



Instituto Nacional do Transporte Ferroviário

**Competitividade Ambiental  
dos Serviços Ferroviários de  
Alta Velocidade e de Média e  
Longa Distância**

# Índice

<b>1</b>	<b>Enquadramento .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objectivos.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>7</b>
3.1	Generalidades .....	7
3.2	Cadeia de transporte .....	9
3.3	Serviços de transporte considerados.....	9
3.4	Horizonte temporal .....	9
3.5	Indicadores considerados .....	10
3.5.1	<i>Capacidade de oferta.....</i>	<i>10</i>
3.5.2	<i>Taxa de ocupação.....</i>	<i>11</i>
3.5.3	<i>Factores de consumo.....</i>	<i>11</i>
3.5.4	<i>Factores de emissão .....</i>	<i>12</i>
<b>4</b>	<b>Quantificação da competitividade ambiental ferroviária .....</b>	<b>14</b>
4.1	Quantificação dos indicadores utilizados.....	14
4.1.1	<i>Capacidade dos veículos .....</i>	<i>14</i>
4.1.2	<i>Taxa de ocupação.....</i>	<i>14</i>
4.1.3	<i>Factores de consumo.....</i>	<i>14</i>
4.1.4	<i>Factores de emissão .....</i>	<i>15</i>

4.2	Resultados .....	18
4.2.1	<i>Consumo de energia</i> .....	18
4.2.2	<i>Emissão de CO<sub>2</sub></i> .....	25
4.2.3	<i>Emissão de CH<sub>4</sub></i> .....	32
4.2.4	<i>Emissão de N<sub>2</sub>O</i> .....	36
4.2.5	<i>Emissão de NO<sub>x</sub></i> .....	40
4.2.6	<i>Emissão de CO</i> .....	44
5	Conclusões .....	48
6	Bibliografia .....	51

## Índice de Tabelas

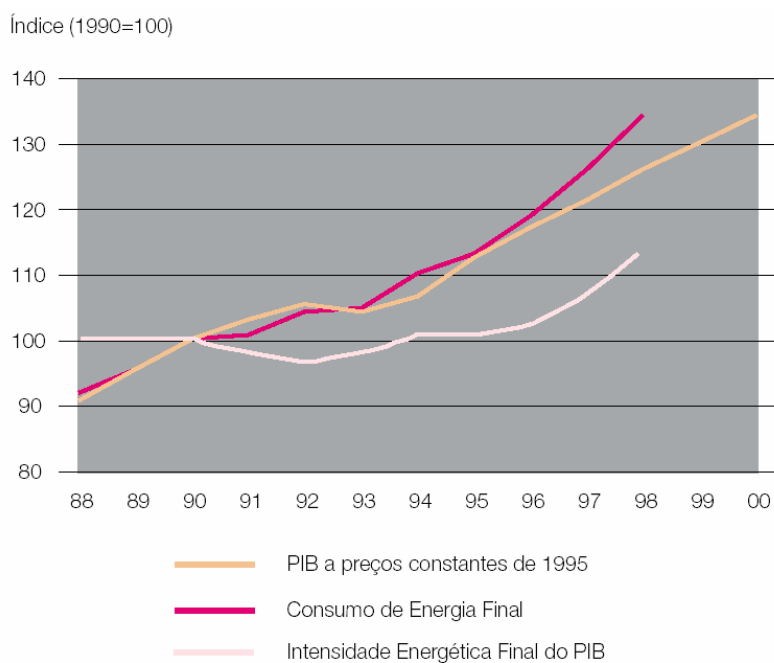
Tabela 1 – Capacidade dos veículos .....	14
Tabela 2 – Factores de consumo em unidades específicas do sistema de transporte .....	15
Tabela 3 – Factores de consumo em MJ/vkm .....	15
Tabela 4 - Factores de emissão de CO <sub>2</sub> .....	16
Tabela 5 - Factores de emissão de CH <sub>4</sub> .....	16
Tabela 6 - Factores de emissão de N <sub>2</sub> O .....	17
Tabela 7 - Factores de emissão de NO <sub>x</sub> .....	17
Tabela 8 - Factores de emissão de CO.....	17
Tabela 9 – Factores de consumo por lkm .....	18
Tabela 10 – Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2000).....	22
Tabela 11 – Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2010).....	23
Tabela 12 – Factores de emissão de CO <sub>2</sub> por lkm.....	25
Tabela 13 – Distância percorrida emitindo 1 kg CO <sub>2</sub> (ano 2000) .....	28
Tabela 14 – Distância percorrida emitindo 1 kg CO <sub>2</sub> (ano 2010) .....	30
Tabela 15 – Factores de emissão de CH <sub>4</sub> por lkm.....	32
Tabela 16 – Distância percorrida emitindo 1g CH <sub>4</sub> (ano 2000) .....	34
Tabela 17 – Factores de emissão de N <sub>2</sub> O por lkm .....	36
Tabela 18 – Distância percorrida emitindo 1g N <sub>2</sub> O (ano 2000).....	38
Tabela 19 – Factores de emissão de NO <sub>x</sub> por lkm .....	40
Tabela 20 – Distância percorrida emitindo 1g NO <sub>x</sub> (ano 2000).....	42
Tabela 21 – Factores de emissão de CO por lkm.....	44
Tabela 22 – Distância percorrida emitindo 1g CO (ano 2000) .....	46

## 1 Enquadramento

Os sectores energético e dos transportes são indispensáveis para o desenvolvimento económico e social de qualquer país industrializado. Essa relação de dependência traduz-se em fortes correlações entre o consumo de energia e o Produto Interno Bruto (PIB), bem como entre este e a procura de transporte.

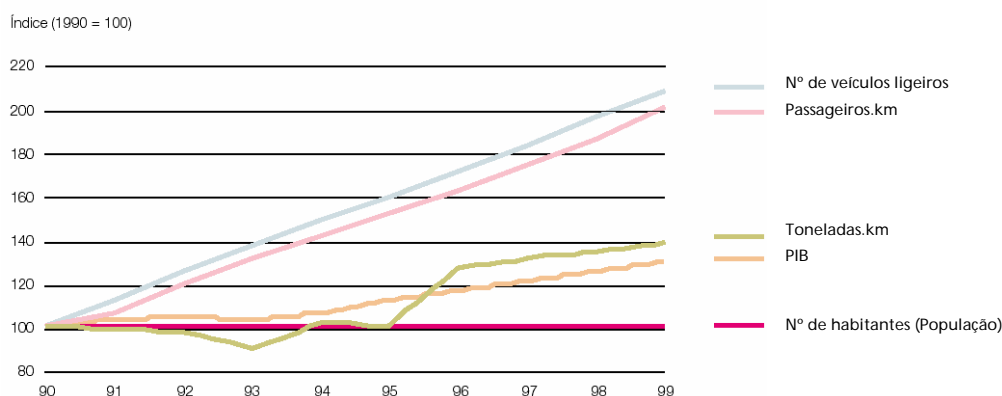
Nas Figura 1 e Figura 2 seguintes regista-se a relação existente entre essas variáveis ao longo dos últimos anos em Portugal.

