de Carbono

Seguem-se os fatores de emissão do Monóxido de Carbono (CO) para os diversos segmentos e as suas respetivas legislações:

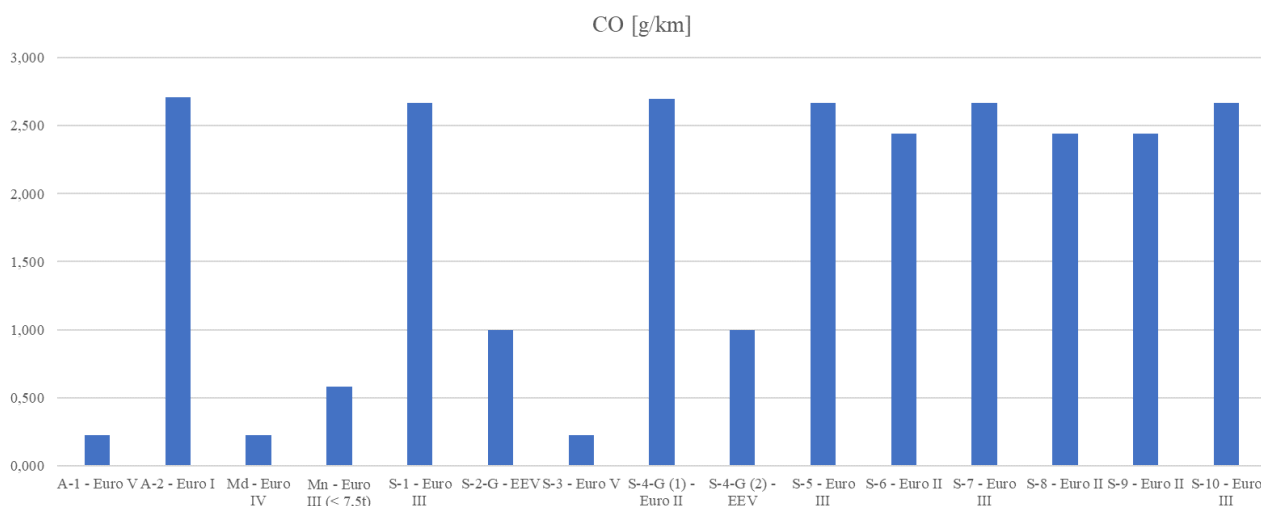


Figura 32 - Fatores de Emissão CO

As emissões de CO descem ligeiramente da legislação Euro I para a Euro II, mas voltam a subir com a legislação Euro III; na fase Euro III o procedimento de testes foi alterado para incluir emissões a frio, aumentando a margem das emissões de CO (“EU: Heavy-Duty Truck and Bus Engines,” n.d.; Gomes Martins, 2020; Leonidas Ntziachristos, n.d.). A partir da legislação Euro IV e da EEV no caso do GNC, verifica-se uma descida significativa nas emissões deste poluente.

A figura seguinte mostra as emissões de CO de cada segmento anualmente:

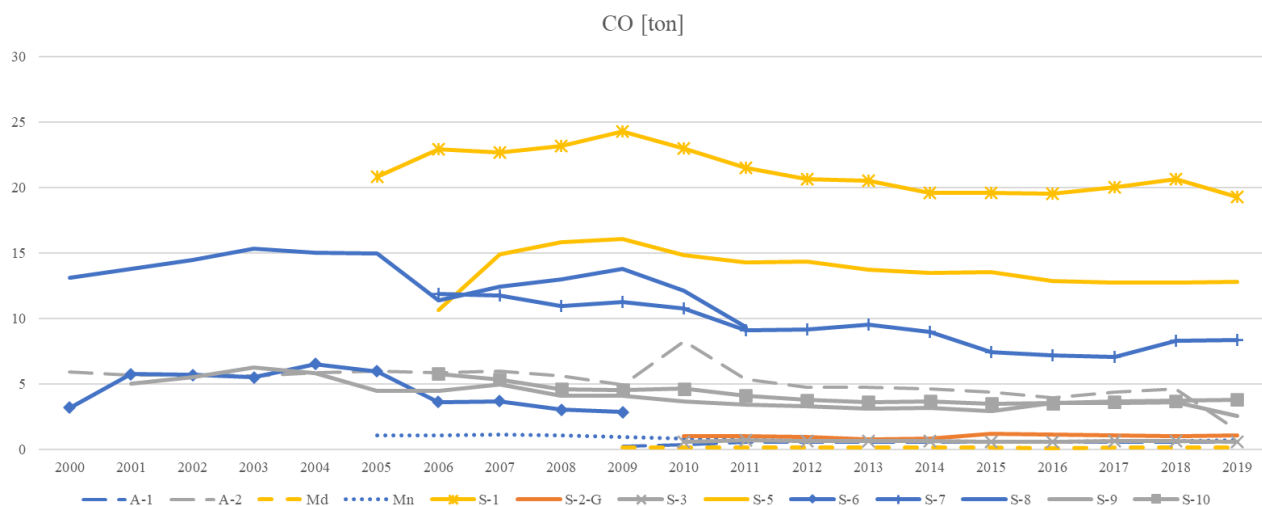


Figura 33 - Emissões anuais de CO por segmento

Os segmentos com emissões de CO mais significativas são naturalmente os segmentos de maior dimensão e os incluídos na legislação Euro III e anteriores. Salienta-se que os segmentos mais recentes da Carris, com legislação Euro IV e posterior, têm sido segmentos com menos veículos, diminuindo a sua contribuição nas emissões não só pela legislação mais recente, como também pelo seu número mais reduzido.

O segmento Mn, mesmo com legislação Euro III, apresenta emissões mais baixas que a maioria dos segmentos porque na metodologia utilizada para o cálculo das emissões, estes veículos não são considerados autocarros urbanos, além de que têm consumos mais baixos, regimes de funcionamento menos exigentes devido à sua tipologia e tecnologia derivada de motores de veículos ligeiros.

De seguida, é representado o panorama geral das emissões de CO:

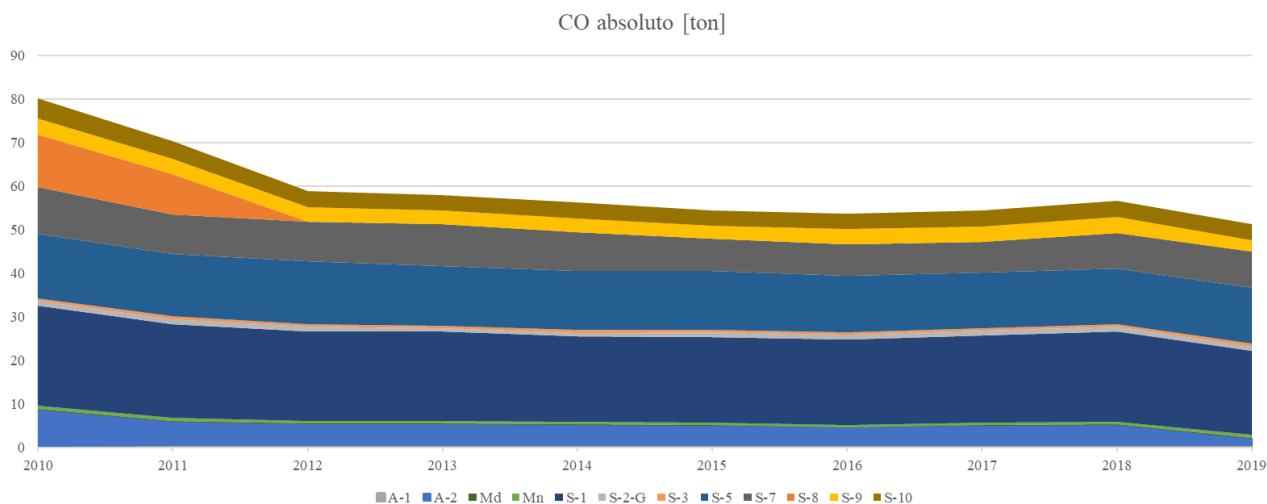


Figura 34 - Emissões anuais absolutas de CO

Entre 2010 e 2012, as emissões de CO diminuíram cerca de 20 toneladas. Esta redução deve-se à retirada progressiva do segmento S-8, um dos segmentos com mais veículos e com legislação mais antiga, entre estes anos, e à aquisição de segmento A-1, que permitiu diminuir o funcionamento do segmento da mesma tipologia, A-2, que é o segmento mais antigo que consta nesta dissertação. Nota-se também uma ligeira descida nas emissões de CO em 2019, que se deve ao abate dos veículos do segmento A-2.

Verifica-se também a baixa contribuição nestas emissões dos segmentos com legislação Euro IV e posterior, bem como dos segmentos a GNC.

5.4.2. Emissões de Hidrocarbonetos não Queimados

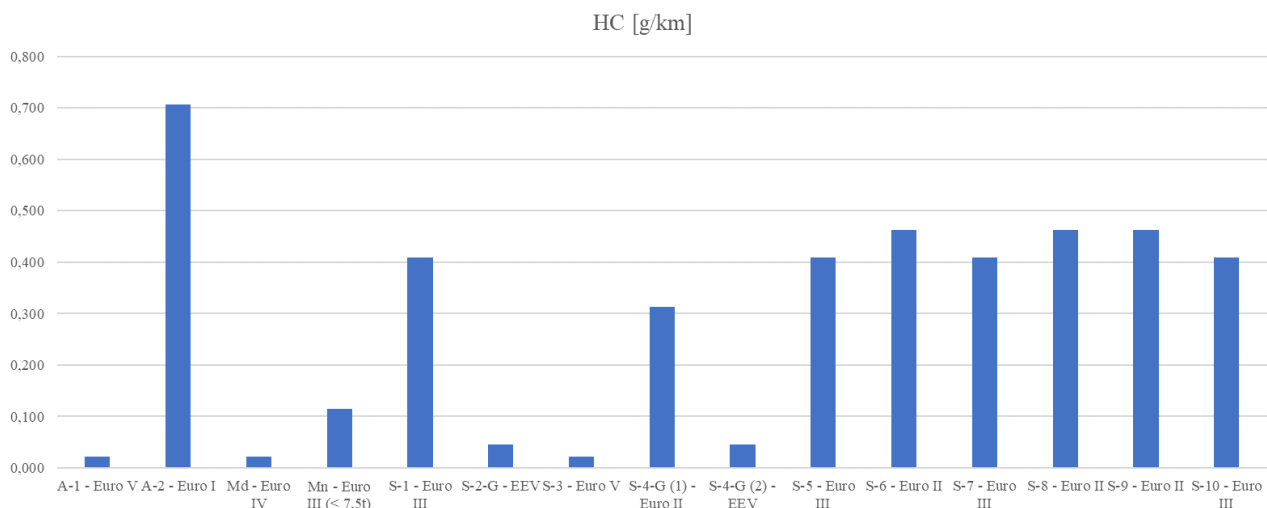


Figura 35 - Fatores de Emissão de HC

A diminuição das emissões de HC é mais perceptível com o evoluir da norma de emissão aplicável a cada segmento. As emissões de HC pela tecnologia GNC é também mais baixa em relação às suas homologas dos segmentos Euro II, quando comparadas com as emissões de CO.

Segue-se a representação das emissões de cada segmento:

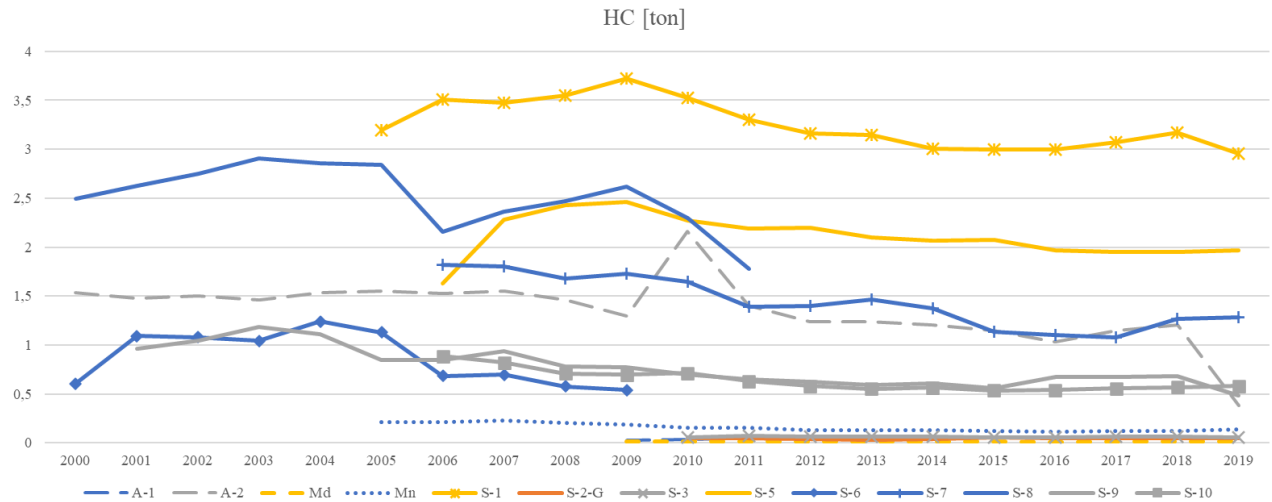


Figura 36 - Emissões anuais de HC por segmento

Mais uma vez, os segmentos com maior peso nas emissões não são obrigatoriamente os mais antigos, mas sim os de maior dimensão. É notável a diferença da comparação de emissões do segmento A-2 com os segmentos S-6, S-9 e S-10, que na representação das emissões de CO são semelhantes. Mais uma vez, as emissões dos segmentos mais recentes são vestigiais.

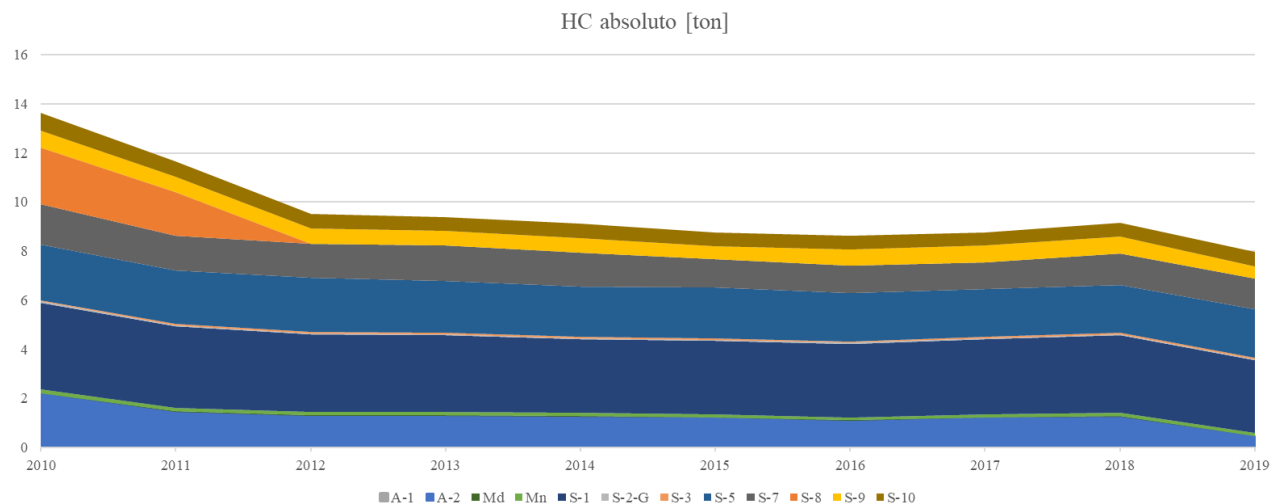


Figura 37 - Emissões anuais absolutas de HC

É mais uma vez perceptível a descida das emissões quando o segmento S-8 é retirado ao serviço, com a aquisição de novos articulados e com o abate do segmento A-2 em 2019 e, novamente, a contribuição para as emissões dos segmentos com legislações mais recentes é vestigial.

5.4.3. Emissões de Óxidos de Azoto

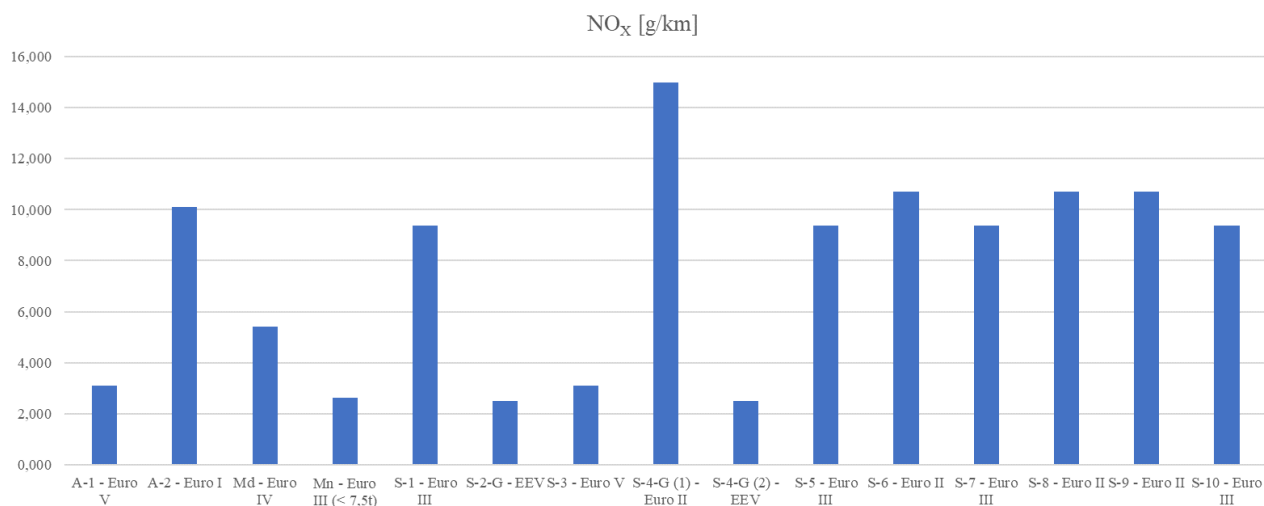


Figura 38 - Fatores de Emissão de NO_x

No caso dos Óxidos de Azoto (NO_x), ao contrário dos dois poluentes analisados anteriormente, a legislação Euro II da tecnologia GNC é a que apresenta emissões mais elevadas, chegando a ser superiores à legislação Euro I da tecnologia Diesel. No entanto, a tecnologia GNC apresenta também os valores mais baixos do gráfico. O segmento S-4-G (1) em particular representa uma das primeiras gerações de autocarros a gás natural e as emissões de NO_x reduzem-se drasticamente na legislação EEV.

Da Euro I para a Euro II o fator de emissão sobe ligeiramente e volta a descer na Euro III, verificando-se uma redução significativa a partir da legislação Euro IV.