**Figura 1 – Intensidade energética da economia portuguesa relativamente a 1988**



Fonte: DGA, 2000

**Figura 2 – Intensidade de transporte na economia portuguesa relativamente a 1990**



Fonte: DGA, 2000

O crescimento da procura de transporte verificado na última década fez com que, actualmente, este sector represente, a nível nacional, cerca de um terço da energia disponibilizada para consumo final.

Neste contexto, importa realçar que as formas tradicionais de produção, distribuição e consumo de energia são fortemente responsáveis pela degradação da qualidade do ambiente, essencialmente devido à sua dependência na utilização de combustíveis fósseis. Efectivamente, cerca de 85% das fontes de produção de energia primária em Portugal são de origem fóssil.

Pode mesmo afirmar-se que a principal pressão ambiental decorrente do consumo energético é a emissão de poluentes atmosféricos, que em concentrações elevadas apresentam efeitos negativos para a saúde humana, para o clima, para a qualidade do ar, para o património construído e para a preservação dos ecossistemas e da biodiversidade.

Estes poluentes são habitualmente divididos em três grandes categorias, os gases com efeito de estufa (GEE), as substâncias eutrofizantes e acidificantes e as substâncias precursoras do ozono troposférico.

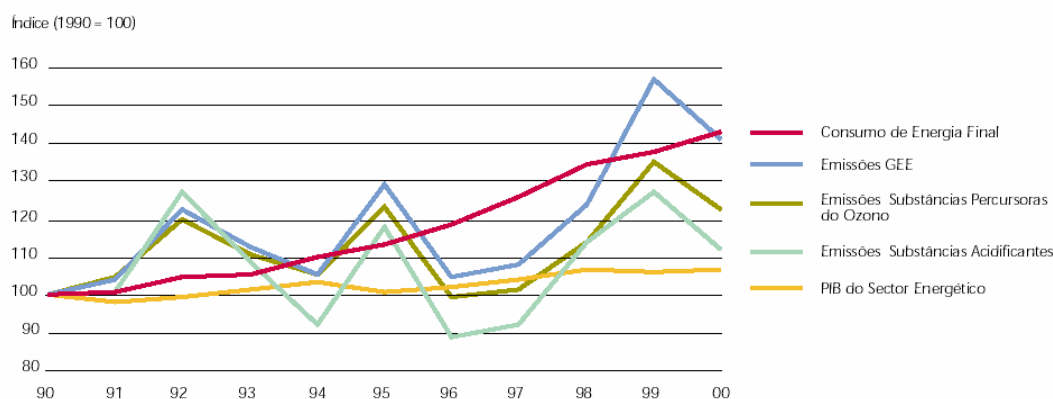
Os principais GEE associados à actividade humana são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os compostos halogenados (hidrofluorcarbonos - HFC, perfluorcarbonos - PFC e hexafluoreto de enxofre - SF<sub>6</sub>). O aumento das concentrações atmosféricas destes gases é actualmente reconhecido como um factor agravante das alterações que se têm vindo a registar ao nível do sistema climático global.

Os principais gases eutrofizantes e acidificantes decorrentes da actividade antropogénica são o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), o amoníaco (NH<sub>3</sub>) e as partículas (PM). Em concentrações elevadas estes gases podem não só causar danos directos na saúde humana e no património cultural construído, como também no ambiente, ao contribuir para a degradação dos ecossistemas e para a eutrofização e acidificação dos solos e da água.

As substâncias precursoras do ozono troposférico englobam gases poluentes como os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH<sub>4</sub>). O ozono pode induzir perturbações sobre a saúde humana, nomeadamente sobre o sistema respiratório, fazendo-se sentir a sua acção mesmo para concentrações baixas e para exposições de curta duração, afectando em particular grupos mais vulneráveis como crianças, idosos e pessoas com antecedentes de problemas pulmonares. Pode provocar, ainda, efeitos nocivos nas florestas, na vegetação e nas culturas (provocando manchas significativas nas folhas, reduções das taxas de crescimento e completa destruição de culturas mais sensíveis) e ser origem da degradação de muitos materiais tais como a borracha (redução da sua elasticidade), os metais (corrosão), os plásticos e tecidos (redução da sua resistência). (DGA, 1999)

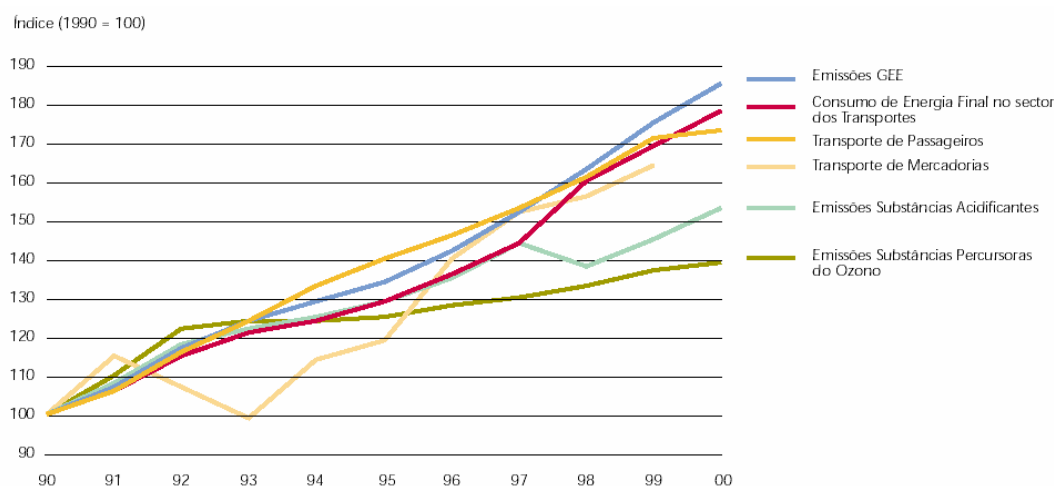
Nas Figura 3 e Figura 4 seguintes, apresentam-se indicadores de intensidade ambiental do sector energético e dos transportes.

**Figura 3 – Intensidade ambiental no sector energético relativamente a 1990**



Fonte: MCOTA, 2001

**Figura 4 – Intensidade ambiental no sector dos transportes relativamente a 1990**



Fonte: MCOTA, 2001

O sector dos transportes não tem a mesma importância no total de emissões de cada um dos gases acima identificados. Nos anexos 2 e 3 apresentam-se as principais fontes antropogénicas de emissão de cada um desses gases e a contribuição relativa dos diferentes sectores económicos em Portugal.

Conforme se poderá verificar pela análise das informações constante do anexo 3, o sector dos transportes, e em especial o modo rodoviário, é responsável por cerca de 30% do total de emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal, cerca de 60% do CO e 60% de NO<sub>x</sub>. Importa ainda salientar que o contributo relativo do sector dos transportes para o total de emissões de cada um destes poluentes apresenta uma tendência crescente no panorama nacional, razão pela qual este sector deve, porventura mais do que o industrial ou qualquer outro, ser alvo de intervenção urgente em matéria de eficiência energética.

Esta tendência crescente das emissões provenientes do sector dos transportes no total das emissões nacionais fica a dever-se não apenas ao maior crescimento do nível de actividade do sector dos transportes face ao PIB, em comparação com outros sectores económicos, mas também como resultado da crescente importância do transporte rodoviário individual nas deslocações de passageiros em Portugal.

Considerando os impactes ambientais negativos identificados, bem como as perspectivas de crescimento da necessidade de mobilidade, para minimizar as agressões ambientais da actividade de transporte, em termos de emissões de poluentes atmosféricos, é imperioso encontrar formas não só de alterar a estrutura de repartição modal da procura de passageiros, mas também de promover a eficiência energética de cada um dos diferentes serviços de transporte.

Estas e outras razões justificam que o Livro Branco, enquanto contributo para a evolução do debate sobre a Política Comum dos Transportes, expresse a necessidade de garantir a sustentabilidade do sector dos transportes. Nesse sentido, afirma ser fundamental a necessidade de desligar o crescimento da necessidade de mobilidade do PIB. Sugere ainda a mobilização de instrumentos relativos a outras políticas, em particular do ambiente, do ordenamento das actividades que se exercem sobre o território, da concorrência e da fiscalidade.

Efectivamente, não deve mais permitir-se que, tal como aconteceu na última década, o crescimento da procura de transporte anule os benefícios ambientais decorrentes do aumento de eficiência ambiental dos sectores dos transportes e energético.

## 2 Objectivos

O principal objectivo do presente projecto é comparar a competitividade ambiental de um conjunto de serviços ferroviários de alta velocidade e de média e longa distância sobre a rede convencional com a de outros modos de transporte concorrentes.

A competitividade dos serviços de transporte será medida através da pressão ambiental que representa o consumo de energia e a emissão dos seguintes poluentes: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> e CO.

Nesse sentido, apresentam-se indicadores de intensidade por veículo.quilómetro e por lugar.quilómetro, que permitem, face a diferentes taxas de ocupação arbitradas, determinar do ponto de vista ambiental e por passageiro.quilómetro, a posição competitiva de cada um dos serviços estudados.

## 3 Metodologia

### 3.1 Generalidades

A competitividade ambiental dos diferentes serviços de transporte será medida através da sua intensidade energética e atmosférica, sendo que estas permitem quantificar o consumo de energia de tracção e a emissão de poluentes atmosféricos por unidade de transporte (vkm<sup>1</sup>, lkm<sup>2</sup> e pkm<sup>3</sup>).

A metodologia proposta para medir a pressão ambiental associada ao consumo de energia e à emissão daqueles poluentes atmosféricos decorre da metodologia estabelecida na versão para consulta pública do Plano Nacional das Alterações Climáticas (PNAC) (CESUR, 2002).

Contudo, no presente caso optou-se por contabilizar no utilizador final (transportes) as emissões associadas ao ciclo de produção de energia. Assim sendo, os factores de emissão de um serviço de transporte (massa poluente por unidade de actividade) incorporam não apenas as emissões decorrentes da combustão de energia na tracção - no caso de motores térmicos - mas também as emissões associadas ao ciclo produtivo de cada forma de energia (extracção da energia primária, produção e distribuição de energia final).

Os factores de consumo energético e de emissão são calculados com base em informações contidas no PNAC, complementadas por outras dos operadores de transporte ferroviário e aéreo e do INE, no caso do transporte rodoviário.

Quanto às condições de utilização dos veículos, devido à fragilidade da informação que foi possível recolher nesta fase admitiram-se várias hipóteses relativas às taxas de ocupação de cada um dos tipos de veículos afectos aos serviços analisados.

Na Figura 5 abaixo, esquematiza-se a metodologia seguida no presente trabalho.

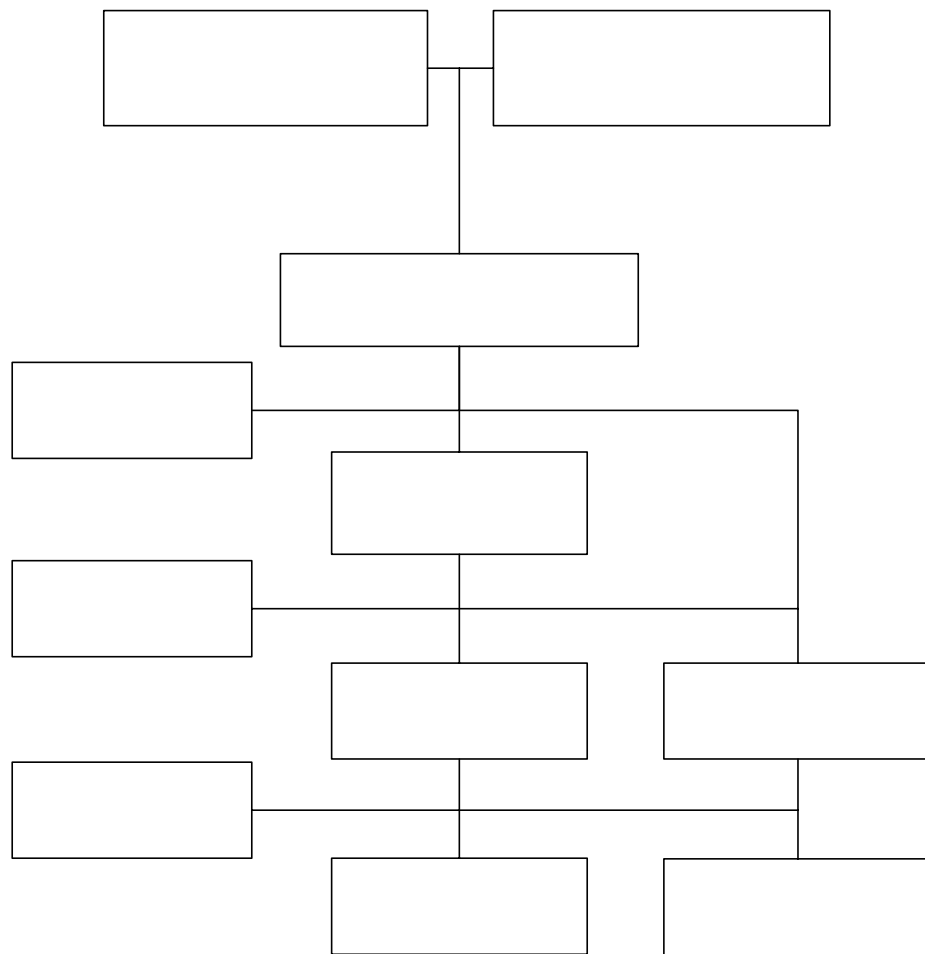
#### Figura 5 – Resumo da metodologia

---

<sup>1</sup> Veículo quilómetro oferecido: Unidade de medida correspondente ao movimento de um veículo motorizado, na distância de um quilómetro.