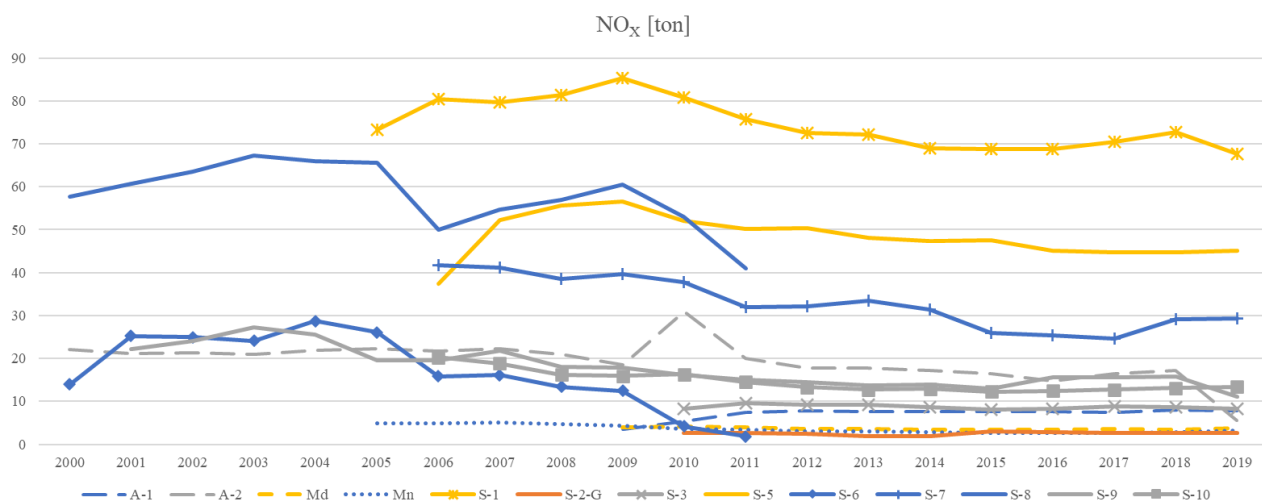


Figura 39 - Emissões anuais de NO_x por segmento

Mais uma vez são os segmentos mais numerosos que mais contribuem para as emissões. Os segmentos entre as legislações Euro I e Euro III de dimensões semelhantes pouco se diferenciam. No entanto, a diminuição das legislações Euro IV e posterior não é tão abrupta como nos poluentes analisados anteriormente.

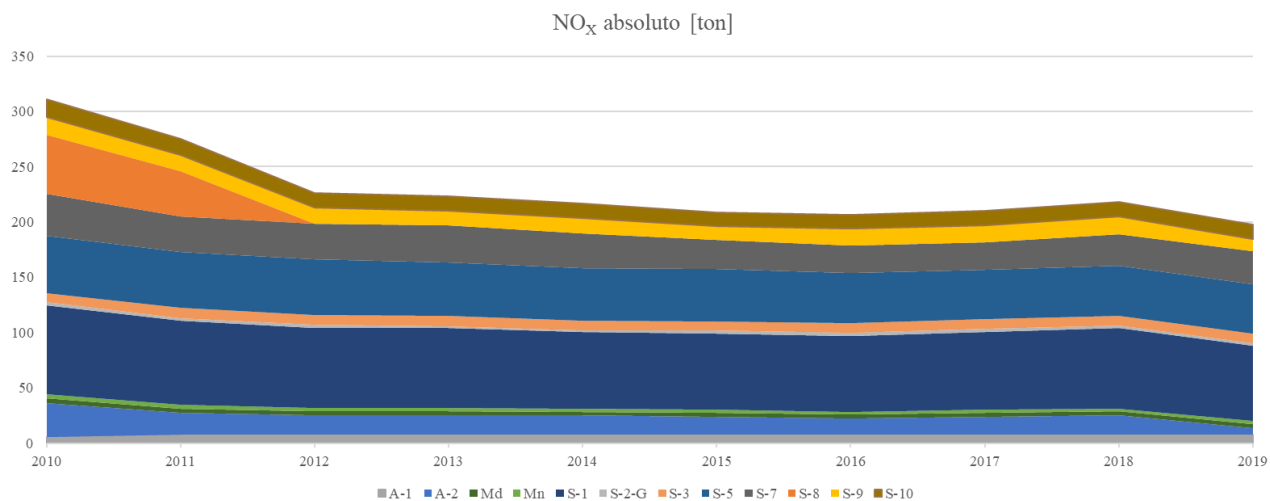


Figura 40 - Emissões anuais absolutas de NO_x

A retirada do segmento S-8 e a diminuição do uso de segmento A-2 diminuí as emissões de NO_x em cerca de 100 toneladas entre 2010 e 2012. Ao contrário dos poluentes anteriores, as emissões dos segmentos com legislação Euro IV, EEV e Euro V já apresentam alguma contribuição.

5.4.4. Emissões de Partículas

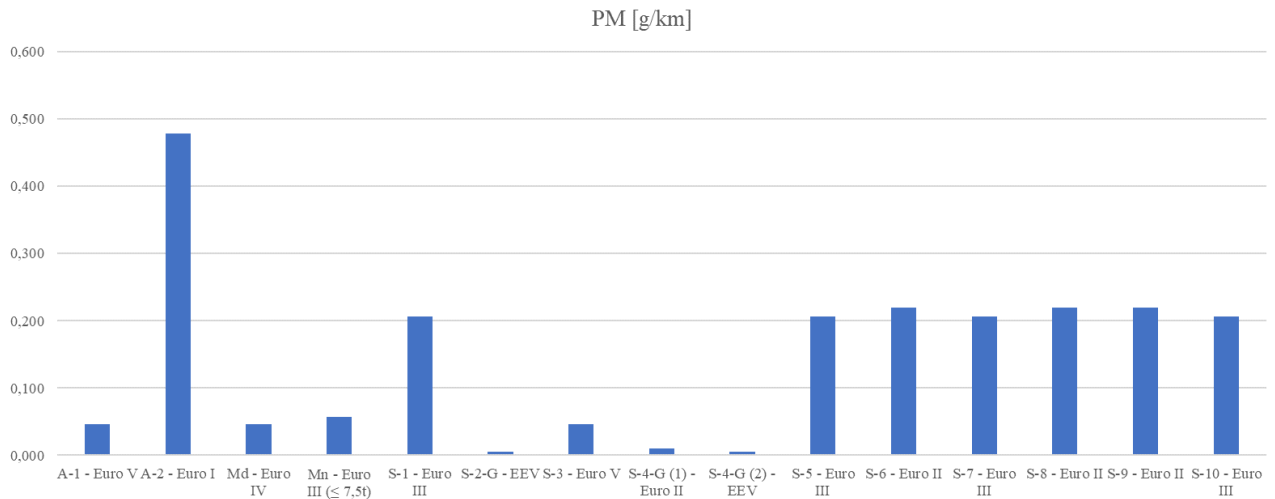


Figura 41 - Fatores de Emissão de PM

Entre as tecnologias Diesel e GNC, é visível a redução das emissões de PM da tecnologia GNC. Além disto, a redução das emissões entre a legislação Euro I e Euro II é de mais de metade, voltando-se a reduzir mais de metade entre a Euro III e a Euro IV.

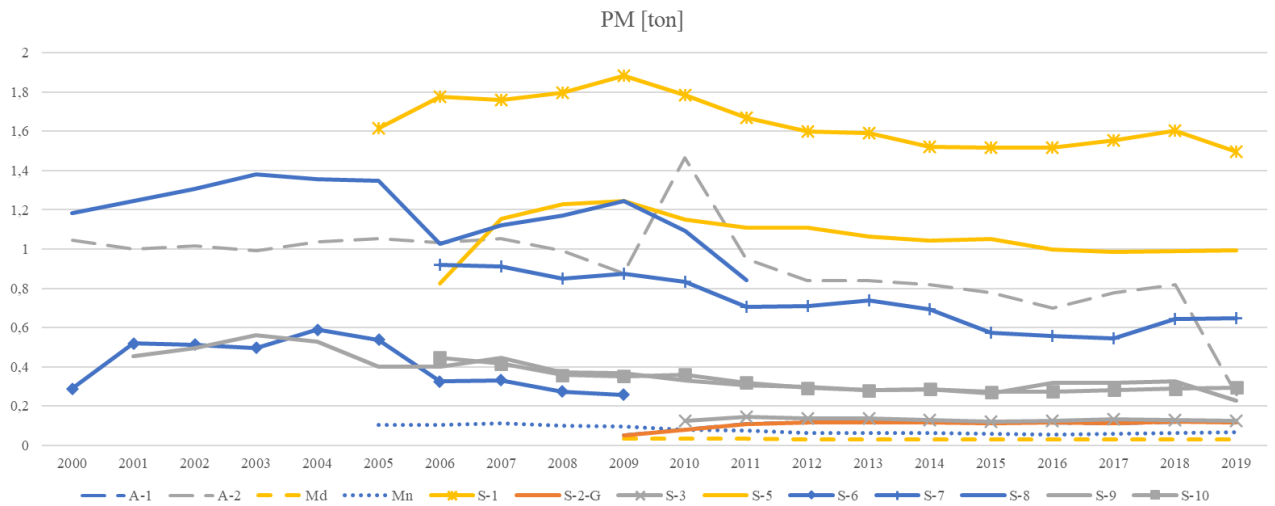


Figura 42 - Emissões anuais de PM por segmento

O segmento de maior dimensão continua a ser o que mais contribui para as emissões, mas mesmo outros segmentos numerosos, desta vez, aproximam-se do segmento de legislação Euro I, que não acontecia nos poluentes anteriores. Sendo assim, o segmento A-2 contribuía quase tanto para as emissões de PM como segmentos mais numerosos que este.

Na representação da figura 42, a aproximação dos segmentos S-3 e S-2-G pode dever-se à escala e ao facto da diferença entre os fatores de emissão respetivos não ser significativa.

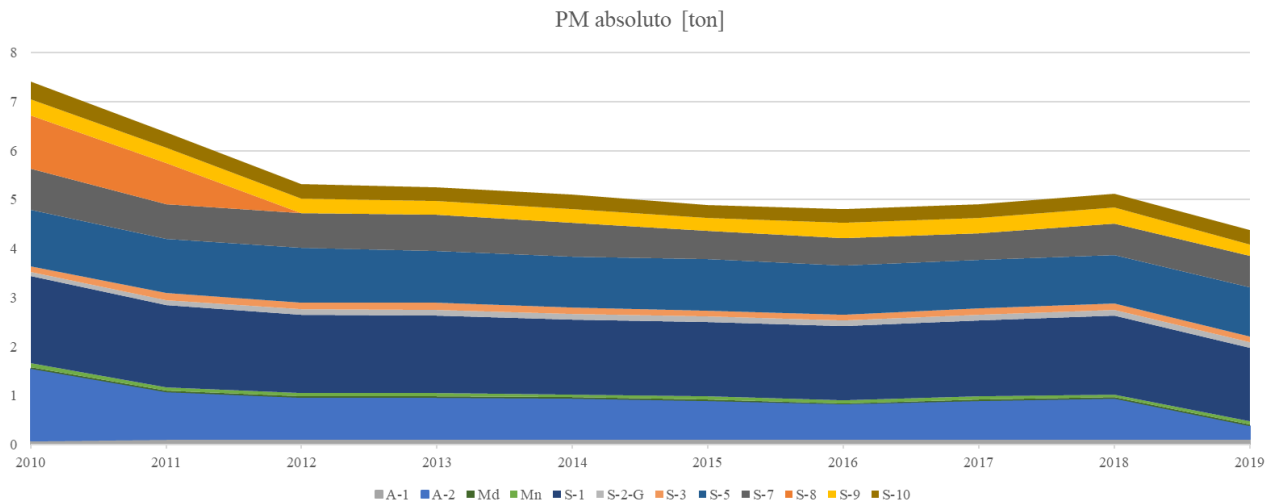


Figura 43 - Emissões anuais absolutas de PM

Apesar de, entre si, os fatores de emissão de PM variarem significativamente, em relação aos restantes poluentes são os que menos variam. Assim, num panorama geral, a contribuição dos segmentos a GNC e dos segmentos mais recentes, será mais visível do que nos restantes poluentes.

5.4.5. Emissões de Dióxido de Carbono

As emissões de CO₂ não foram calculadas através dos fatores de emissão das várias legislações, mas sim de acordo com o combustível. Sendo assim, são apenas apresentados dois fatores de emissão.

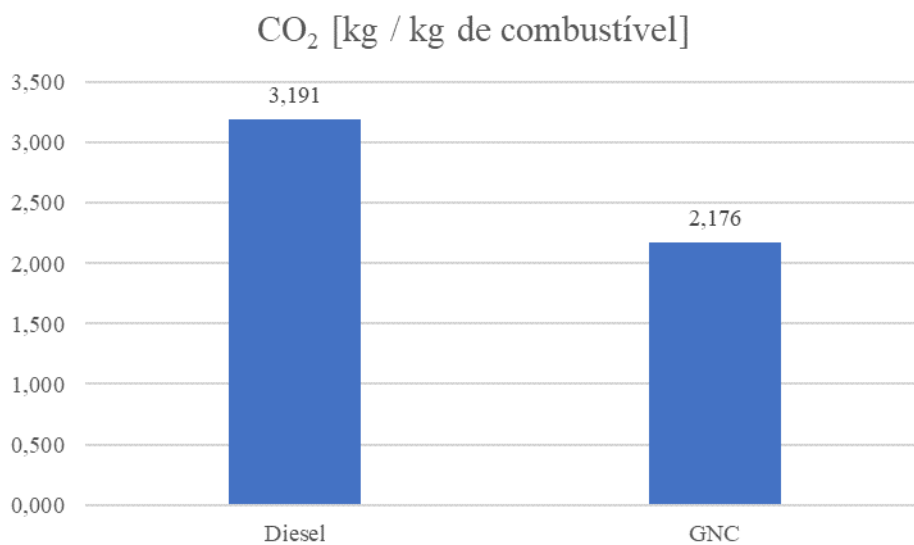


Figura 44 - Fatores de Emissão de CO₂

A tecnologia GNC emite menos CO₂ em relação à tecnologia Diesel, permitindo que a frota emita menos gás com efeito de estufa do que se fosse apenas composta por veículos a Diesel, diminuindo a sua pegada de carbono no que diz respeito à fase de uso.

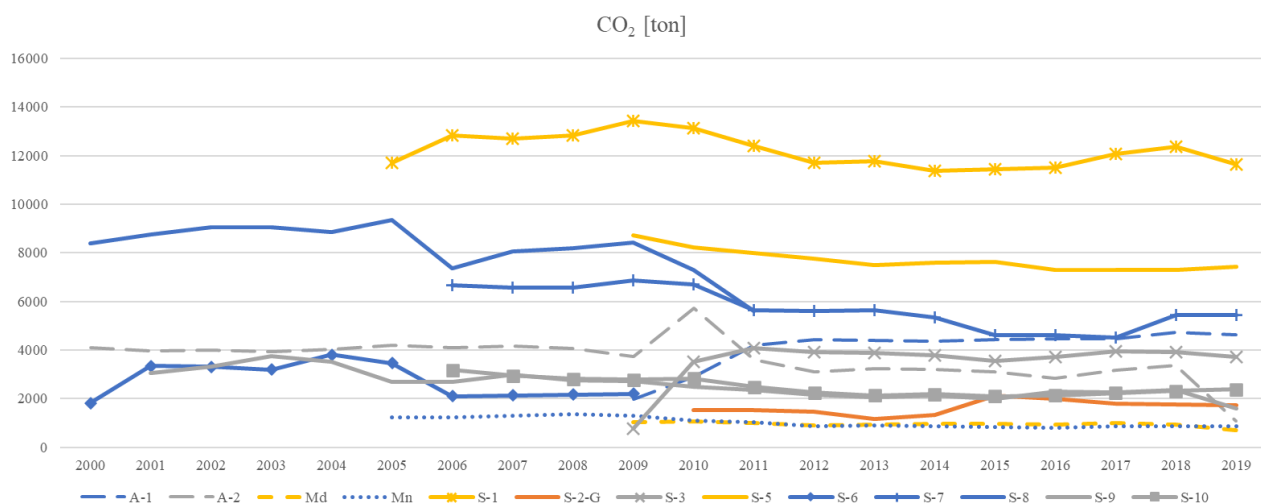


Figura 45 - Emissões anuais de CO₂ por segmento

Uma vez que, neste caso, os fatores de emissão dizem respeito apenas ao combustível e não à legislação, a variação que se verifica nos vários segmentos da mesma tecnologia deve-se apenas à dimensão dos mesmos e aos seus consumos.

Os segmentos mais numerosos são os que mais contribuem nas emissões de CO₂. Tal como já notado nesta dissertação é possível verificar a diminuição da atividade do segmento A-2 com a aquisição de um segmento de tipologia semelhante, o A-1, que o segmento S-3 tem um regime de funcionamento mais exigente que os segmentos com dimensão semelhante (como os S-9 e S-10) e que os segmentos de tipologia mini e médio são menos usados. Nota-se também o aumento do uso do segmento S-2-G em 2015, altura do abate do segmento S-4-G (1).

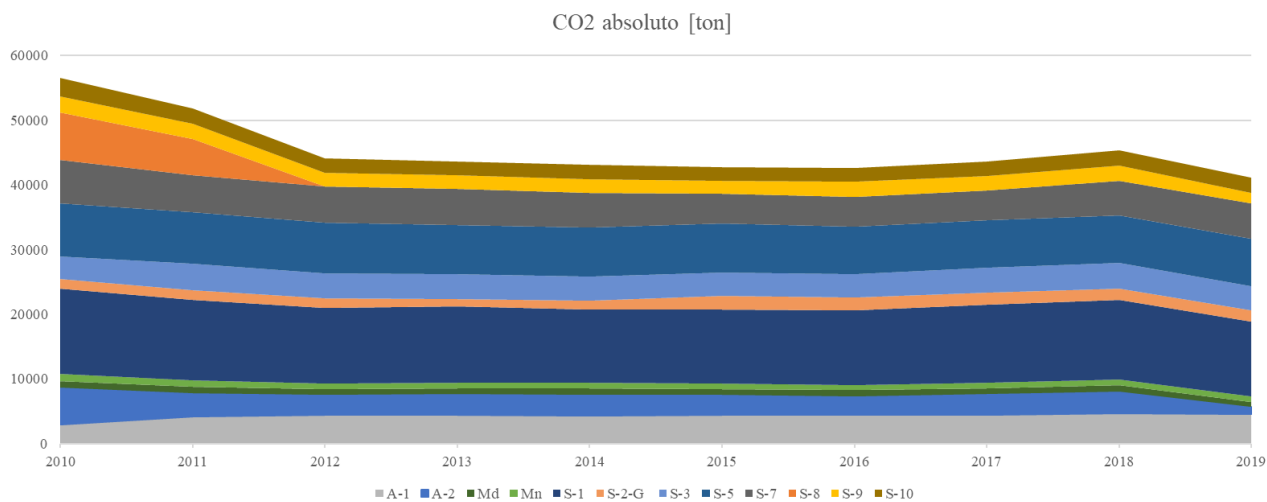


Figura 46 - Emissões anuais absolutas de CO₂

Mais uma vez a redução das emissões de CO₂ são significativas com a retirada do serviço do segmento S-8, que foi dos segmentos com maior dimensão, e com o abate do segmento A-2, que devido à sua tipologia tem consumos particularmente elevados.