<sup>2</sup> Lugar quilómetro oferecido: Unidade de medida correspondente ao movimento de um lugar de um veículo motorizado, na distância de um quilómetro.

<sup>3</sup> Passageiro quilómetro transportado: Unidade de medida correspondente à deslocação de um passageiro num veículo, na distância de um quilómetro, quando esse veículo assegura o serviço a que se destina.



Factor de Er  
ombustão de  
(g/Joule)

Consumo específico  
(Joule/vkm)

### ***3.2 Cadeia de transporte***

Tal como referido, os serviços de transporte analisados referem-se ao transporte de passageiros de alta velocidade e de média e longa distância, de acordo com o conceito estabelecido para o sector ferroviário nos trabalhos em curso no âmbito do Esquema Director.

Nesta fase apenas se irá considerar a etapa correspondente ao transporte de média e longa distância propriamente dito, ignorando-se as pressões ambientais geradas nas etapas inicial e final em meio urbano.

### ***3.3 Serviços de transporte considerados***

Os serviços de transporte considerados, que se desagregam em função do sistema de tracção, são os seguintes:

- Transporte Ferroviário de Alta Velocidade, prestado com veículos com motor de propulsão eléctrica;
- Transporte Ferroviário Intercidades, prestado com veículos de propulsão eléctrica;
- Transporte Ferroviário Intercidades, prestado com veículos com motor diesel (combustão interna) de propulsão a gasóleo;
- Transporte aéreo, prestado com veículos com motor de explosão (combustão interna) de propulsão a Jetfuel;
- Transporte rodoviário colectivo, prestado com veículos com motor diesel (combustão interna) de propulsão a gasóleo;
- Transporte rodoviário individual, prestado com veículos com motor de explosão (combustão interna) de propulsão a gasolina;
- Transporte rodoviário individual, prestado com veículos com motor diesel (combustão interna) de propulsão a gasóleo.

Embora se preveja que em 2010 os serviços intercidades prestados com material circulante com motor diesel de propulsão a gasóleo deva ser residual, ou mesmo inexistente, este sistema de tracção foi aqui considerado no sentido de medir a competitividade dos diversos serviços de transporte no ano 2000.

### ***3.4 Horizonte temporal***

As informações recolhidas e analisadas referem-se ao ano 2000. Relativamente ao consumo energético e à emissão de CO<sub>2</sub>, efectuou-se ainda uma projecção para o ano 2010.

Com o objectivo de incorporar os efeitos das medidas e acções no sector dos transportes e no sector energético, relativamente ao ano 2010, recorreu-se aos dados constantes do cenário de referência do PNAC (CESUR, 2002).

### **3.5 Indicadores considerados**

#### **3.5.1 Capacidade de oferta**

O número de lugares disponíveis (capacidade de oferta) em cada serviço de transporte corresponde ao número de lugares de um veículo que poderia servir de suporte à prestação desse serviço.

No caso do serviço de transporte ferroviário de alta velocidade consideraram-se as composições que efectuam o serviço TGV Atlantique, que apresentam uma capacidade para 400 passageiros.

No caso do serviço de transporte intercity (IC) prestado com veículos de propulsão eléctrica, consideraram-se os comboios que efectuam a ligação entre Lisboa e Porto, constituídos por uma unidade automotora eléctrica de pendulação activa da série 4000 (CPAE 4000), cuja formação base é composta por um conjunto de 6 veículos que apresentam uma capacidade para 301 passageiros.

No caso do serviço ferroviário intercity (IC) prestado com veículos com motor diesel de propulsão a gasóleo, consideraram-se os comboios que efectuam as ligações entre Lisboa e Faro e entre Lisboa e Castelo Branco. A formação base destes comboios é constituída por uma locomotiva 1930<sup>4</sup> (LD 1930) e por uma composição de 3 carruagens de 2ª classe e 1 carruagem de 1ª classe com bar, o que totaliza uma capacidade para 274 passageiros. Por ser esta a base da formação dos comboios nas ligações referidas e por não haver actualmente qualquer ligação intercity nacional de passageiros cuja tracção seja feita por uma unidade automotora diesel, este tipo de composição não foi considerado no presente estudo.

No caso do transporte aéreo considerou-se como referência o avião da Portugalia Fokker 100, que efectua mais de 50% dos voos entre Lisboa e Porto. Este aparelho apresenta uma capacidade para 94 passageiros.

No caso do transporte rodoviário colectivo considerou-se um veículo tipo expresso de alta qualidade com uma capacidade para 55 passageiros.

---

<sup>4</sup> No caso da ligação entre Lisboa - Castelo Branco apenas acontece no troço entre Entroncamento e Castelo Branco.

No caso do transporte rodoviário individual considerou-se um veículo com uma capacidade para 5 passageiros.

### *3.5.2 Taxa de ocupação*

As taxas de ocupação dos diversos serviços de transporte foram arbitradas, tendo-se posteriormente determinado as pressões ambientais resultantes.

Adicionalmente, para cada uma das pressões ambientais, calculou-se a diferença percentual necessária entre as taxas de ocupação dos serviços ferroviários e rodoviário colectivo para que as pressões ambientais se equivalessem.

### *3.5.3 Factores de consumo*

Os factores de consumo energético considerados referem-se a valores médios, desagregados por serviços de transporte e sistemas de tracção, e resultam das características médias do conjunto de veículos que constituem cada uma das frotas, em cada um dos anos em análise.

Assim sendo, nos serviços rodoviários, ainda que influencie o factor de consumo, não se desagrega este indicador em função de parâmetros como o 'método de preparação da turbina' (carburador, injeção directa ou indirecta) ou o 'volume da câmara de combustão' (cilindrada).

O factor de consumo do transporte rodoviário colectivo e individual é o constante do PNAC (CESUR, 2002).

No caso do transporte rodoviário individual, para representação gráfica dos factores de consumo por passageiro.km, em função da taxa de ocupação, considerou-se que a frota é constituída por 50% de veículos com motor diesel de propulsão a gasóleo e 50% de veículos com motor de explosão de propulsão a gasolina.

Relativamente aos serviços ferroviários prestados sobre a rede convencional considerou-se o factor de consumo fornecido pelo operador, C.P., E.P. (Anexo 1) e que corresponde aos indicadores de consumo recolhidos pela Unidade de Material e Tracção (UMAT) para o ano 2000, relativamente a diversos tipos de material motor.

Relativamente ao serviço ferroviário de alta velocidade, por não haver valores de referência em Portugal, consideraram-se valores da bibliografia internacional respeitantes ao TGV Atlantique (Sorenson, 1997).

Finalmente no que respeita ao transporte aéreo considerou-se o factor de consumo constante do PNAC (CESUR, 2002), de acordo com os dados fornecidos pelo operador Portugalia, S.A. em relação ao Fokker 100.

A unidade de medida para comparação dos factores de consumo dos diferentes serviços de transporte é o quantitativo energético expresso em termos do seu poder calorífico (Joule) por quilómetro (km) percorrido por um veículo (J/vkm).