Capítulo 6 – Conclusões

6.1. Conclusões

É objetivo do presente trabalho promover uma análise comparativa de operação de uma frota de autocarros urbanos, constituída por vários segmentos. Para tal foi efetuada uma pesquisa de trabalhos desenvolvidos no âmbito da operação de frotas de autocarros, incidindo especialmente sobre os temas da Análise do Ciclo de Vida e do Custo de Ciclo de Vida. A pesquisa por estes estudos visou perceber como se deve proceder para a elaboração destas análises e compreender as suas possíveis aplicações e elementos que as podem constituir, bem como as suas variações e adaptações que podem ser tomadas de acordo com os objetivos pretendidos. A partir da pesquisa destes estudos, foi também possível fazer a revisão do estado atual das diversas tecnologias rodoviárias de autocarros urbanos disponíveis, das vantagens e desvantagens que estas podem representar e dos seus potenciais custos associados. A revisão bibliográfica suporta também a necessidade de estabelecer unidades que sejam compatíveis e permitam a comparação de vários parâmetros.

A presente análise comparativa não corresponde ao Ciclo de Vida completo dos segmentos analisados, mas apenas à fase de operação. Contudo, uma análise mais simples pode utilizar os fundamentos de uma Análise de Ciclo de Vida mais complexa. A Análise do Ciclo de Vida é um procedimento dinâmico, que se adequa a vários fins pretendidos, sejam eles mais ou menos complexos, conforme o contexto em que se insere e os meios disponíveis. A análise apresentada ao longo da dissertação cumpre o seu objetivo de comparar os custos operação de diversos segmentos de uma frota no período temporal pretendido e não faz parte do seu objetivo incluir estimativas por meios estatísticos nem desenvolver um contexto puramente económico. A informação desenvolvida nesta dissertação poderá até integrar ou complementar, posteriormente, uma Análise de Ciclo de Vida mais completa.

Para a elaboração desta dissertação foram delineados alguns parâmetros da operação de uma frota de autocarros urbanos para se proceder a uma análise comparativa da operação. A partir do *software* de apoio à gestão da manutenção foram obtidos, em base mensal, informações relativas à Distância Percorrida, Taxas de Imobilização por Status e Globais, Taxas de Avaria, dados da Manutenção e da Manutenção de Rotáveis e dados de Consumos de Combustível e Óleo de motor. Excetuando as Taxas de Imobilização e as Taxas de Avaria que já são disponibilizadas num rácio a partir da plataforma informática de gestão de manutenção, todos os outros parâmetros foram convertidos em unidades comparativas, processados e ilustrados em base anual. As emissões poluentes de Monóxido de Carbono, Hidrocarbonetos Não Queimados, Óxidos de Azoto e Partículas Sólidas e do gás com efeito de estufa Dióxido de Carbono foram obtidas a partir dos respetivos fatores de emissão e de um

algoritmo, para os poluentes, através do consumo de combustível; estes valores são apresentados em valores absolutos, e não numa unidade comparativa.

O termo de comparação utilizado, o Segmento, permitiu verificar que, dentro da mesma tecnologia, ou mesmo na mesma tipologia, os resultados não são homogêneos, uma vertente que se perderia se a unidade de comparação fosse por tecnologia Diesel/GNC ou por tipologia. Assim, os resultados obtidos para este género de comparações poderão não ser válidos para todas as regiões pois, na prática, podem variar muito entre si e é preciso ter em conta que são inúmeros os fatores que caracterizam o contexto do funcionamento destes equipamentos, que irão condicionar a forma como se processam a operação e a manutenção, influenciando assim os custos de operação respetivos (Pombo, 2016).

A implementação do GNC começou devagar e demorou alguns anos a estabelecer-se, revelando que a implementação de tecnologias alternativas pode enfrentar problemas de logística. Comparativamente à tecnologia Diesel, os autocarros a GNC consomem mais combustível (quando comparados em Nm³ de GNC e L de Diesel), mas o número reduzido de veículos a GNC impõe limitações nas conclusões a tirar em relação aos custos da manutenção. Além disto, os autocarros a GNC abatidos até ao momento tinham cerca de 14 anos de serviço, o que não coincide com a vida útil das viaturas, mas sim das garrafas de GNC. Também para esta tecnologia, é esperado que se obtenham resultados muito heterogêneos, como para a tecnologia Diesel, que serão sempre influenciados por fatores muito característicos do serviço.

Como seria de esperar, os custos com a manutenção aumentam com o envelhecimento dos segmentos (Pombo, 2016), e mais uma vez os resultados não são homogêneos. A maior ou menor necessidade de manutenção pode não estar relacionada com o tipo de motorização e, mesmo tendo influência da tipologia, existirão sempre diferenças entre as marcas e modelos das viaturas.

Ao comparar combustíveis alternativos, será sempre aconselhado comparar unidades que permitam relacionar o trabalho realizado (ou a distância percorrida, neste caso) e evitar comparações com valores absolutos.

O impacto ambiental é muito caracterizado pela idade da frota, sendo notável a influência dos segmentos mais antigos nos valores absolutos das emissões poluentes, bem como a diminuição das mesmas ao longo da modernização dos segmentos e do respetivo aumento da preocupação no que concerne às emissões. A tecnologia GNC revela-se um passo para a redução das emissões de CO₂ na frota, pelo menos no que diz respeito à fase de uso.

6.2. Criação de cenários para avaliação de futuros segmentos de frota

Apesar da Carris ter já adquirido os primeiros autocarros elétricos a bateria (Carris, n.d.-a; Global Mobi Awards, n.d.) e inserido os primeiros autocarros a biodiesel (Público, n.d.; Wattson, n.d.), ainda terá de contar com uma frota maioritariamente composta por autocarros a Diesel e a GNC. Grande parte dos segmentos a Diesel ainda se encontram na sua vida útil (Pombo, 2016) e servirão a frota durante mais alguns anos, além de que muitos dos novos veículos a GNC adquiridos em 2018 ainda se encontram na garantia, no momento da realização desta dissertação.

Outro aspeto a ter em conta na operação da Carris no futuro é a instalação de novas consolas do sistema de eco-condução XTraN EcoDriver nos seus veículos, que fornecerá dados relativos à eficiência energética no que toca à velocidade, acelerações e travagens. À implementação deste sistema estão associadas vantagens ambientais, pois será possível reduzir as emissões de Dióxido de Carbono em mais de 300 toneladas por ano e conseguir uma poupança anual equivalente a mais de 120 mil litros de gasóleo (Carris, n.d.-c).

Considerando a diversidade dos resultados obtidos para vários segmentos da tecnologia Diesel e o número de reduzido de veículos a GNC, seria útil conduzir uma análise comparativa aos custos de operação dos novos segmentos a GNC, adquiridos em 2018, a fim de perceber o peso dos custos da manutenção desta tecnologia numa frota, verificar possíveis melhorias nos consumos e determinar as emissões de uma tecnologia mais limpa.

A implementação do biodiesel tem a vantagem de não serem necessárias alterações a nível do motor, mas seria interessante perceber o impacto que esta tecnologia tem, especialmente a nível da manutenção do motor enquanto rotável, e na diferença dos consumos em relação ao Diesel, fatores que influenciarão o custo de operação. Será também interessante determinar o impacto das emissões desta tecnologia ao serviço de uma frota.

Os autocarros elétricos a bateria poderão ser também alvo de uma análise à sua fase de operação, mas há que ter em conta o número reduzido de veículos em circulação ao momento. Com custos de operação hipoteticamente mais baixos, devido à potencial manutenção mais reduzida devido à sua simplicidade, será necessário determinar se assim o é na realidade, uma vez que uma das principais conclusões desta dissertação recai sobre a diversidade de resultados obtidos dentro da mesma tecnologia. Os custos e práticas de manutenção desta tecnologia terão bastante relevo num futuro trabalho, tanto a nível de componentes elétricos como a nível de componentes presentes noutras tecnologias, mas que diferem em veículos elétricos a bateria, como os eixos e a transmissão, além de perceber a influência da travagem regenerativa (CaetanoBus, 2019). Outro aspeto importante, serão também os efeitos que esta tecnologia terá em questões de logística e que influenciarão o tipo de funcionamento e as distâncias percorridas por estes veículos.

No ponto de vista da manutenção, a base fundamental da manutenção mais generalizada ainda é a manutenção preventiva sistemática, embora os conceitos da manutenção estejam a evoluir (Pombo, 2016). Além da componente sistemática pura, havendo a componente da inspeção, é proporcionado um largo campo de atuação. A atuação em demasia na componente preventiva aumenta os custos, pelo desperdício do material que não chega ao fim de vida e pelo desperdício de mão de obra. No entanto, desprezar a componente preventiva irá aumentar a probabilidade de ocorrência de falhas, provocando o aumento dos custos como consequência. Torna-se então pertinente realizar um balanço e perceber a correlação entre os custos da componente preventiva e da componente curativa da manutenção. Um aspeto que pode ser tido em conta é a variação dos custos da manutenção em função da utilização acumulada e da idade e a reflexão sobre algumas causas e padrões.

6.3. Propostas de trabalho futuro

No seguimento do trabalho desenvolvido, apresentam-se na presente secção perspetivas de desenvolvimentos futuros.

Face à presente dissertação, considera-se que seria de interesse e de natureza complementar desenvolver trabalhos na linha da operação da frota da Carris. Para tal, algumas propostas de trabalho futuro são:

- Análise comparativa de operação dos segmentos adquiridos em 2018 e do impacto que tiveram no regime de funcionamento dos segmentos adquiridos até 2010;
- Análise comparativa de operações e custos de manutenção de motores e relação com a Distância Percorrida do Segmento;
- Análise comparativa de operações e custos de manutenção de caixas de velocidades e relação com a Distância Percorrida;
- Análise de programas e custos de manutenção entre segmentos com motor de combustão interna e o segmento elétrico a bateria;
- Análise de periodicidade/distância percorrida entre recondicionamentos e custos de manutenção de motores Diesel e GNC;
- Análise do impacto da utilização de biodiesel no consumos, operações e custos de manutenção nos motores;
- Relacionar taxas de avaria e imobilização dos segmentos de 2018 com os segmentos adquiridos antes de 2010;
- Análise comparativa do desempenho ambiental dos serviços da Carris antes e depois da implementação do *software* XTraN EcoDriver;

- Relacionar a informação do *software* XTraN EcoDriver, quanto ao desempenho dos motoristas, com custos de manutenção de componentes;
- Análise comparativa da substituição dos componentes dos travões, entre veículos com travagem regenerativa e veículos com retardador;
- Análise da variação de custos de manutenção em função da utilização acumulada e idade, causas e padrões – balanço e correlação da componente preventiva e curativa.

Página intencional deixada em branco

Referências

- (S&T) Squared Consultants Inc. (n.d.). GHGenius lifecycle greenhouse gas model. Retrieved April 13, 2020, from <https://ghgenius.ca/>
- ACEA. (2019). ACEA Report Vehicles in use Europe 2019. *European Automobile Manufacturers Association*, 1–19. Retrieved from https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2017.pdf
- Ahouissoussi, N. B. C., & Wetzstein, M. E. (1998). A comparative cost analysis of biodiesel, compressed natural gas, methanol, and diesel for transit bus systems. *Resource and Energy Economics*, 20(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0928-7655\(96\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0928-7655(96)00015-2)
- Albers, J., Meissner, E., & Shirazi, S. (2011). Lead-acid batteries in micro-hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, 196(8), 3993–4002. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.094>
- Ally, J., & Pryor, T. (2016). Life cycle costing of diesel , natural gas , hybrid and hydrogen fuel cell bus systems : An Australian case study. *Energy Policy*, 94, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.039>
- Argonne National Laboratory. (n.d.-a). Alternative Fuel Life-Cycle Environmental and Economic Transportation (AFLEET) Tool. Retrieved April 13, 2020, from https://greet.es.anl.gov/afleet_tool
- Argonne National Laboratory. (n.d.-b). GREET® Model The Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model. Retrieved April 13, 2020, from <https://greet.es.anl.gov/index.php>
- Assis, R. (2014). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativo Físicos (2ª)*. LIDEL - Edições Técnicas, Lda.
- Barbosa, F. C. (2014). *Pure Electric Bus Traction Technology Overview - A Path Towards Enhanced Environmental Performance and Efficiency for Transit Bus Fleets*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2014-36-0205>
- Bradley, R., Jawahir, I. S., Badurdeen, F., & Rouch, K. (2018). A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(December 2017), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.017>

CaetanoBus. (2019). *Brochura e.City Gold*.

Câmara Municipal de Lisboa. (n.d.). CARREIRAS DE BAIRRO. Retrieved from <https://www.lisboa.pt/cidade/mobilidade/carreiras-de-bairro>

Carris. (n.d.-a). Chegaram os novos autocarros. Retrieved from <https://www.carris.pt/descubra/noticias/chegaram-os-novos-autocarros-eletricos/>

Carris. (n.d.-b). Os nossos números - Efetivo e Frota. Retrieved from <https://carris.pt/a-carris/empresa/os-nossos-numeros/>

Carris. (n.d.-c). XTraN nos veículos da CARRIS. Retrieved from <https://www.carris.pt/descubra/noticias/xtran-nos-veiculos-da-carris/>

Carris Transportes de Lisboa. (n.d.). *NE 0230 1ª Ed.pdf*.

Cooney, G., Hawkins, T. R., & Marriott, J. (2013). Life cycle assessment of diesel and electric public transportation buses. *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), 689–699. <https://doi.org/10.1111/jiec.12024>

Durango-cohen, P. L., & Mckenzie, E. C. (2017). Trading off costs, environmental impact, and levels of service in the optimal design of transit bus fleets. *Transportation Research Procedia*, 23, 1025–1037. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.056>

Ercan, T., & Tatari, O. (2015). A hybrid life cycle assessment of public transportation buses with alternative fuel options. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1213–1231. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0927-2>

Ercan, T., Zhao, Y., Tatari, O., & Pazour, J. A. (2015). Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. *Energy*, 93, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.018>

EU: Heavy-Duty Truck and Bus Engines. (n.d.). Retrieved March 7, 2021, from <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

Global Mobi Awards. (n.d.). Carris prepara introdução de 45 “bus” elétricos e mais 25 elétricos de carril. Retrieved from <https://globalmobiawards.motor24.pt/carris-prepara-introducao-45-bus-eletricos-25-eletricos-carril/>

Göhlich, D., Fay, T. A., Jefferies, D., Lauth, E., Kunitz, A., & Zhang, X. (2018). Design of urban electric bus systems. *Design Science*, 4, 1–28. <https://doi.org/10.1017/dsj.2018.10>

- Gomes Martins, J. J. (2020). *Motores de Combustão Interna* (Sexta Edição; Publindústria, Ed.). Engebook.
- Hapuwatte, B. M., & Jawahir, I. S. (2019). A total life cycle approach for developing predictive design methodologies to optimize product performance. *Procedia Manufacturing*, 33, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.003>
- Harris, A., Soban, D., Smyth, B. M., & Best, R. (2018). Assessing life cycle impacts and the risk and uncertainty of alternative bus technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(April), 569–579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.045>
- Harris, A., Soban, D., Smyth, B. M., & Best, R. (2020). A probabilistic fleet analysis for energy consumption, life cycle cost and greenhouse gas emissions modelling of bus technologies. *Applied Energy*, 261(August 2019), 114422. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114422>
- Hellgren, J. (2007). Life cycle cost analysis of a car, a city bus and an intercity bus powertrain for year 2005 and 2020. *Energy Policy*, 35(1), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.10.004>
- Jawahir, I. S., Badurdeen, F., & Rouch, K. E. (2013). Innovation in Sustainable Manufacturing Education. *11th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 9–16
- Lajunen, A. (2014). Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.008>
- Lenzen, M. (n.d.). *Errors in Conventional and Input-Output – based Life-Cycle Inventories*. 4(4).
- Leonidas Ntziachristos, Z. S. (n.d.). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. European Monitoring and Evaluation Programme; European Environment Agency.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>
- McKenzie, E. C., & Durango-Cohen, P. L. (2012). Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.09.008>
- Monchy, F. (n.d.). *La Fonction Maintenance* (Masson, Ed.).
- Monchy, F., & Vernier, J.-P. (n.d.). *Maintenance – Méthodes et Organisations* (Dunod, Ed.).

- Moro, A., & Helmers, E. (2017). A new hybrid method for reducing the gap between WTW and LCA in the carbon footprint assessment of electric vehicles. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(1), 4–14. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0954-z>
- Orbaiz, P., van Dijk, N., Cosentino, S., Oxenford, N., Carignano, M., & Nigro, N. M. (2018). *A Technical, Environmental and Financial Analysis of Hybrid Buses Used for Public Transport*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2018-01-0424>
- Pearce, D. (2003). The Social Cost of Carbon and its Policy Implications. *Oxford Review of Economic Policy*, 19(3), 362–384. <https://doi.org/10.1093/oxrep/19.3.362>
- Pombo, M. (2016). *Transporte Público Urbano em Modo Autocarro (manuscrito não publicado)*.
- Público. (n.d.). Carris lançou em Lisboa primeira carreira com autocarros a biodiesel. Retrieved from <https://www.publico.pt/2019/12/12/local/noticia/carris-lancou-lisboa-primeira-carreira-autocarros-biodiesel-1897091>
- Q&A: The social cost of carbon | Carbon Brief. (2017). Retrieved April 16, 2020, from carbonbrief.org website: <https://www.carbonbrief.org/qa-social-cost-carbon>
- Ribau, J. P., Silva, C. M., & Sousa, J. M. C. (2014). Efficiency, cost and life cycle CO₂ optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses. *Applied Energy*, 129, 320–335. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.015>
- Stempien, J. P., & Chan, S. H. (2017). Comparative study of fuel cell, battery and hybrid buses for renewable energy constrained areas. *Journal of Power Sources*, 340, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.11.089>
- Tong, F., Hendrickson, C., Biehler, A., Jaramillo, P., & Seki, S. (2017). Life cycle ownership cost and environmental externality of alternative fuel options for transit buses. *Transportation Research Part D*, 57(October), 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.023>
- Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., & Lebedeva, N. (2018). Li-ion Batteries for Mobility and Stationary Storage Applications Scenarios for Costs and Market Growth. *Publications Office of the European Union: Luxembourg*.
- Vicente, P. (2015). *Formulário Único SIRAPA Manual de Apoio ao Preenchimento do Formulário PRTR Emissões de Combustão Determinação de emissões ar por fatores de emissão Índice Resumo das Revisões ao Documento*.
- Wang, P., Deng, X., Zhou, H., & Yu, S. (2019). Estimates of the social cost of carbon: A review

based on meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1494–1507.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.058>

Wattson. (n.d.). Autocarros com Diesel 100% feito com óleos alimentares usados já rolam em Lisboa. Retrieved from <https://www.wattson.pt/2019/12/13/autocarros-com-diesel-100-feito-com-oleos-alimentares-usados-ja-rolam-em-lisboa/>

Xu, Y., Gbologah, F. E., Lee, D. Y., Liu, H., Rodgers, M. O., & Guensler, R. L. (2015).