Neste contexto importa salientar que, no modo aéreo, para quantificação deste indicador foi necessário somar as duas componentes que afectam o consumo dos aviões numa ligação: descolagem e aterragem (LTO<sup>5</sup>); e percurso em cruzeiro (cruise). Ao contrário do que acontece nos transportes terrestres, face ao peso do consumo da componente fixa LTO, o consumo marginal de um quilómetro adicional não corresponde ao consumo médio por quilómetro percorrido. Adicionalmente, e porque o serviço de transporte aéreo não é prestado sobre uma infra-estrutura fixa, para determinar o consumo por quilómetro, para cada ligação, é necessário assumir uma extensão de voo.

#### *3.5.4 Factores de emissão*

Os factores de emissão considerados respeitam a valores médios de cada uma das tecnologias de tracção, conforme as características dos combustíveis publicadas pela DGE e a informação constante do cenário de referência do PNAC (CESUR, 2002), no caso do CO<sub>2</sub>, e do IPCC nos restantes casos.

No caso dos motores de explosão, os factores de emissão apresentados agregam as emissões associadas à extracção, produção e transporte de energia e as decorrentes da combustão da energia na tracção.

Como é sabido, as emissões associadas ao consumo de energia dos motores sem combustão interna (eléctricos) são apenas as que estão associadas ao sector energético, uma vez que não se registam emissões no processo de tracção.

Os factores de emissão por veículo.km podem assim variar, em função da eficiência do sector energético, da evolução tecnológica do sector automóvel e da indústria ferroviária e aeronáutica, bem como da composição média da frota de cada um dos serviços de transporte.

---

<sup>5</sup> Deriva do inglês: land and take-off.

Para igual factor de emissão por veículo.km, a emissão por lugar.km e por passageiro.km, pode variar em função da capacidade do veículo e da sua taxa de ocupação.

Tal como na determinação dos factores de consumo, no caso do transporte rodoviário individual, para representar graficamente os factores de emissão por passageiro.km, em função da taxa de ocupação, considerou-se que a frota é constituída por 50% de veículos com motor diesel de propulsão a gasóleo e 50% de veículos com motor de explosão de propulsão a gasolina.

A unidade de medida para comparação dos factores de emissão dos diferentes serviços de transporte é o quantitativo de emissões expresso em peso (g) por quilómetro (km) percorrido por um veículo (g/vkm).

## 4 Quantificação da competitividade ambiental ferroviária

### 4.1 Quantificação dos indicadores utilizados

#### 4.1.1 Capacidade dos veículos

O número médio de lugares por veículo considerado em cada um dos serviços de transporte foi o que se apresenta na Tabela 1 seguinte:

Tabela 1 – Capacidade dos veículos

SERVIÇO DE TRANSPORTE	CAPACIDADE
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	400
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	301
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	274
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	94
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	55
Automóvel (Gasóleo/Gasolina)	5

#### 4.1.2 Taxa de ocupação

As taxas de ocupação arbitradas para o transporte rodoviário colectivo foram de 40%, 50%, 60% e 70%. Para o transporte aéreo, as taxas de ocupação admitidas foram de 60% e 70%. Para o transporte ferroviário atribuíram-se valores de taxa de ocupação até aos 100%, com intervalos regulares de 5%.

No caso do transporte individual, as taxas de ocupação admitidas correspondem a 1; 1,5; 1,7; 1,8; e 3 passageiros por veículo.

#### 4.1.3 Factores de consumo

Os factores de consumo dos veículos de transporte ferroviário que operam na rede convencional são iguais no horizonte temporal considerado, uma vez que não se conhece qualquer estimativa relativa à melhoria da sua eficiência energética para o ano de 2010. No caso do serviço IC de propulsão eléctrica, o factor de consumo integra a redução de consumo decorrente da recuperação de energia na frenagem.

Tabela 2 – Factores de consumo em unidades específicas do modo de transporte

SERVIÇO DE TRANSPORTE	Unid.	2000	2010
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	kWh/km	-	21,4
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	kWh/km	11,0	11,0
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	l/km	4,4	4,4
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	l/voo <sup>6</sup>	1529,4	1529,4
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	l/100km	32,0	31,0
Automóvel Gasolina	l/100km	8,2	7,2
Automóvel Gasóleo	l/100km	7,2	6,8

Fonte: CESUR, 2002; Sorenson, 1997; CP (2000).

A variação dos valores do factor de consumo no modo rodoviário resulta da renovação da frota do parque automóvel que incorpora ao longo do tempo veículos com uma crescente eficiência energética, nomeadamente em resultado dos acordos estabelecidos pela indústria automóvel.

Tabela 3 – Factores de consumo em MJ/vkm

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000	2010
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	-	77,0
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	39,6	39,6
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	156,3	156,3
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	170,0 <sup>7</sup>	170,0
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	11,4	11,0
Automóvel Gasolina	2,7	2,4
Automóvel Gasóleo	2,6	2,4

Fonte: Cálculos próprios, com base em factores de conversão fornecidos pela DGE.

Os factores de consumo do avião Fokker 100, são iguais em todo o horizonte temporal considerado, uma vez que não existe informação desagregada para cada um dos anos em análise.

#### 4.1.4 Factores de emissão

Os factores de emissão considerados e que se apresentam nas tabelas seguintes, respeitam à emissão de poluentes desde a extracção da energia primária até à combustão de energia final (de tracção) nos veículos com motor térmico.

Importa no entanto salientar que o impacte ambiental associado à emissão de alguns poluentes não tem a mesma importância caso ocorra em fontes localizada durante os processos de transformação e produção de energia, ou no caso de acontecer de forma

<sup>6</sup> Voo doméstico (LTO: 449kg; Cruise: 695 kg).

<sup>7</sup> Considerou-se um voo doméstico com uma extensão de 300 km.

difusa durante os processos de combustão da energia de tracção nos veículos com motor térmico.

Tabela 4 - Factores de emissão de CO<sub>2</sub>

ENERGIA DE TRACÇÃO	2000	2010
Electricidade (gCO <sub>2</sub> /GJ)	147,4	127,0
JetFuel (kgCO <sub>2</sub> /voo)	4 529,0	4 529,0
Gasolina (gCO <sub>2</sub> /GJ)	75,3	75,3
Gasóleo (gCO <sub>2</sub> /GJ)	76,9	76,9

Fonte: CESUR, 2002

Tabela 5 - Factores de emissão de CH<sub>4</sub>

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico - AV e IC (gCH <sub>4</sub> /GJ)	0,359
Comboio Gasóleo - IC (gCH <sub>4</sub> /GJ)	0,004
Avião JetFuel (kgCH <sub>4</sub> /voo)	0,200
Autocarro Gasóleo (gCH <sub>4</sub> /GJ)	0,006
Automóvel Gasolina (gCH <sub>4</sub> /GJ)	0,003
Automóvel Gasóleo (gCH <sub>4</sub> /GJ)	0,002

Fonte: IPCC, 1996

A Tabela 5 anterior apresenta um valor de emissão de CH<sub>4</sub> por Gjoule de electricidade relativamente elevado, o que segundo Van Mierlo (2002) se deve em grande parte à contribuição das centrais a carvão na produção de energia eléctrica.