Assessment of alternative fuel and powertrain transit bus options using real-world operations data: Life-cycle fuel and emissions modeling. *Applied Energy*, 154, 143–159.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.112>

Zhou, B., Wu, Y., Zhou, B., Wang, R., Ke, W., Zhang, S., & Hao, J. (2016). Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. *Energy*, 96(2016), 603–613.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.041>

Página intencionalmente deixada em branco

Anexos

Página intencionalmente deixada em branco

Índice de Anexos

Introdução	A-2
Anexo I – Tratamento de dados de falha e suspensos de Compressores de um Segmento	A-5
Anexo II – Tratamento de dados de falha e suspensos de Correias AVAC de um Segmento	A-13
Anexo III – Tratamento de dados de falhas e suspensos de Embraiagens do Ar Condicionado de um Segmento	A-19
Anexo IV – Tratamento de dados de falha e suspensos de Pastilhas de Travão de um Segmento.....	A-25

Introdução

A partir do *software* de apoio à manutenção não é possível retirar de uma maneira direta a periodicidade, em quilómetros, da substituição destes componentes. Foi então proposta uma análise que permitisse determinar estas periodicidades. Definiu-se que esta análise recairia sobre um componente reparável, o compressor, e 4 componentes não reparáveis: correias AVAC, embraiagens do ar condicionado, discos e pastilhas de travão, e limitou-se este estudo aos componentes de apenas um segmento. Para tal, obtiveram-se a partir do *software* as seguintes informações, referentes aos carros que constituem o Segmento selecionado:

- Descrição da falha/avaria;
- Descrição das ações efetuadas;
- Saídas do material do Armazém;
- Registos diários da Distância Percorrida pelas viaturas.

Para ser possível obter a Distância Percorrida, tem-se em conta que:

1. Cada notificação de falha está associada a uma Ordem de manutenção;
2. Cada Ordem está associada a apenas um autocarro;
3. A Ordem é o que permite a saída do material do Armazém;
4. A cada Ordem estão associados textos de ação e a respetiva data;
5. Através das datas, do número de frota do veículo e dos registos diários da Distância Percorrida, são obtidas as Distâncias Percorridas entre duas falhas consecutivas para o mesmo autocarro.

Aos componentes dos travões acresceu-se o desafio de identificar se a substituição das pastilhas/discos ocorria no eixo dianteiro, traseiro ou em ambos. Neste processo, foram sentidas dificuldades nomeadamente ao nível dos textos de ação referentes às pastilhas e discos de travão, onde nem sempre foi possível identificar o eixo da substituição. Resultado disto foi a impossibilidade do tratamento dos dados relativos aos discos de travão, que não eram suficientes. Também nem sempre foi possível determinar se a substituição dos compressores se deveu a uma falha concretamente no mesmo, ou se ocorreu uma remodelação completa do motor. São assim determinados os dados de falha e suspensos dos compressores, correias AVAC, embraiagens do ar condicionado e pastilhas de travão, uma vez que os dados relativos aos discos de travão não tinham qualidade para serem tratados e analisados. Estando obtidas as distâncias percorridas até à falha, e tendo também componentes ainda em suspenso, procedeu-se ao tratamento destes dados através do *software Weibull++*, da *Reliasoft*. Apesar de, posteriormente, não ter sido relevante para a dissertação, considerou-se válido colocar esta informação em anexo. Constam nos anexos

representações gráficas da quantidade de falhas destes componentes por ano e da sazonalidade das mesmas e, através do *software Weibull++*, foram gerados gráficos de Fiabilidade e determinados, através da ferramenta de cálculo de Fiabilidade, os parâmetros MTTF (Mean Time To Failure), a distância percorrida para que a probabilidade de falha seja 10%, 5% e 2%, a Fiabilidade aos 60000 quilómetros (sensivelmente um ano de serviço) e o número de falhas expectáveis aos 60000 quilómetros (complementar da anterior).

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo I – Tratamento de dados de falha e suspensos de Compressores de um Segmento

Após o tratamento dos dados obtidos a partir do *software* de apoio à gestão da manutenção, demonstra-se um exemplo dos resultados. Cada uma das linhas da seguinte tabela tem a ela associada uma Ordem de manutenção e a respetiva data, que aqui não constam por motivos de confidencialidade.

Tabela AI-1 - Exemplo de dados de Falha e dados Suspensos (distância percorrida) – Compressores

Distância Percorrida	Condição	Distância Percorrida	Condição	Distância Percorrida	Condição
71895	suspenso	119395	suspenso	62361	falha
1705	suspenso	46871	falha	88448	suspenso
23404	suspenso	12351	falha	140036	suspenso
10073	falha	22601	suspenso	119890	suspenso
63024	falha	25300	suspenso	87362	suspenso
1161	suspenso	95775	suspenso	34974	suspenso
143070	suspenso	402	suspenso	39164	suspenso
71258	suspenso	63923	suspenso	2790	falha
67997	suspenso	1847	falha	15532	suspenso
8701	falha	7476	falha	51411	suspenso
69605	suspenso	10066	suspenso	135961	suspenso
54518	suspenso	52828	falha	71593	suspenso
11853	falha	29589	falha	137467	falha
17832	falha	19024	falha	56661	suspenso
82816	suspenso	544	suspenso	11897	suspenso
6829	suspenso	23357	suspenso	31025	falha
140700	suspenso	76461	falha	45160	suspenso
69372	falha	5857	suspenso	133449	falha
13730	suspenso	75992	suspenso	16950	suspenso
30258	suspenso	41938	falha	34693	suspenso
84012	suspenso	118472	suspenso	124317	suspenso
112922	suspenso	32438	falha	98535	suspenso
99213	falha	57081	suspenso	45141	suspenso
10377	suspenso	74934	suspenso		
123965	suspenso	97081	suspenso		

As Distâncias Percorridas cuja condição é “falha” representam, tal como o nome indica, a distância percorrida até à falha de um compressor. Quando a condição é “suspenso”, significa que, ao momento da análise, o compressor fez aquela Distância Percorrida, mas ainda não falhou. Uma das dificuldades sentidas no tratamento das distâncias percorridas até à falha é que muitas vezes não foi possível determinar a ocorrência de remodelações completas do motor, não tendo sido possível determinar algumas falhas com precisão.

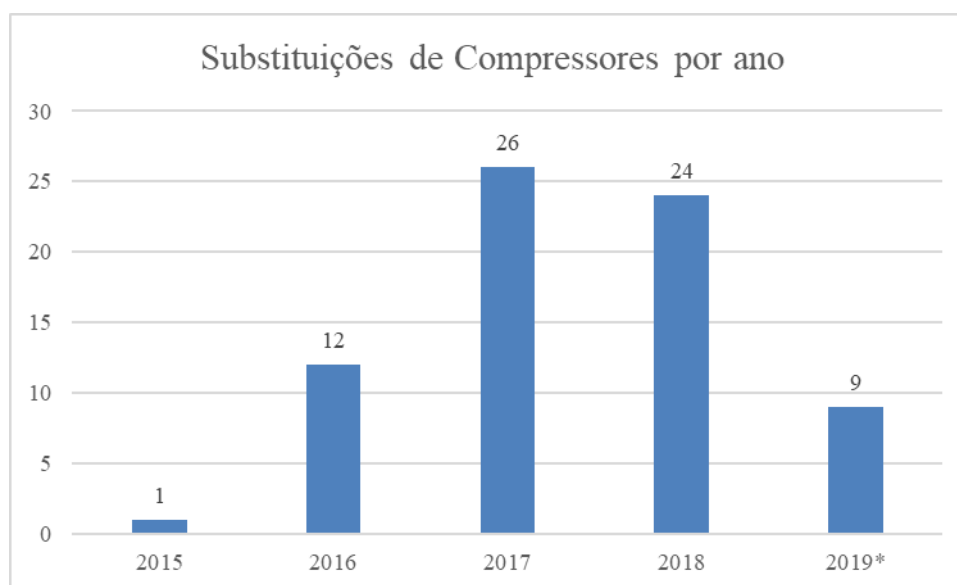


Figura AI-1 – Substituições anuais de Compressores

Em cima está representada a quantidade de Compressores que avariaram por ano. Salienta-se que para o ano 2019 apenas consta informação até ao dia 30 de abril, e quis-se apenas mostrar o número de falhas num terço do ano. É expectável que o Compressor, como componente em si, comece a falhar cada vez mais cedo, devido à contaminação do sistema pneumático com a idade dos veículos.

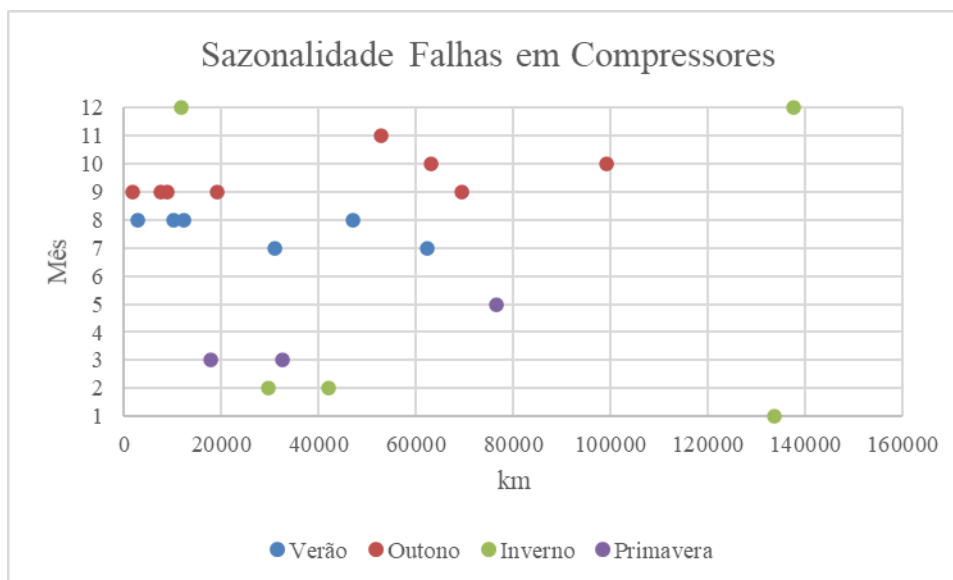


Figura AI-2 - Sazonalidade das Falhas em Compressores

Analisando a sazonalidade das falhas em compressores, estas tendem a acontecer para Distâncias Percorridas menores em meses quentes.

De seguida é apresentado o tratamento dos dados através do *software Weibull++*. Neste *software* apenas é necessário inserir os dados a analisar, definir como “falha” ou “suspenso” e definir a unidade (que pode ser em horas, ciclos ou unidade de distância percorrida). Foi utilizada uma ferramenta de cálculo de dados de fiabilidade do *software Weibull++* para obter os seguintes parâmetros:

- MTTF (*Mean Time to Failure*) – Tempo médio (em unidade temporal, ciclos ou distância percorrida) para a ocorrência da falha;
- B10 *Life* – Tempo (em unidade temporal, ciclos ou distância percorrida) para a ocorrência da falha em 10% dos componentes inseridos;
- B5 *Life* – O mesmo que o anterior, mas para 5% dos componentes;
- B2 *Life* – O mesmo que o anterior, mas para 2% dos componentes;
- R(60000) – Fiabilidade aos 60000 quilómetros (sensivelmente um ano de serviço);
- *Expected Failures* 60000 (em 100 autocarros) – Falhas expectáveis aos 60000 quilómetros (complementar da anterior)

Para estes parâmetros foram feitos dois estudos. Um deles apenas com os dados de falha e outro com a influência dos dados suspensos. São tratados todos os dados disponíveis, mas é também feita uma comparação com dados anuais.

Tabela AI-2 - Tratamento dados Falhas Compressores (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas 2016	Falhas 2017	Falhas 2018
MTTF	46088	70032	44172	13624
B10 Life	3994	15430	8291	1435
B5 Life	1720	8865	4929	699
B2 Life	569	4284	2546	275
R(60000)	0,2816	0,5117	0,2540	0,0122
Expected Failures 60000	71,8422	48,8271	74,5953	98,7773

Tabela AI-3 - Tratamento dados Falhas e Suspensos Compressores (gerado em Weibull++)

	Falhas/suspensos	Falhas/suspensos	Falhas/suspensos	Falhas/suspensos
		2016	2017	2018
MTTF	181478	184326	322756	787732
B10 Life	20773	30024	20666	6212
B5 Life	11061	20699	12140	2755
B2 Life	5476	15337	8320	1838
R(60000)	0,7234	0,7564	0,7466	0,6834
Expected Failures 60000	27,6559	24,3578	25,3370	31,6559

Como seria de esperar, incluir os dados suspensos nestas análises aumenta a fiabilidade dos componentes. Olhando para os dados de falha, tanto as 2017 como 2018 ficaram aquém do panorama geral, o que indica que as falhas estão a ocorrer para distâncias percorridas menores nestes anos.

Também geradas no *software*, seguem-se ainda representações gráficas da variação da Fiabilidade, ao longo do aumento da Distância Percorrida. Também para estas representações foram feitas comparações entre apenas dados de falha, dados de falha e suspensos e comparações anuais.

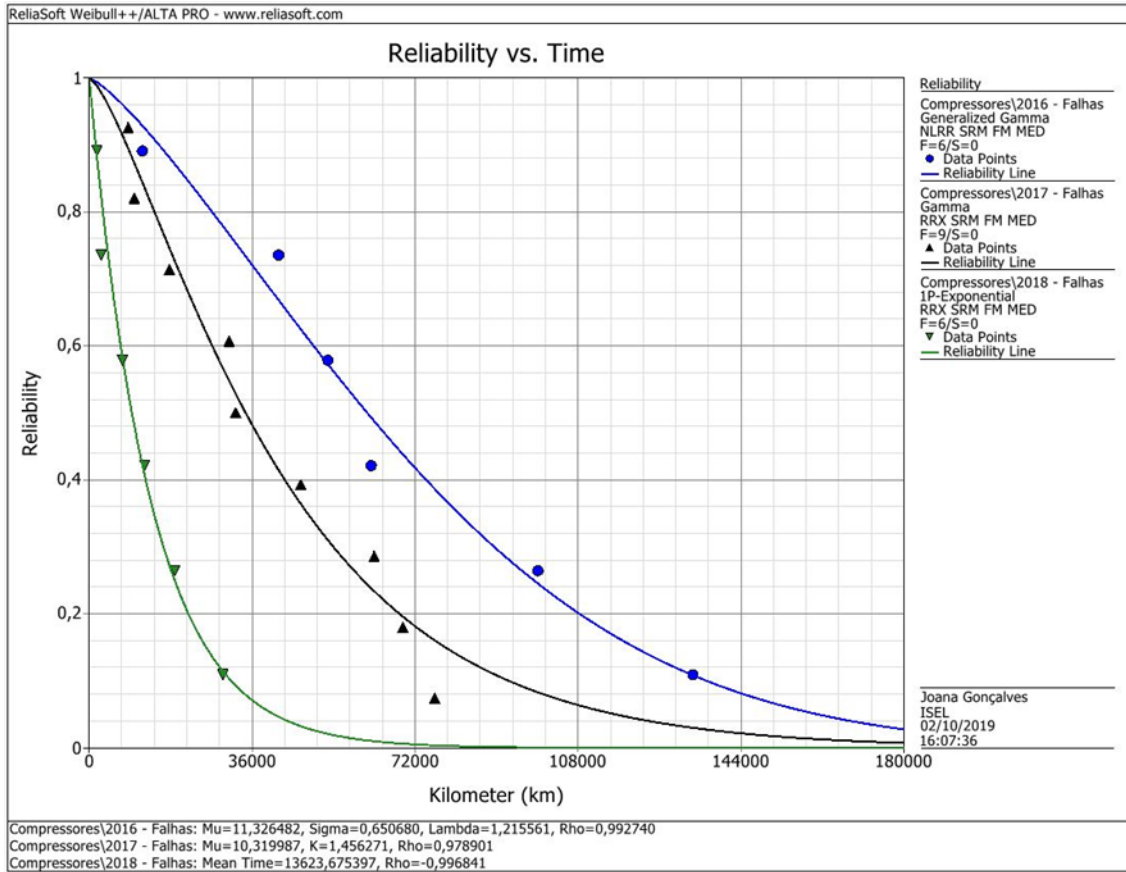


Figura AI-3 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Só Falhas (gerado em Weibull++)

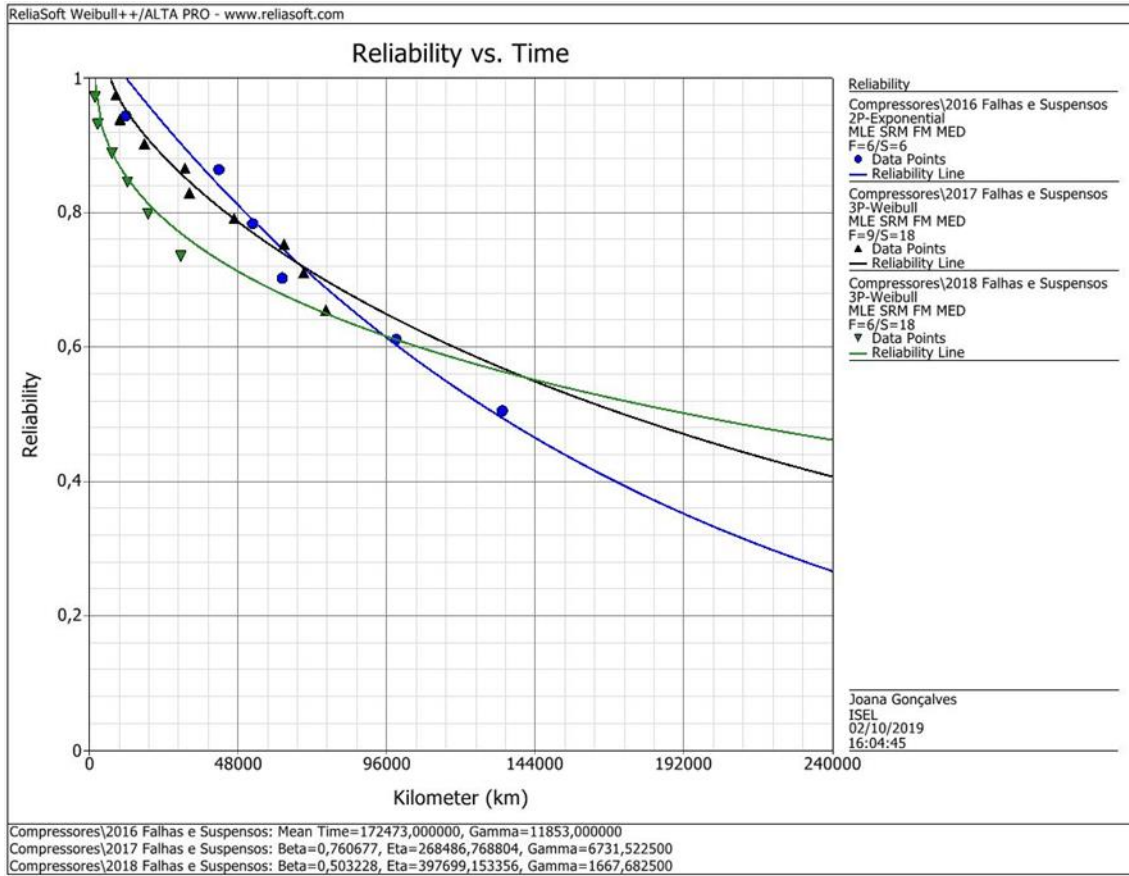


Figura AI-4 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida (gerado em Weibull++)