Segundo ERSE (2000) também as incertezas associadas à determinação deste valor são elevadas, sendo certo que as centrais de ciclo combinado e a introdução de algumas<sup>8</sup> fontes renováveis de energia na produção de electricidade poderão reduzir significativamente os factores de emissão deste poluente. O estudo publicado pela ERSE (2000) apresenta estimativas para 2010 que revelam isso mesmo.

<sup>8</sup> Exclui-se a biomassa devido à emissão de CH<sub>4</sub> nos processos de produção agrícola.

Tabela 6 - Factores de emissão de N<sub>2</sub>O

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico - AV e IC (gN <sub>2</sub> O/GJ)	0,0028
Comboio Gasóleo - IC (gN <sub>2</sub> O/GJ)	0,0300
Avião JetFuel (kgN <sub>2</sub> O/voo)	0,2000
Autocarro Gasóleo (gN <sub>2</sub> O/GJ)	0,0030
Automóvel Gasolina (gN <sub>2</sub> O/GJ)	0,0020
Automóvel Gasóleo (gN <sub>2</sub> O/GJ)	0,0040

Fonte: IPCC, 1996

Tabela 7 - Factores de emissão de NO<sub>x</sub>

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico - AV e IC (gNO <sub>x</sub> /GJ)	0,507
Comboio Gasóleo - IC (gNO <sub>x</sub> /GJ)	0,900
Avião JetFuel (kgNO <sub>x</sub> /voo)	10,800
Autocarro Gasóleo (gNO <sub>x</sub> /GJ)	1,000
Automóvel Gasolina (gNO <sub>x</sub> /GJ)	0,800
Automóvel Gasóleo (gNO <sub>x</sub> /GJ)	0,300

Fonte: IPCC, 1996

Tabela 8 - Factores de emissão de CO

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico - AV e IC (gCO/GJ)	0,034
Comboio Gasóleo (gCO/GJ)	0,250
JetFuel (kgCO/voo)	17,900
Autocarro Gasóleo (gCO/GJ)	0,900
Automóvel Gasolina (gCO/GJ)	6,900
Automóvel Gasóleo (gCO/GJ)	0,300

Fonte: IPCC, 1996

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Consumo de energia

A Tabela 9 mostra os factores de consumo por lkm para os anos 2000 e 2010, dos diferentes serviços de transporte considerados.

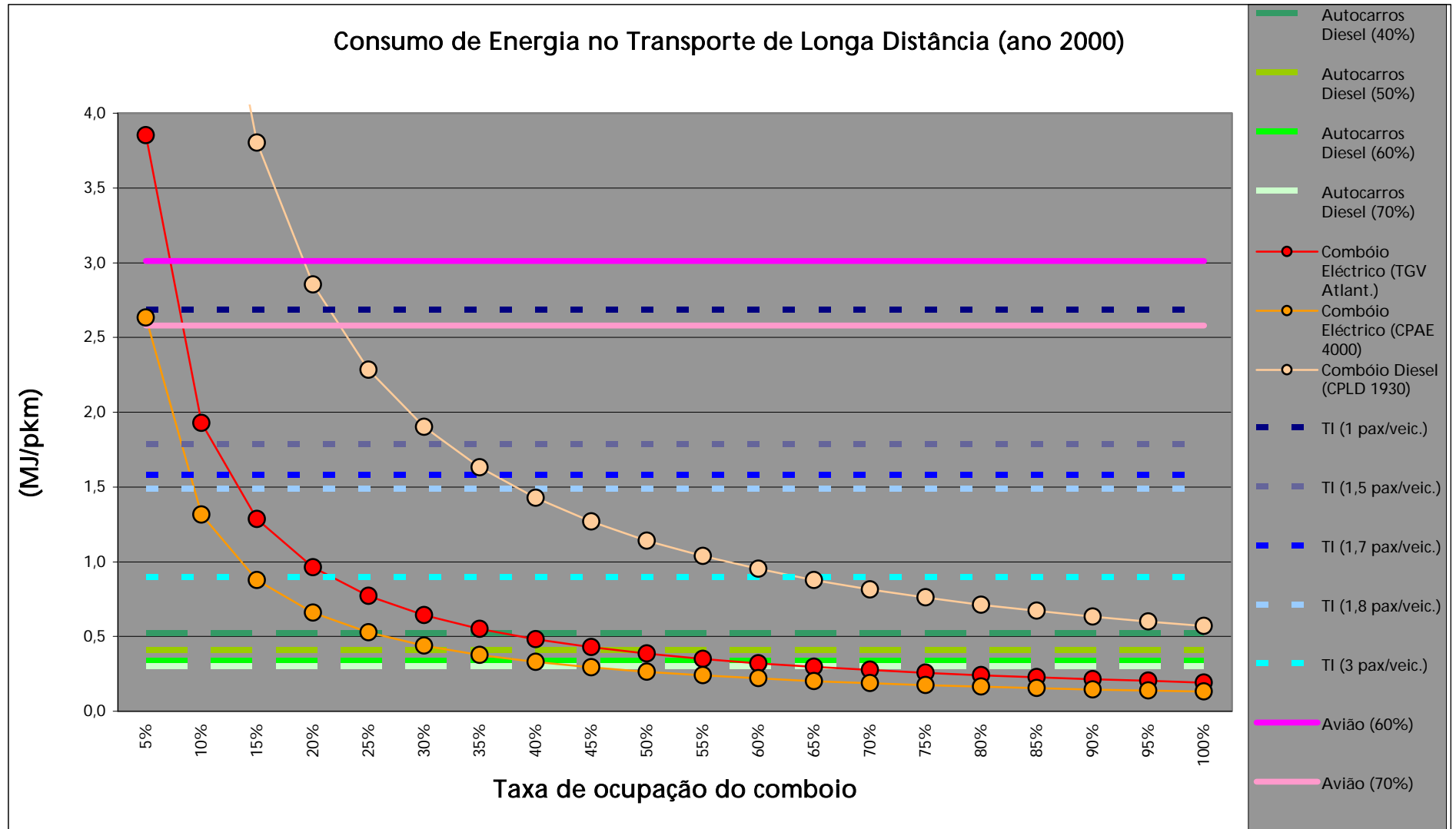
Tabela 9 – Factores de consumo por lkm

(MJ/lkm)

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000	2010
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	0,19	0,19
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	0,13	0,13
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,57	0,57
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	1,81	1,81
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	0,21	0,20
Automóvel Gasolina	0,55	0,48
Automóvel Gasóleo	0,53	0,48
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	0,54	0,48

Por seu turno, a Figura 6 representa o consumo de energia por pkm dos serviços de transporte considerados no ano 2000, para diferentes taxas de ocupação. Refira-se que, no caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 5% e 100%.