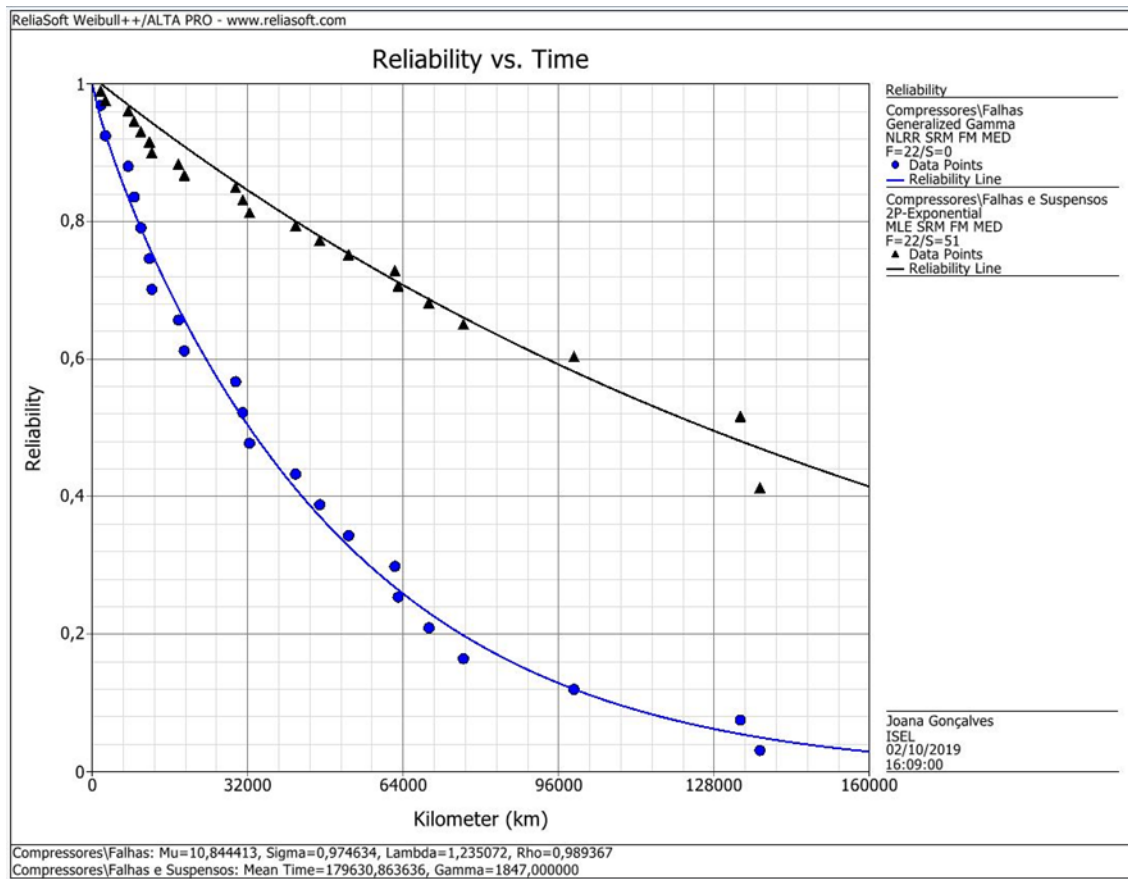


Figura A1-5 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Comparação Falhas e Falhas+Suspensos (gerado em Weibull++)

No caso dos Compressores, o número de entradas referentes a falhas é relativamente baixo em relação aos dados suspensos, o que fará com que os dados suspensos tenham maior influência. Assim, há que ter em conta que apenas os dados de falha não correspondem à realidade e que é importante olhar e refletir para o panorama que os dados suspensos fornecem. Mesmo assim, o ideal seria ter mais dados disponíveis, pois 73 entradas é um número muito reduzido para os resultados serem considerados fiáveis. Acrescenta-se também ao estudo deste componente o aspeto de que nem sempre foi possível determinar a substituição de um compressor nos casos das remodelações de motores, o que fará com que alguns Compressores tenham maiores Distâncias Percorridas que a realidade que, devido à reduzida disponibilidade de dados, influenciarão e muito o panorama

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo II – Tratamento de dados de falha e suspensos de Correias AVAC de um Segmento

Tal como para os Compressores, também foram determinadas as Distâncias Percorridas até à falha de correias AVAC. Não se sentiu necessidade de incluir um exemplo dos dados doravante porque são semelhantes aos já demonstrados: uma determinada Distância Percorrida associada a uma condição de falha ou suspenso. Segue-se então a informação obtida para correias AVAC.

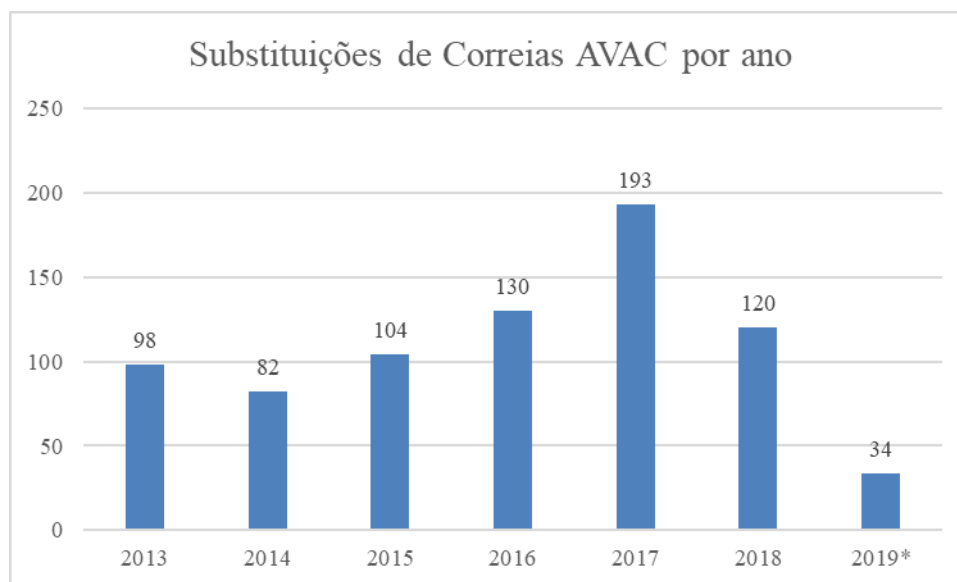


Figura AII-1 – Substituições anuais de Correias AVAC

Mais uma vez, salienta-se que para 2019 apenas foram considerados dados até 30 de abril, mas estes dados podem já dar uma perspetiva da condição das correias no primeiro quadrimestre do ano. A perspetiva é que 2018 e 2019 serão melhores que 2017.

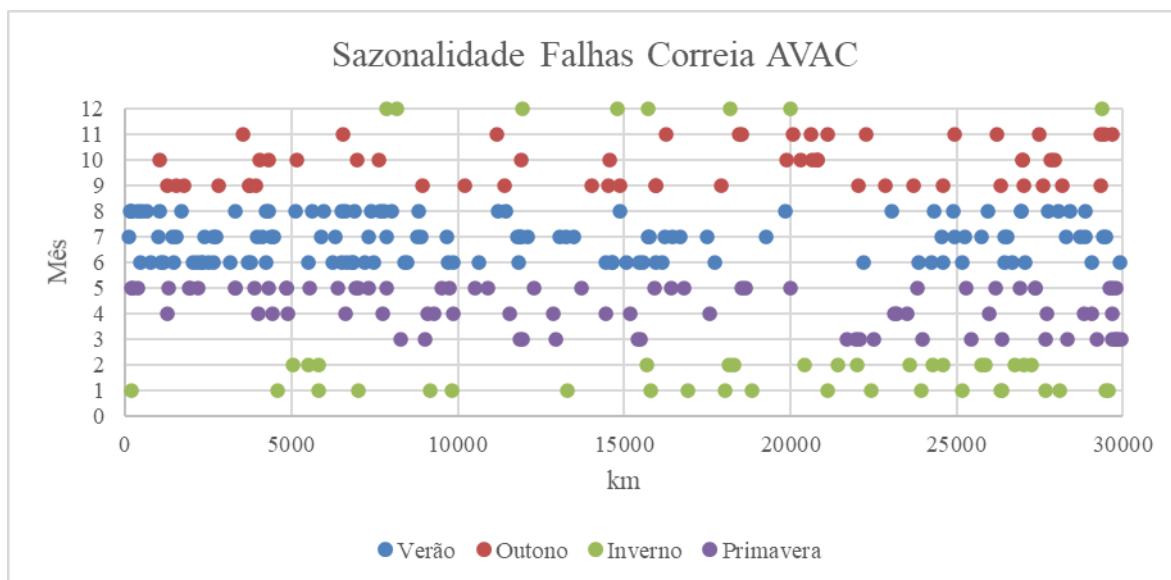


Figura AII- 2 - Sazonalidade falhas Correias AVAC

Também para as correias AVAC as falhas tendem a concentrar-se em meses mais quentes.

Tabela AII-1 – Tratamento dados de falha Correias AVAC (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas 2013	Falhas 2014	Falhas 2015	Falhas 2016	Falhas 2017	Falhas 2018
MTTF	36849	56070	42451	51529	30538	28192	20562
B10 Life	6312	16188	15406	23579	3977	2999	3551
B5 Life	2923	11114	10765	18531	2085	1319	1736
B2 Life	491	6960	6777	13792	908	446	674
R(60000)	0,1860	0,3717	0,2092	0,3187	0,1339	0,1122	0,0030
Expected Failures 60000	81,4026	62,8290	79,0759	68,1262	86,6089	88,7820	99,7050

Tabela AII- 2 - Tratamento dados de Falhas e Suspensos Correias AVAC (gerado em Weibull++)

	Falhas/suspensos	Falhas/suspensos 2016	Falhas/suspensos 2017	Falhas/suspensos 2018
MTTF	39665	30989	30496	38043
B10 Life	6239	3977	3995	7331
B5 Life	3153	2074	1933	3941
B2 Life	1283	897	744	1739
R(60000)	0,2259	0,1386	0,1300	0,1988
Expected Failures 60000	77,4132	86,1412	87,0012	80,1207

Mais uma vez, incluir os dados suspensos no estudo aumenta a fiabilidade do componente. Em relação ao componente já explorado, o Compressor, este ganho não é tão significativo para as correias AVAC. Tal pode dever-se à facilidade de determinar as substituições das correias, que no caso dos Compressores revelou alguma dificuldade.

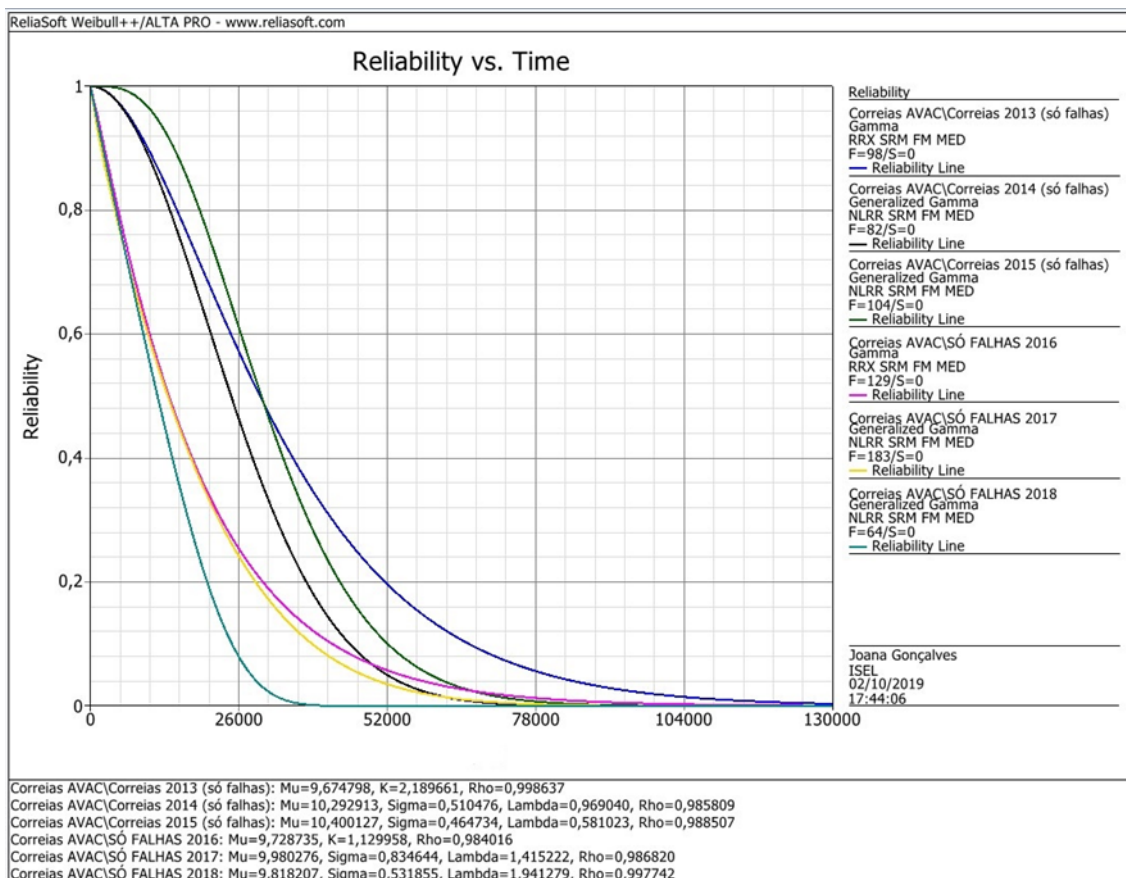


Figura AII-3 – Fiabilidade vs. Distância Percorrida Correias AVAC – só falhas (gerado em Weibull++)

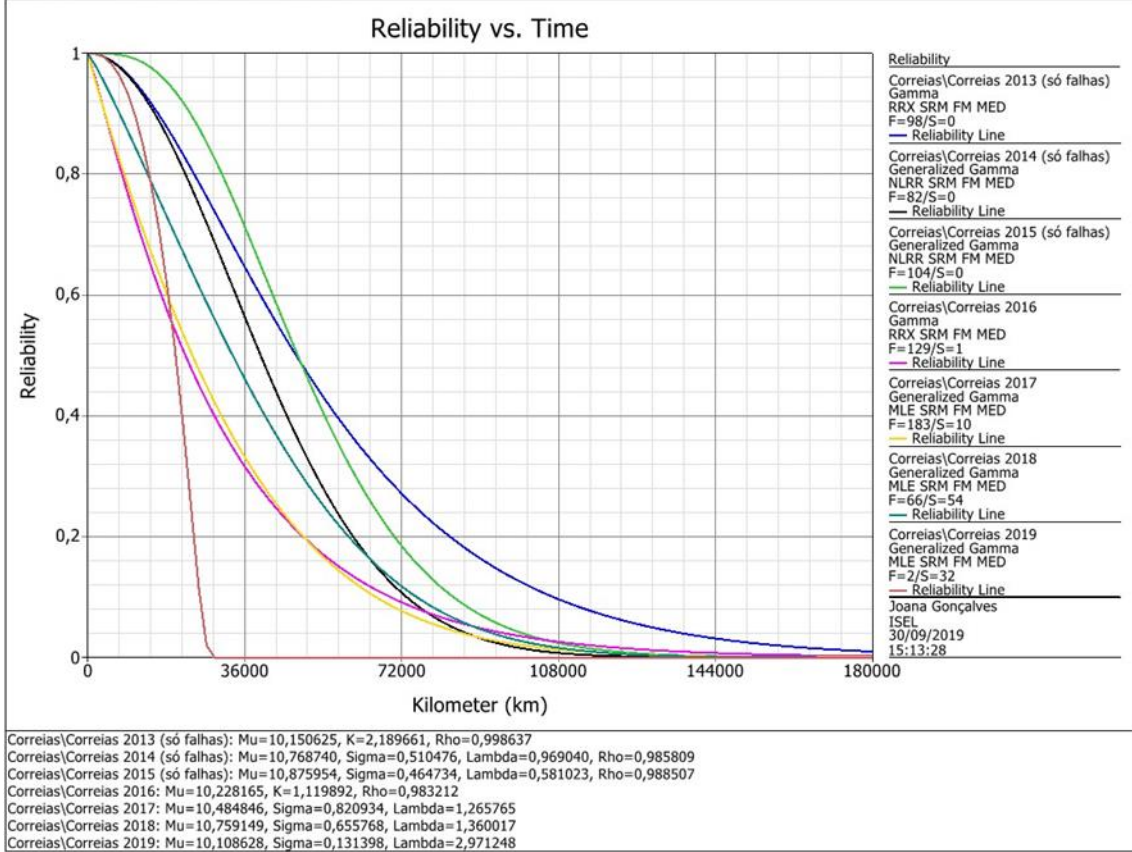


Figura AII- 4 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida Correas AVAC (gerado em Weibull++)

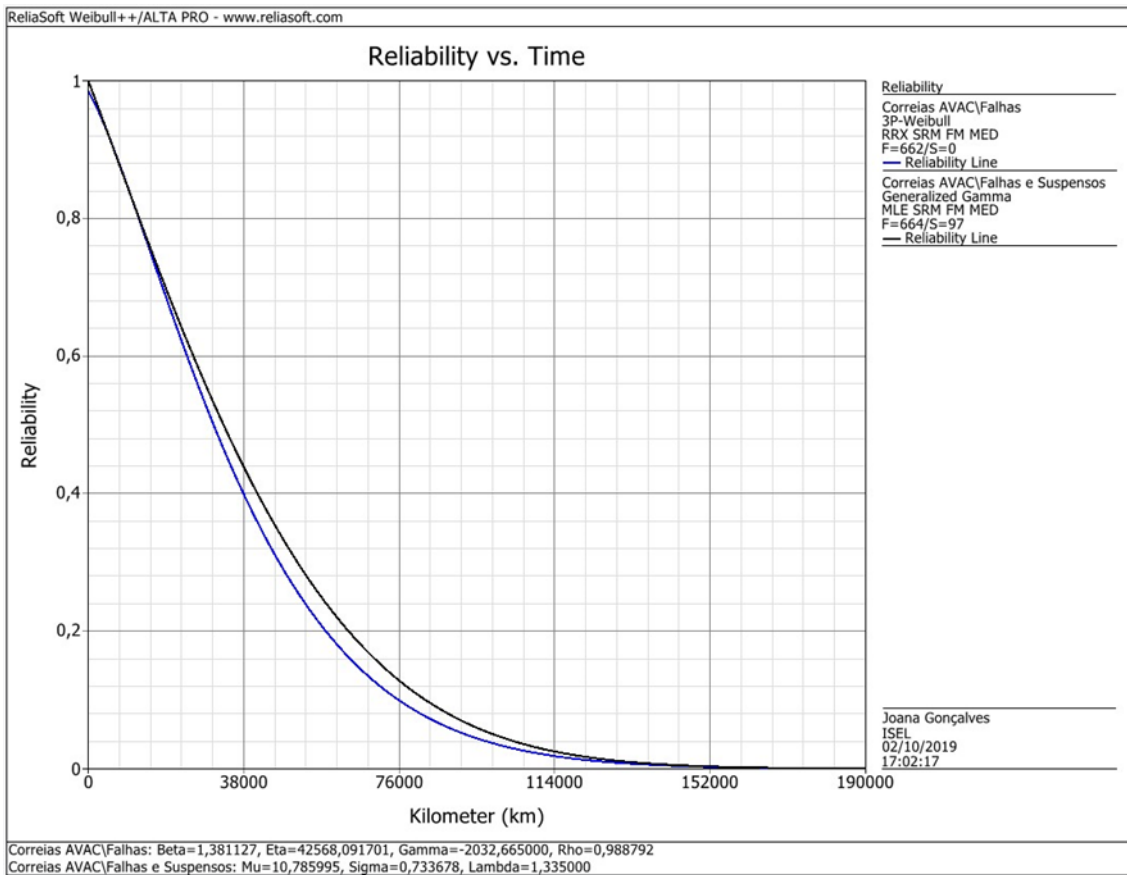


Figura AII- 5 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida Correiras AVAC – Comparação Falhas e Falhas+Suspensos (gerado em Weibull++)

Tal como já visto anteriormente, a inclusão dos dados em suspenso aumenta a fiabilidade dos componentes. Para as correias, devido ao elevado número de entradas disponível, as linhas da fiabilidade aproximam-se.

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo III – Tratamento de dados de falhas e suspensos de Embraiagens do Ar Condicionado de um Segmento

Segue-se a análise de dados de falha e de dados suspensos para as Embraiagens do Ar Condicionado. Mais uma vez, a estes dados correspondem Distâncias Percorridas acompanhadas pela condição de falha ou suspenso, e não se achou necessário exemplificar mais uma vez.

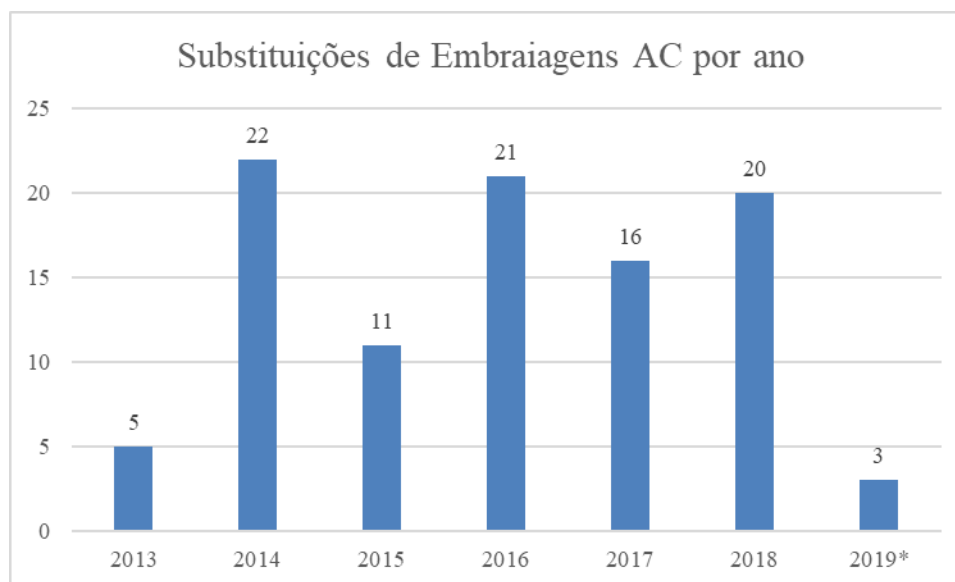


Figura AIII-1 – Substituições anuais de Embraiagens do Ar Condicionado

Tal como já referido, os dados de 2019 correspondem apenas até ao dia 30 de abril. Para as Embraiagens do Ar Condicionado a quantidade de substituições por ano não tem uma tendência crescente.

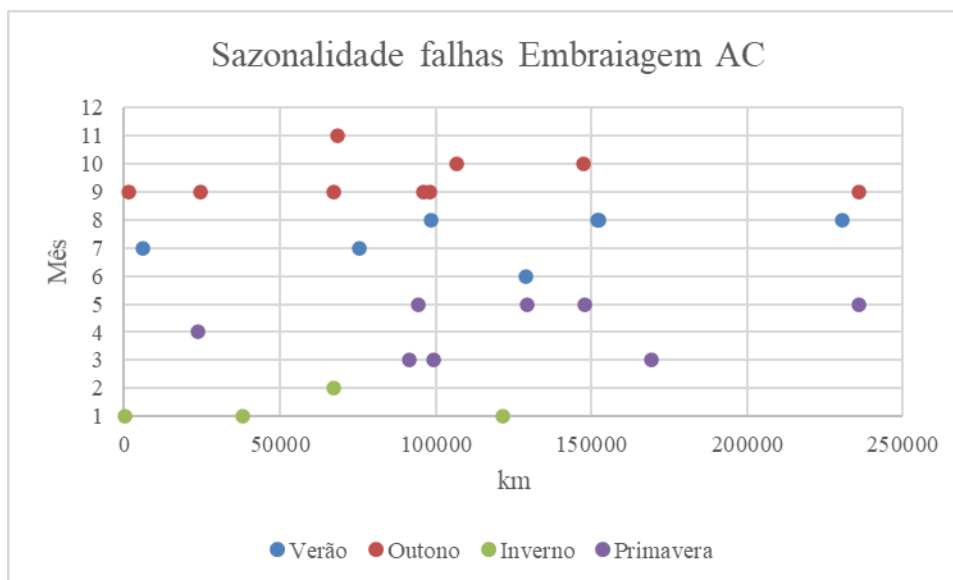


Figura AIII-2 - Sazonalidade falhas de Embraiagens AC

Apesar do número limitado de falhas, é possível ver que no período do inverno a quantidade das falhas é cerca de metade em relação ao período da primavera, do verão e do outono. Este aspeto pode dever-se ao uso do ar condicionado em meses mais quentes. No inverno, o ar condicionado não é utilizado porque este apenas faz frio para o compartimento dos passageiros.

Tabela AIII-1 - Tratamento dados de falha Embraiagens AC (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas 2014	Falhas 2015	Falhas 2016
MTTF	107110	152839	-	-
B10 Life	33501	54451	-	-
B5 Life	20944	36802	-	-
B2 Life	11266	22032	-	-
R(60000)	0,7653	0,8814	-	-
Expected Failures 60000	23,4647	11,8512	-	-

Tabela AIII-2 - Tratamento dados de falha e suspensos Embraiagens AC (gerado em Weibull++)

	Falhas/Suspensos	Falhas/Suspensos 2014	Falhas/Suspensos 2015	Falhas/Suspensos 2016
MTTF	279050	224729	282526	193511
B10 Life	61495	77263	15659	67245
B5 Life	36798	47838	5022	52974
B2 Life	18930	25383	1117	40501
R(60000)	0,9032	0,9306	0,7732	0,9271
<i>Expected Failures 60000</i>	9,6776	6,9375	22,6777	7,2809

Devido ao reduzido número de dados de falha, não foi possível obter os parâmetros pretendidos para os anos de 2015 e 2016 através da ferramenta de cálculo. Mais uma vez, incluindo os dados suspensos, a fiabilidade do componente melhora, mas o reduzido número de dados de falha faz com que esta correção não seja precisa e pode não corresponder à realidade.

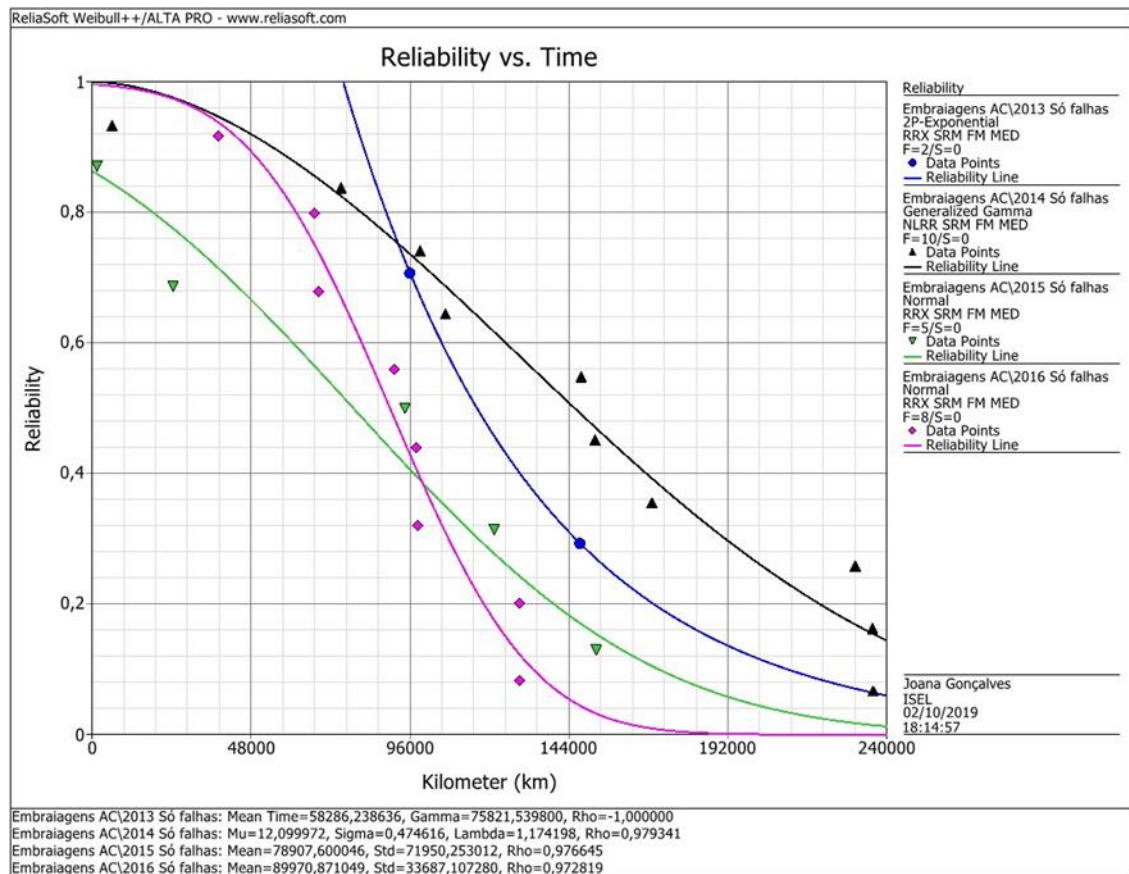


Figura AIII-3 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Só falhas Embraiagens AC (gerado em Weibull++)

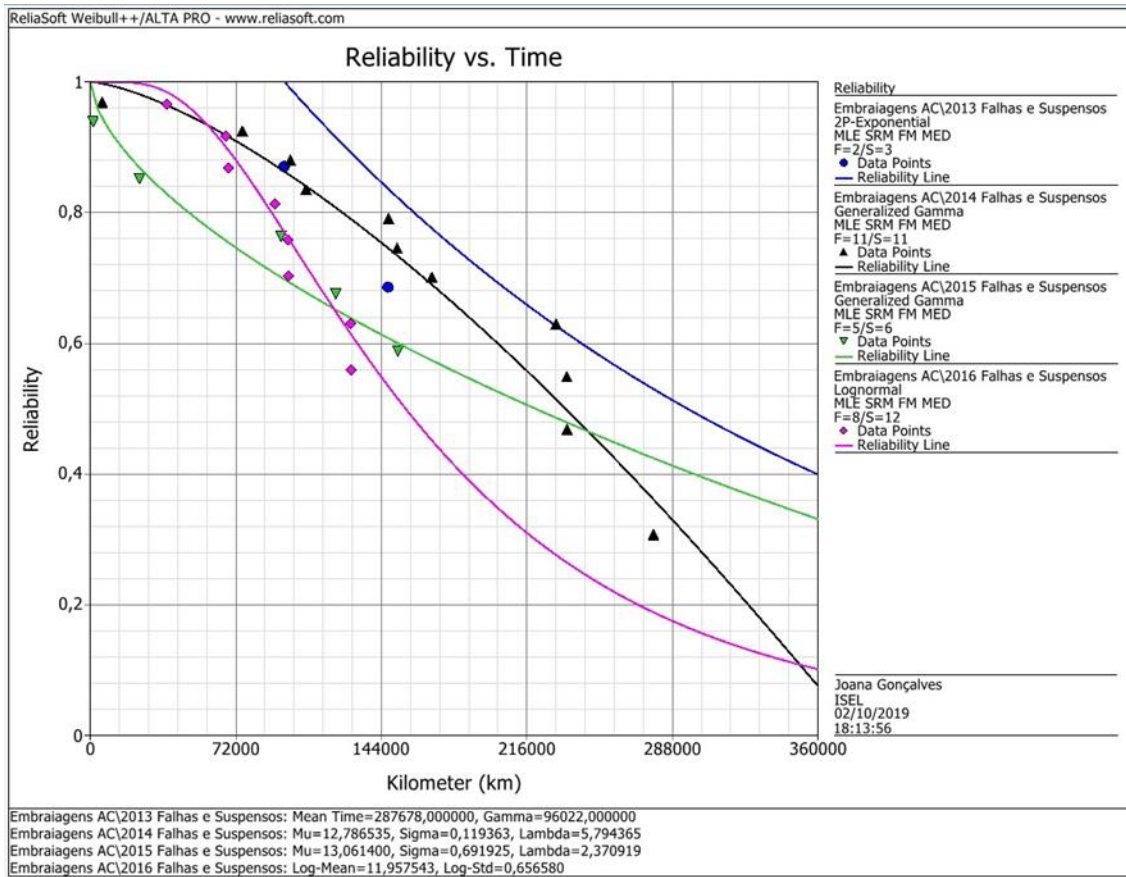


Figura AIII-4 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida de Embraiagens AC (gerado em Weibull++)

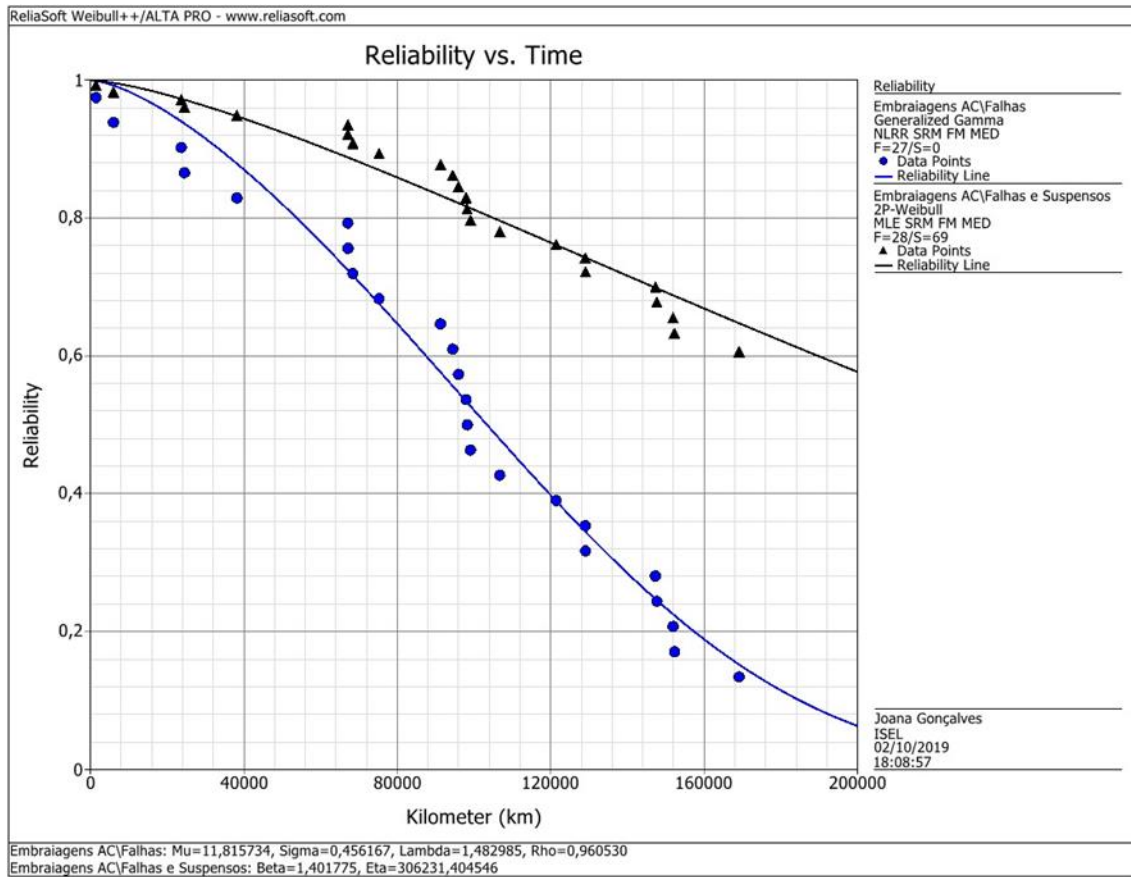


Figura AIII-5 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Comparação Falhas e Falhas+Suspensos Embraiagens AC (gerado em Weibull++)

As imagens acima remetem mais uma vez para a falta de precisão que o número reduzido de dados provoca.

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo IV – Tratamento de dados de falha e suspensos de Pastilhas de Travão de um Segmento

Foram também determinadas as distâncias percorridas entre substituições de pastilhas de travão. Uma das dificuldades sentidas na determinação das distâncias percorridas deste componente, foi que nem sempre foi possível determinar se a substituição foi feita no eixo dianteiro, traseiro, ou em ambos. Apenas os dados para os quais foi possível determinar o eixo da substituição foram incluídos na análise. O Segmento para o qual as substituições deste componente foram analisadas é da tipologia *standard*, com dois eixos.