Figura 6



Da análise da Tabela 9 e da Figura 6 pode concluir-se o seguinte:

- No ano 2000, para que o factor de consumo de energia por pkm dos serviços ferroviários de tracção eléctrica prestados sobre a rede convencional e do transporte rodoviário colectivo fossem equivalentes, este último necessitaria de ter uma taxa de ocupação 57% superior à do primeiro. Para o ano 2010, estima-se que esta diferença seja reduzida para 52%.
- Significa isto que, para iguais taxas de ocupação, no ano 2000, os veículos de transporte ferroviário de tracção eléctrica que operam na rede convencional consumiam, por passageiro.km, cerca de 65% da energia utilizada pelo serviço rodoviário colectivo. Para o ano de 2010, estima-se que esta relação se altere ligeiramente em favor do transporte rodoviário colectivo, por via da redução de consumo que venha a acontecer.
- Para iguais taxas de ocupação, no período compreendido entre 2000 e 2010, as diferenças de consumo energético por pkm, entre o transporte ferroviário de alta velocidade e o transporte rodoviário colectivo, são pouco relevantes, ainda assim com vantagem para aquele serviço ferroviário.
- No caso do transporte ferroviário com motor diesel prestado sobre a rede convencional, esta relação inverte-se, sendo que, no ano 2000, este serviço de transporte necessitaria de registar uma taxa de ocupação 64% superior à do transporte rodoviário colectivo, para apresentar a mesma intensidade de consumo energético (por pkm). O mesmo é dizer que, no ano 2000, o serviço rodoviário colectivo consumia, por passageiro.km, cerca de 36% da energia utilizada pelos veículos de transporte ferroviário com motor diesel.
- No ano 2000, para as mesmas taxas de ocupação (3 passageiros por veículo e 60%), o transporte individual consumia por pkm, cerca de 3 vezes mais energia que o transporte ferroviário de alta velocidade e mais de 4 vezes da energia consumida pelos veículos de transporte ferroviário de tracção eléctrica que operavam na rede convencional.
- Para a mesma taxa de ocupação, o transporte individual apresentava, por pkm, sensivelmente o mesmo consumo energético que o transporte ferroviário com motor diesel.
- No ano 2000, só em condições muito excepcionais é que o consumo energético (por pkm) do transporte rodoviário individual era mais favorável que o do comboio de alta velocidade. Seria necessário, por exemplo, que o primeiro apresentasse uma ocupação de 5 passageiros por veículo e o transporte ferroviário uma taxa de ocupação inferior a 35%. Estima-se que a situação em 2010, não se altere significativamente.

Deve ainda referir-se que estas conclusões sobre os factores de consumo de energia, bem como as que são expendidas ao longo do trabalho sobre os factores de emissão, são igualmente válidas se em vez dos factores de consumo e de emissão por pkm, for considerada a distância que um passageiro pode percorrer com a mesma energia, ou emitindo a mesma quantidade de um determinado poluente. Efectivamente, estes indicadores são inversos um do outro.

Uma vez que seriam equivalentes às anteriores, não se retiram conclusões acerca das distâncias que um passageiro pode percorrer com uma determinada quantidade de energia ou emitindo a mesma quantidade de um determinado poluente. Não obstante, em cada caso concreto são dados exemplos sobre uma forma possível de interpretar a informação apresentada a esse respeito.

Na Tabela 10 e Figura 7 abaixo, apresenta-se a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, consumindo 10 Mjoule de energia, utilizando diferentes serviços no transporte, em função de diferentes taxas de ocupação.

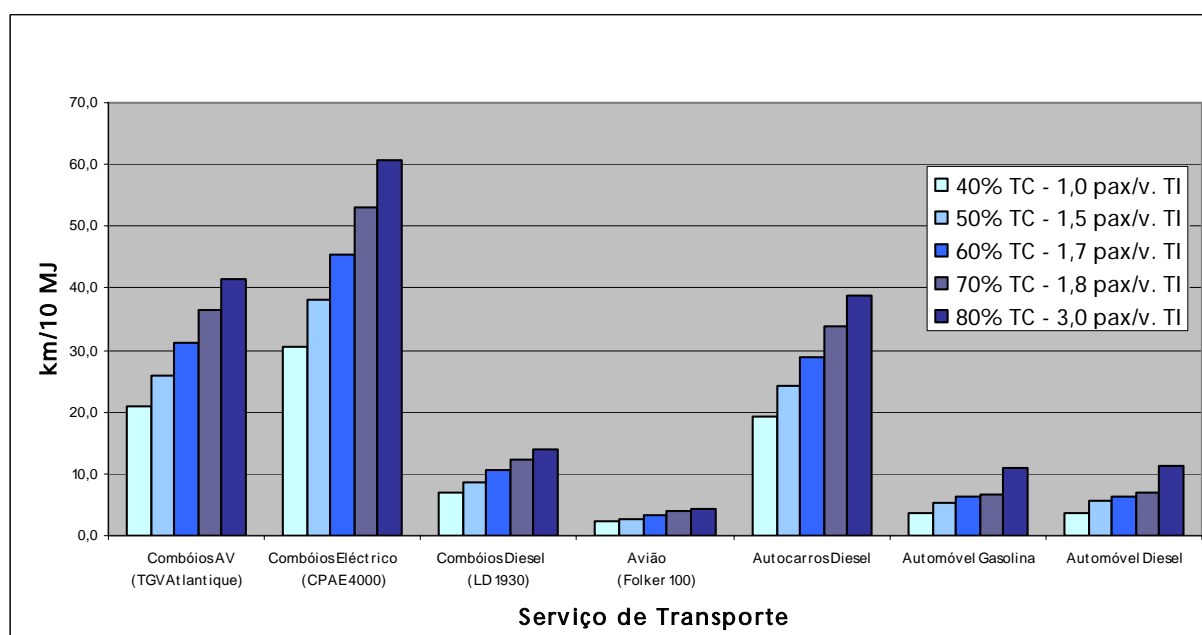
**Tabela 10 – Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2000)**

(km/ 10 MJ)

SERVIÇO DE TRANSPORTE \ TAXA DE OCUPAÇÃO	40% TC	50% TC	60% TC	70% TC	80% TC
	1 pax/v TI	1,5 pax/v TI	1,7 pax/v TI	1,8 pax/v TI	3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	20,8	26,0	31,2	36,3	41,5
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	30,4	38,0	45,6	53,2	60,8
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	7,0	8,8	10,5	12,3	14,0
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	19,3	24,2	29,0	33,9	38,7
Automóvel Gasolina	3,6	5,5	6,2	6,6	10,9
Automóvel Gasóleo	3,8	5,7	6,5	6,8	11,4

A análise da tabela anterior permite afirmar, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, consumindo 10 Mjoule, podia ser transportado numa distância de 30,4 km, caso se deslocasse num Comboio Eléctrico IC, com uma taxa de ocupação de 40%, enquanto que se circulasse num automóvel com tracção a gasolina, com 3 passageiros, apenas se poderia deslocar numa extensão de 11,4 km. A verificação desta e de outras diferenças de desempenho energético poderia igualmente ser feita através da observação da Figura 7.