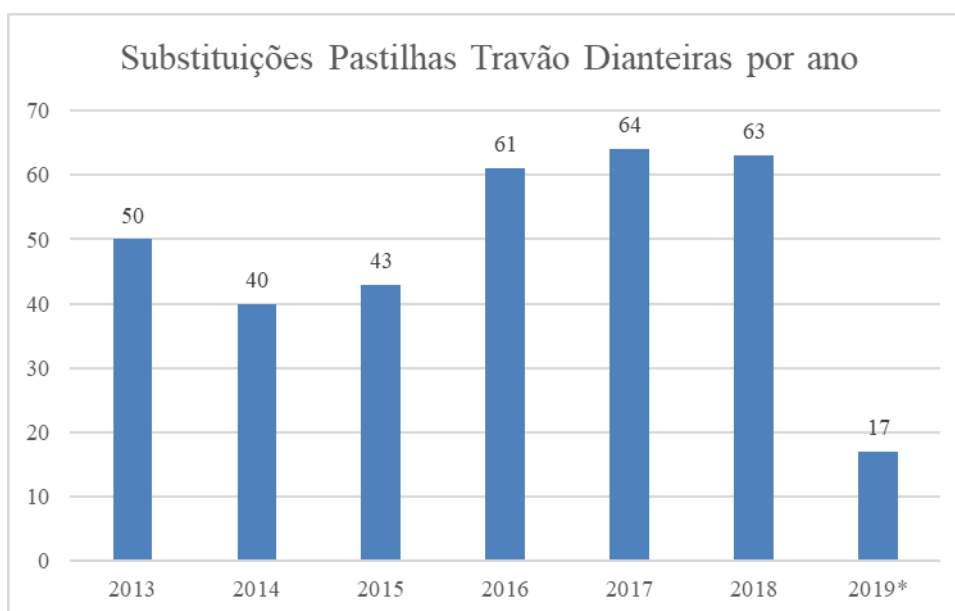


Figura AIV-1 – Substituições anuais de Pastilhas de Travão Dianteiras

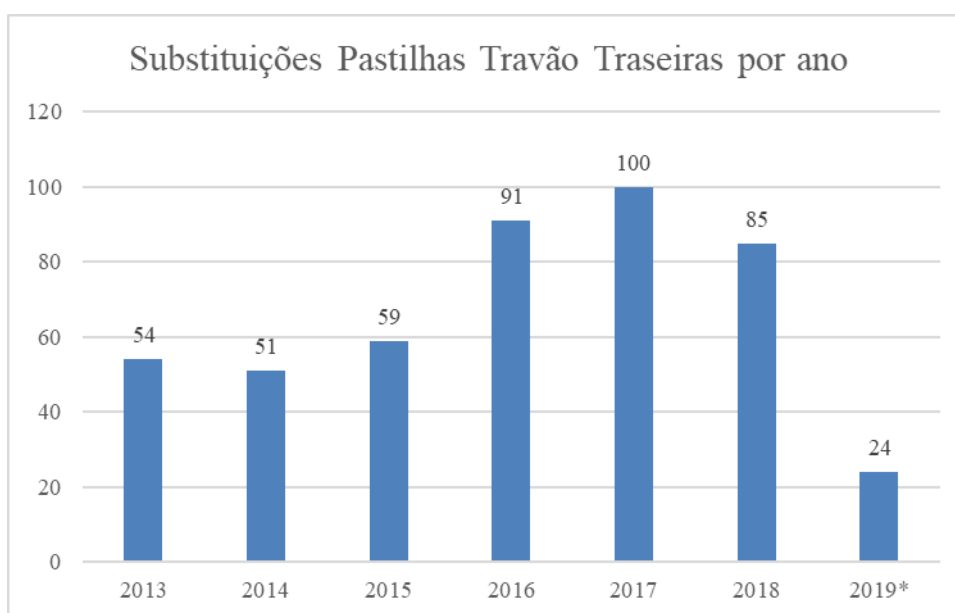


Figura AIV-2 – Substituições anuais de Pastilhas de Travão Traseiras

É notável que as substituições de pastilhas de travão são mais frequentes no eixo traseiro do que no eixo dianteiro, o que tem lógica, pois o eixo traseiro está sujeito a mais peso.

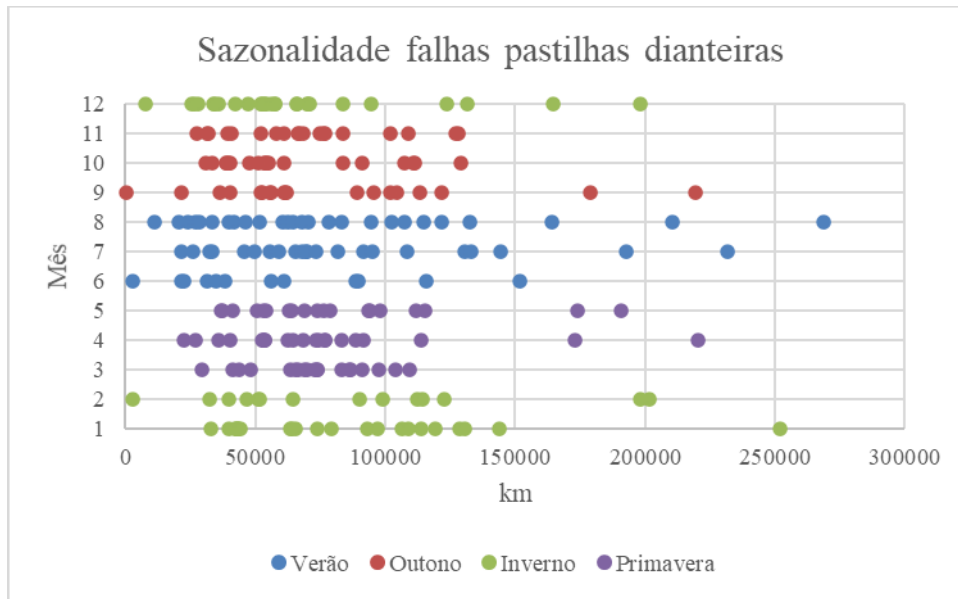


Figura AIV-3 - Sazonalidade falhas pastilhas dianteiras

Em relação à sazonalidade, nos meses de inverno as falhas concentram-se mais em distâncias percorridas mais baixas, havendo nos meses mais quentes algumas falhas a distâncias percorridas mais elevadas.

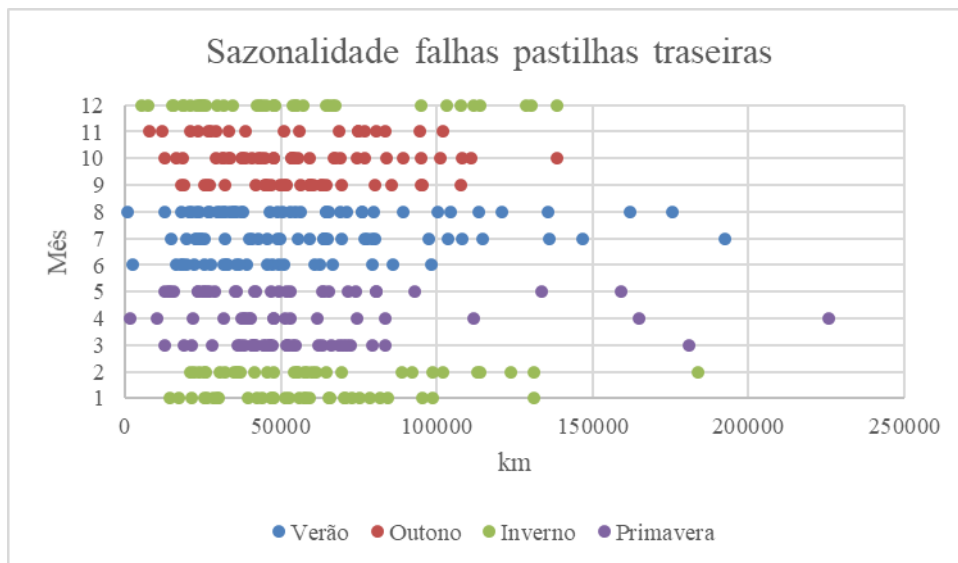


Figura AIV-4 - Sazonalidade falhas pastilhas traseiras

Também as pastilhas do eixo traseiro tendem a falhar para distâncias percorridas mais elevadas nos meses da primavera e do verão. Nota-se também que, de uma maneira geral, as pastilhas do eixo

traseiro são substituídas usualmente para distâncias percorridas mais baixas quando comparadas com as pastilhas do eixo dianteiro.

Tabela AIV-1 - Tratamento dados de falha pastilhas dianteiras (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas 2013	Falhas 2014	Falhas 2015	Falhas 2016	Falhas 2017	Falhas 2018
MTTF	74141	112904	107487	68976	60594	51006	32163
B10 Life	29644	49871	55551	35699	30594	23082	13164
B5 Life	22591	41510	45925	29604	25060	17302	7779
B2 Life	16225	33850	36617	23717	19735	11927	1717
R(60000)	0,5771	0,8211	0,8705	0,5695	0,4520	0,3280	0,0302
Expected Failures 60000	42,2879	17,8833	12,9464	43,0473	54,7990	67,1986	96,979

Tabela AIV-2 - Tratamento dados de falhas e suspensos pastilhas dianteiras (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas/Susp. 2014	Falhas/Susp. 2015	Falhas/Susp. 2016	Falhas/Susp. 2017	Falhas/susp. 2018
MTTF	95124	113806	80744	71002	86928	80624
B10 Life	32377	58282	35468	30083	27360	24382
B5 Life	24410	48176	28275	23786	20298	14875
B2 Life	17062	37842	21213	17661	13901	7742
R(60000)	0,6376	0,8892	0,6139	0,5002	0,5577	0,6502
Expected Failures 60000	36,2341	11,0733	38,6030	49,98074	44,2234	34,9797

Tabela AIV-3 - Tratamento dados falha pastilhas traseiras (gerado em Weibull++)

	Falhas	Falhas 2013	Falhas 2014	Falhas 2015	Falhas 2016	Falhas 2017	Falhas 2018
MTTF	74141	92128	78577	62094	40053	42855	33404
B10 Life	29644	46041	32735	25224	15191	21164	15970
B5 Life	22591	41857	17145	19422	10912	17744	14654
B2 Life	16225	39074	-	14644	7151	14516	13836
R(60000)	0,5771	0,7257	0,7089	0,4708	0,1684	0,1702	0,0877
Expected Failures 60000	42,2879	27,4222	29,1023	52,9182	83,1534	82,97043	91,2247

Tabela AIV-4 - Tratamento dados falha e suspensos pastilhas traseiras (gerado em Weibull++)

	Falhas/Suspensos	Falhas/Suspensos 2016	Falhas/Suspensos 2017	Falhas/Suspensos 2018
MTTF	62285	49712	53525	55590
B10 Life	20529	15836	21428	23047
B5 Life	14713	11777	16730	17765
B2 Life	9752	8090	12223	12947
R(60000)	0,4403	0,2379	0,2868	0,3736
Expected Failures 60000	55,9695	76,2049	71,3158	62,63172

Exceccionalmente, incluir os dados suspensos reduziu a fiabilidade das pastilhas traseiras, mas na visão anual esta é superior em relação à análise apenas com os dados de falha. Verifica-se também que as pastilhas dianteiras tendem a durar mais que as pastilhas traseiras.

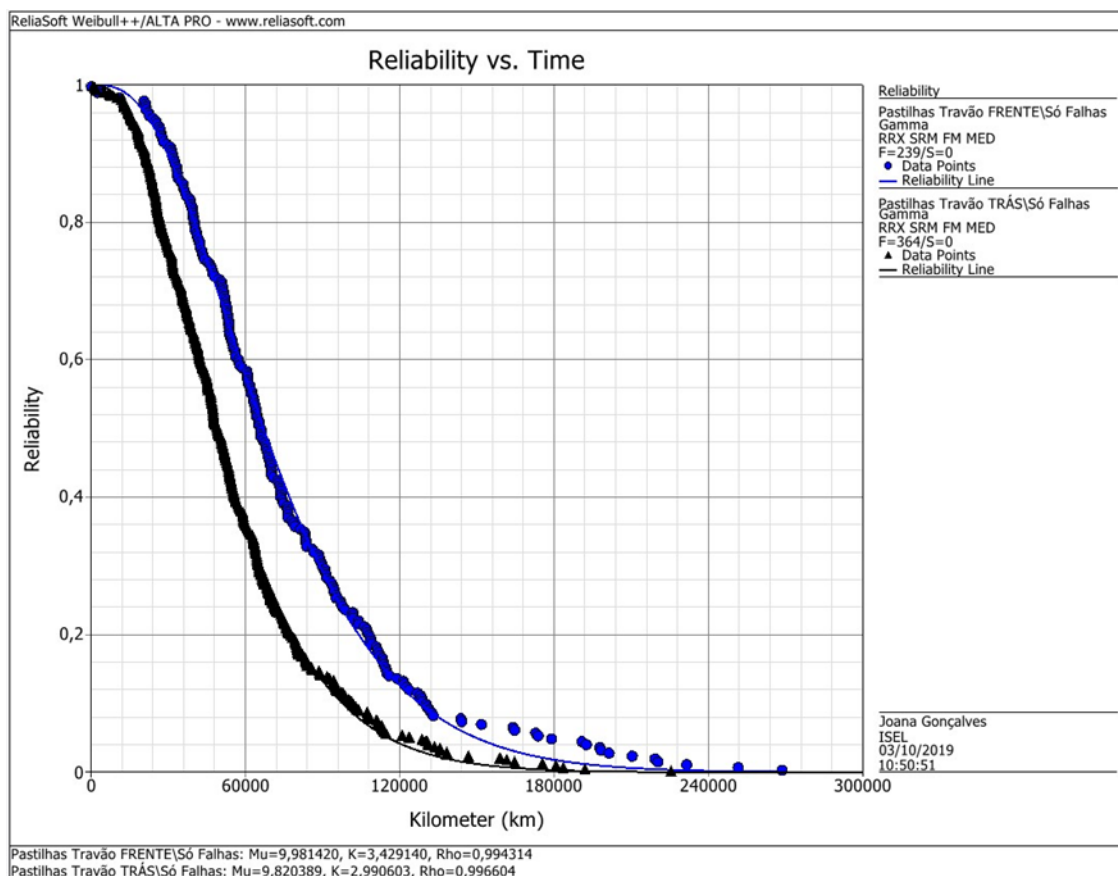


Figura AIV-5 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Comparação pastilhas dianteiras e traseiras - só falhas (gerado em Weibull++)

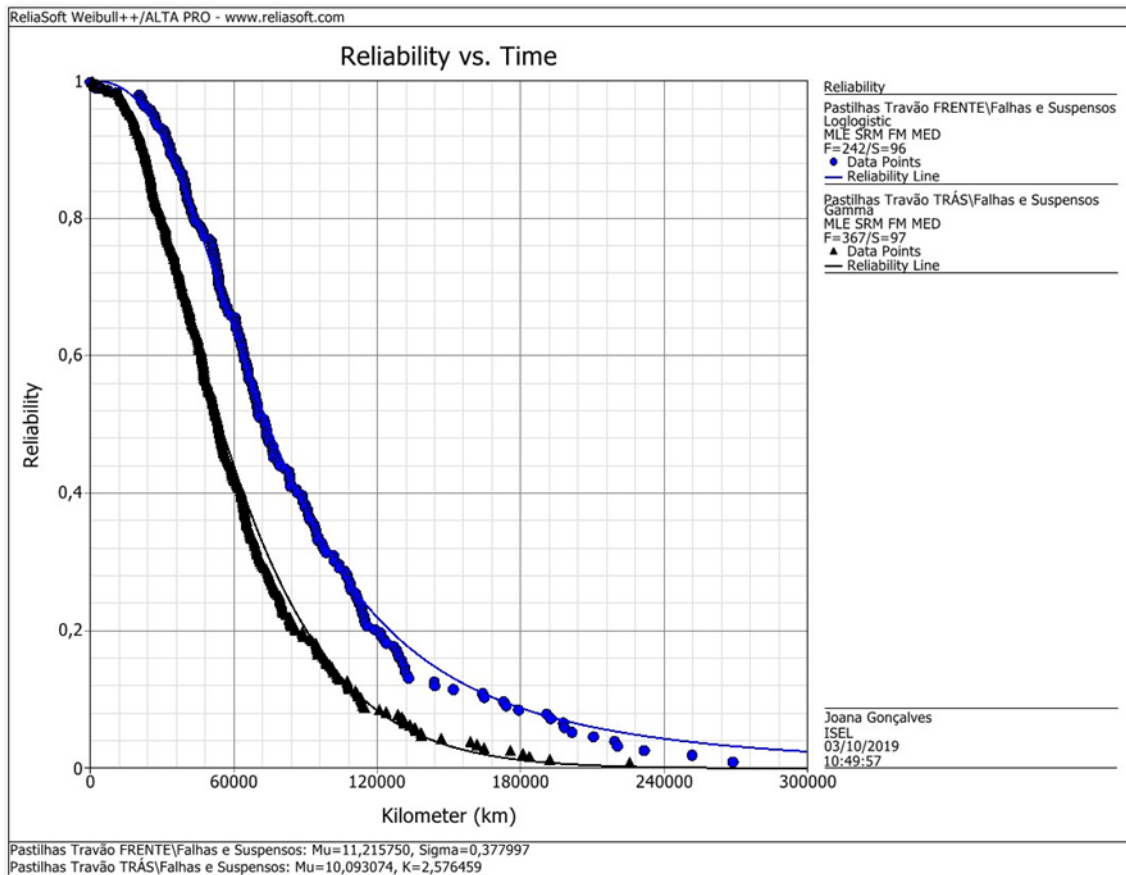


Figura AIV-6 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida - Comparação pastilhas dianteiras e traseiras (gerado em Weibull++)

Considerou-se pertinente comparar graficamente a fiabilidade das pastilhas dianteiras e as pastilhas traseiras e verifica-se que as pastilhas dianteiras duram mais que as pastilhas traseiras. Salienta-se novamente que a razão para isto se deve ao facto do eixo traseiro de um autocarro *standard* estar sujeito a mais peso. A análise com apenas dados de falha aproxima-se da análise com dados de falha e suspensos, devido ao número elevado de entradas que permite que esta aproximação aconteça com alguma precisão.

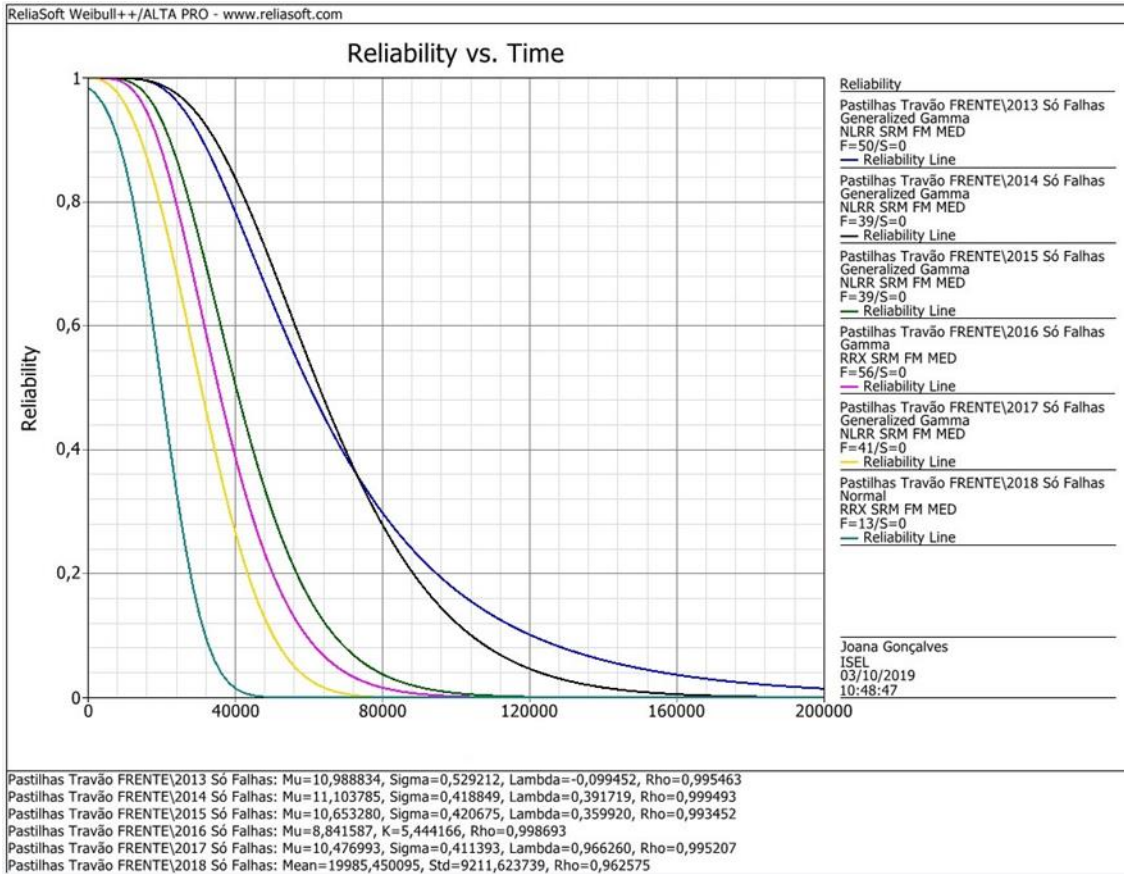


Figura AIV-7 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas dianteiras só falhas (gerado em Weibull++)

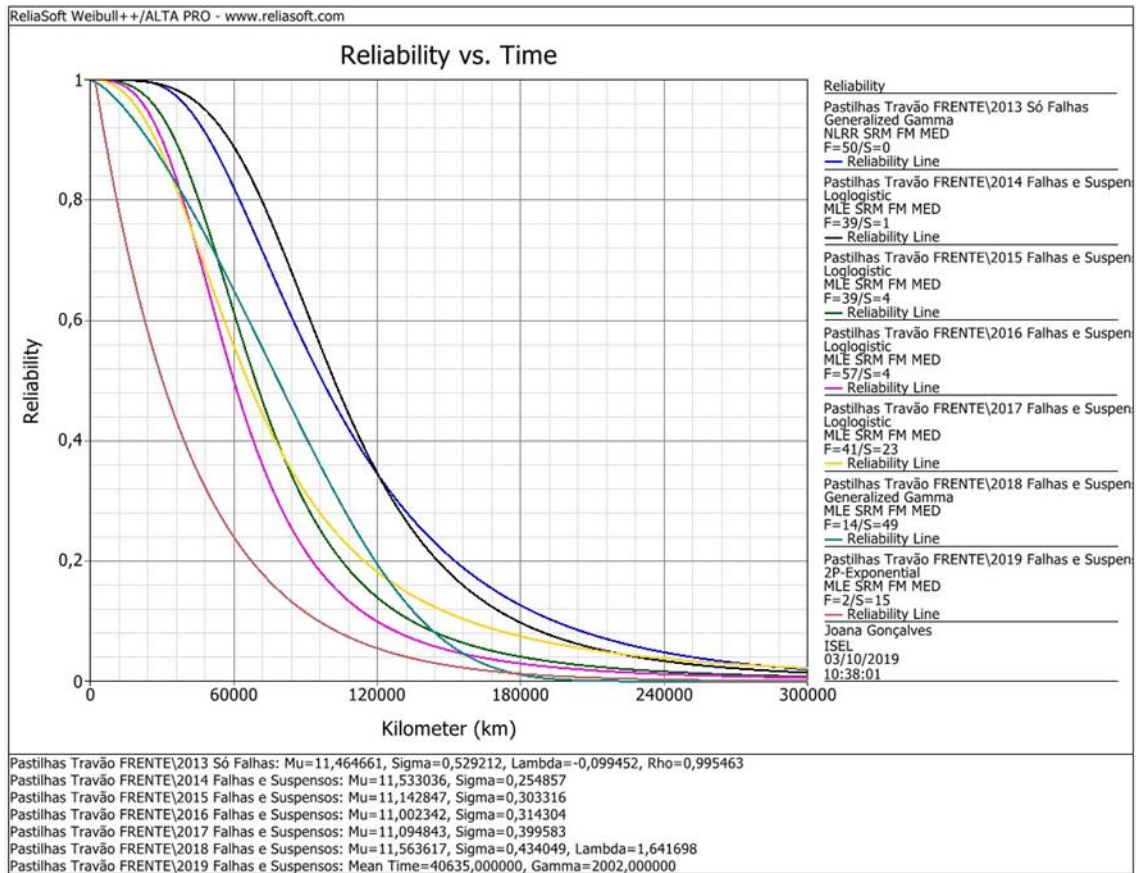


Figura AIV-8 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas dianteiras (gerado em Weibull++)

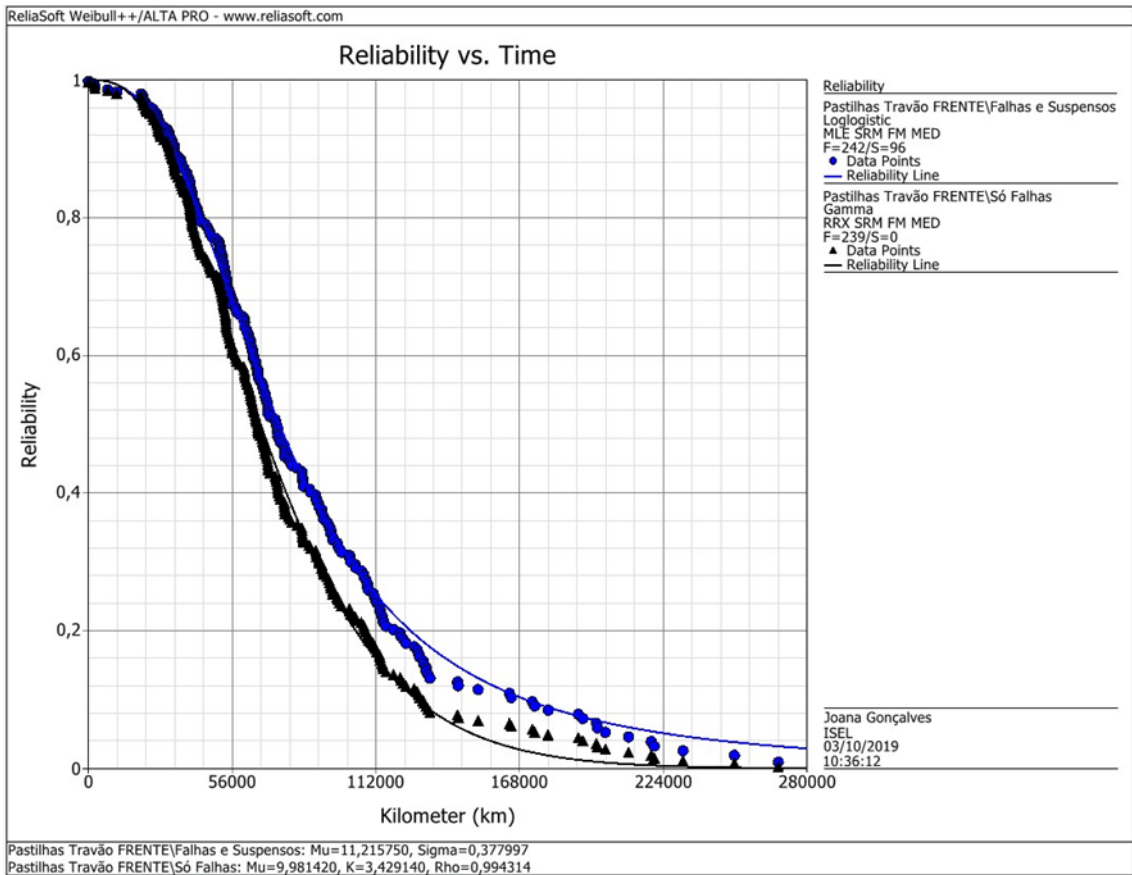


Figura AIV-9 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas dianteiras - Comparação falhas e falhas+suspensos (gerado em Weibull++)

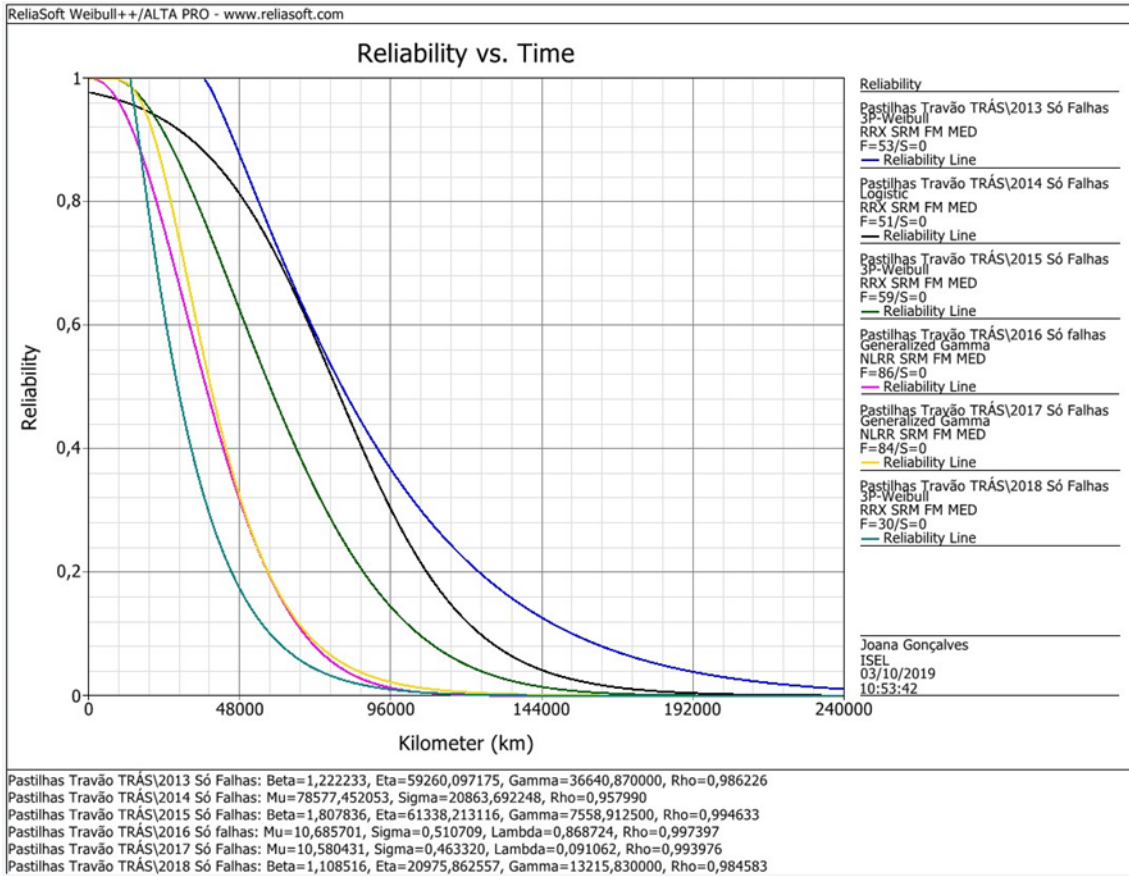


Figura AIV-10 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas traseiras - só falhas (gerado em Weibull++)

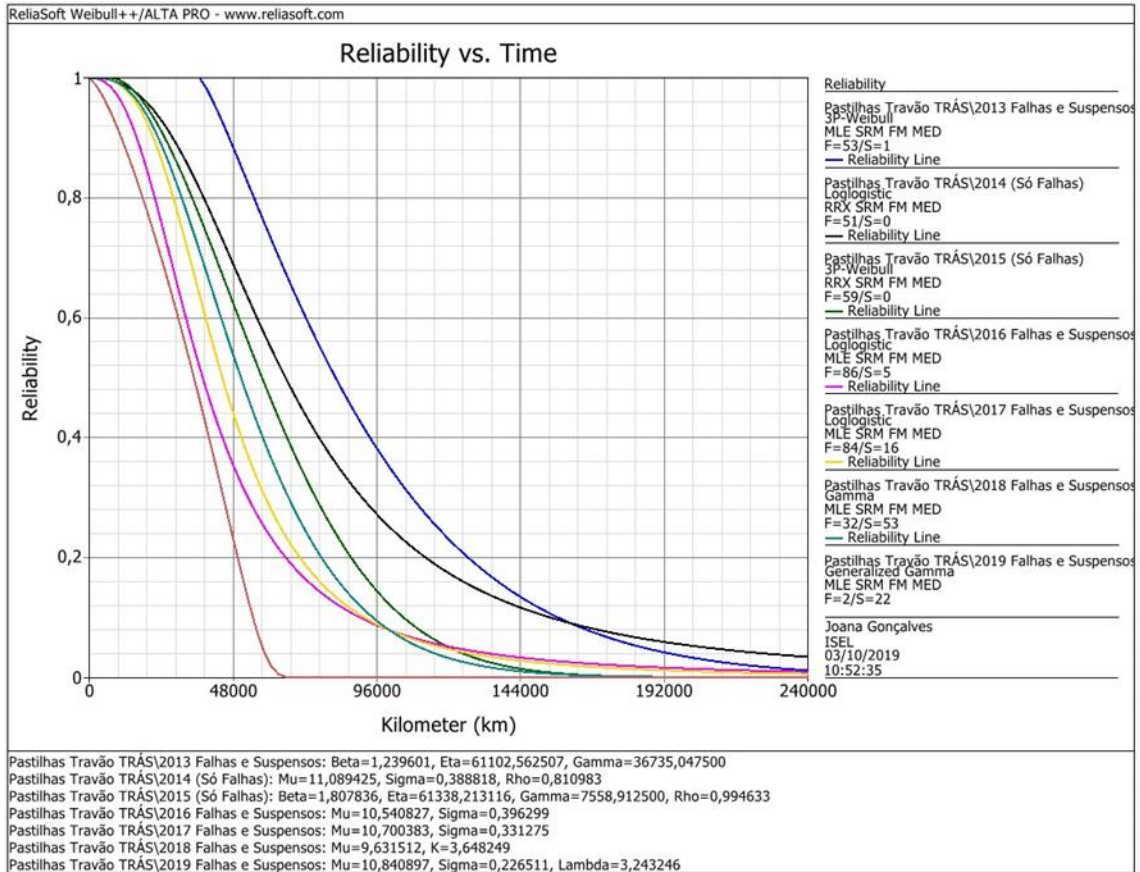


Figura AIV-11 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas traseiras (gerado em Weibull++)

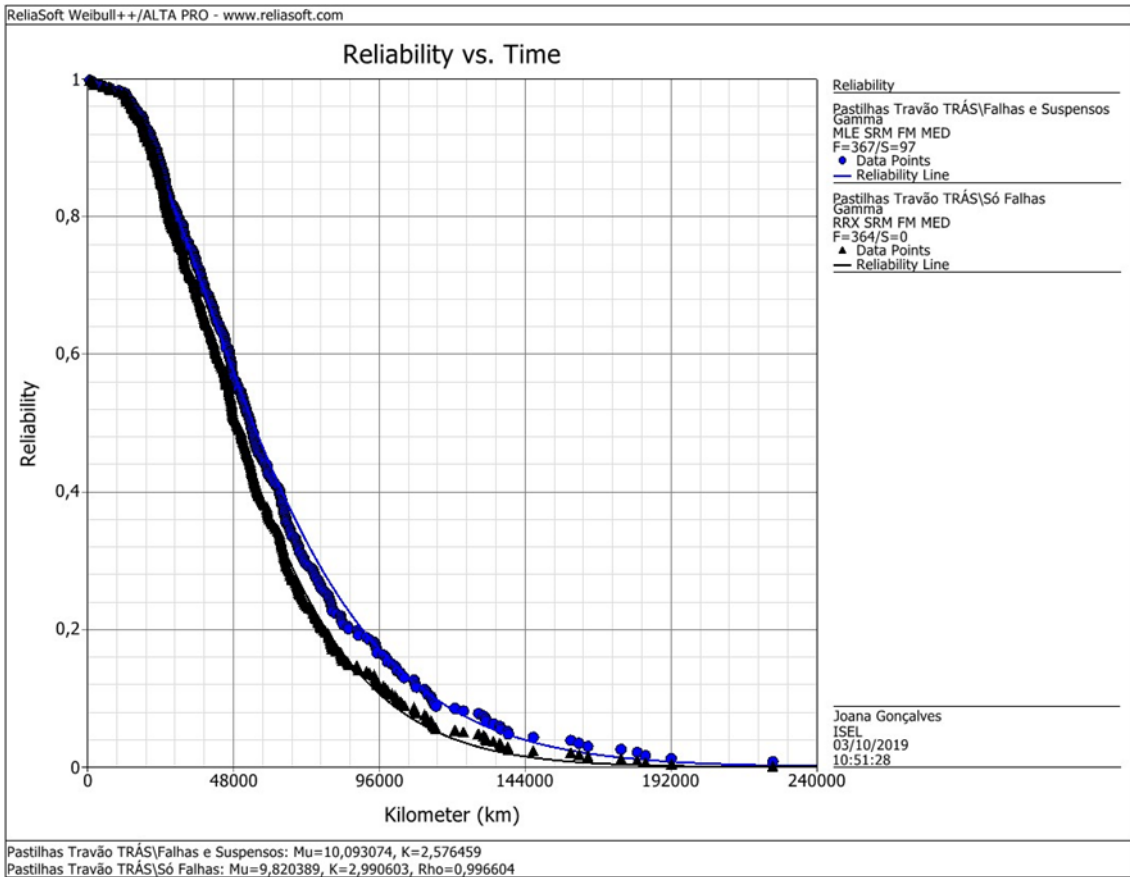


Figura AIV-12 - Fiabilidade vs. Distância Percorrida pastilhas traseiras - comparação falhas e falhas+suspensos (gerado em Weibull++)

Confirma-se mais uma vez que as pastilhas de travão do eixo dianteiro duram mais que as do eixo traseiro. Devido a uma maior substituição das pastilhas traseiras, foi possível obter mais entradas, fazendo com que as curvas da fiabilidade, dos dados de falha e dos dados de falha e suspensos, se aproximem.