Figura 7 - Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2000)



Apresenta-se na Tabela 11 e Figura 8 a mesma informação, mas agora respeitante ao ano 2010.

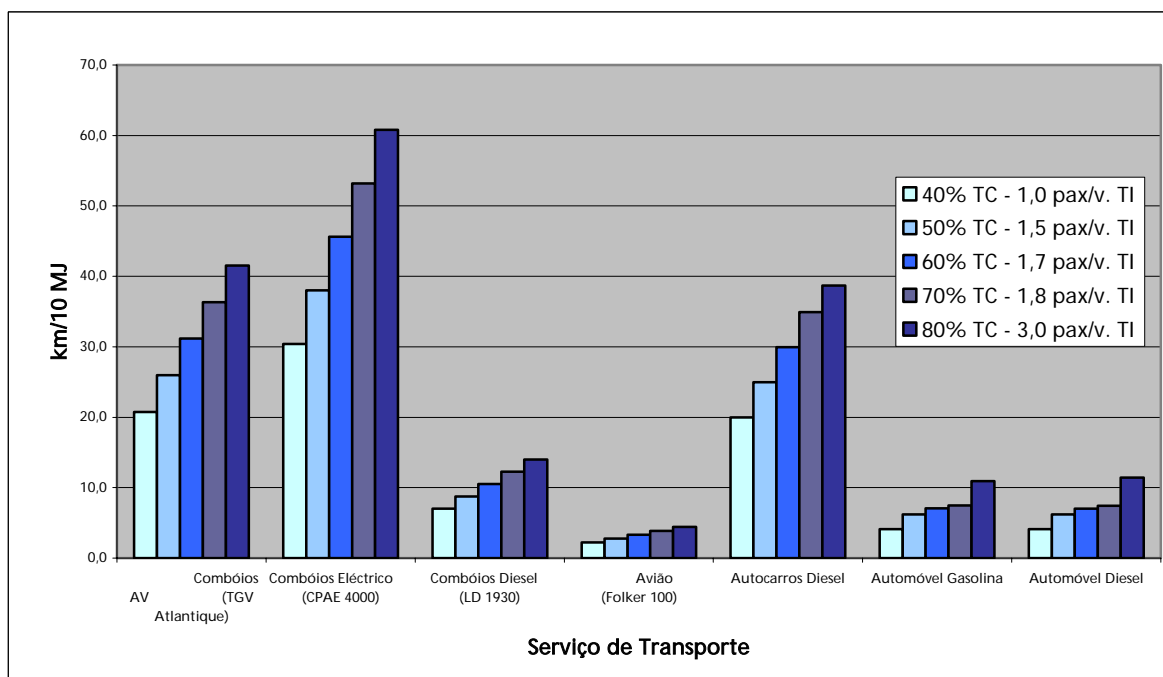
Tabela 11 – Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2010)

(km/ 10 MJ)

TAXA DE OCUPAÇÃO	40% TC	50% TC	60% TC	70% TC	80% TC
SERVIÇO DE TRANSPORTE	1 pax/v TI	1,5 pax/v TI	1,7 pax/v TI	1,8 pax/v TI	3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	20,8	26,0	31,2	36,3	41,5
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	30,4	38,0	45,6	53,2	60,8
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	7,0	8,8	10,5	12,3	14,0
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	20,0	25,0	30,0	35,0	39,9
Automóvel Gasolina	4,1	6,2	7,0	7,5	12,4
Automóvel Gasóleo	4,1	6,2	7,0	7,5	12,4

As principais alterações que se registam entre 2000 e 2010 respeitam ao transporte rodoviário, em virtude da redução de consumo esperada para este modo.

Figura 8 - Distância percorrida com 10 Mjoule de energia (ano 2010)



#### 4.2.2 Emissão de CO<sub>2</sub>

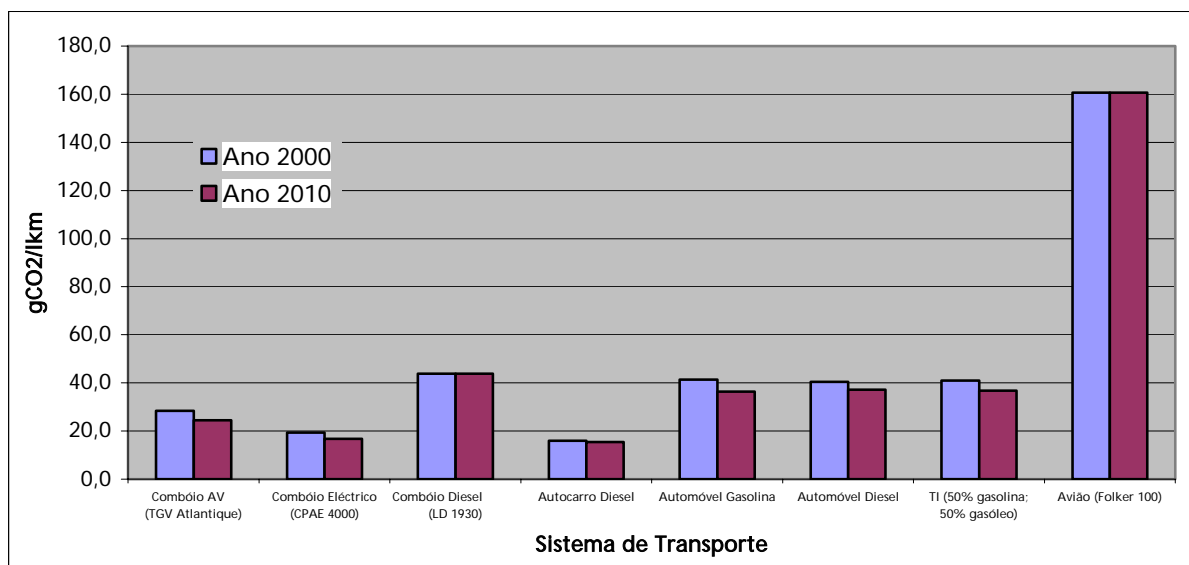
A Tabela 12 e a Figura 9 mostram os factores de emissão de CO<sub>2</sub> por lkm para os anos 2000 e 2010, dos diferentes serviços de transporte considerados.

Tabela 12 – Factores de emissão de CO<sub>2</sub> por lkm

(g/lkm)

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000	2010
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	28,4	24,5
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	19,4	16,7
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	43,9	43,9
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	160,6	160,6
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	15,9	15,4
Automóvel Gasolina	41,4	36,3
Automóvel Gasóleo	40,4	37,2
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	40,9	36,7

Figura 9 - Factores de emissão de CO<sub>2</sub> por lkm (2000 e 2010)



Por seu turno, a Figura 10 e a Figura 11 representam, para os anos 2000 e 2010, respectivamente, as emissões de CO<sub>2</sub> por pkm dos serviços de transporte considerados, para diferentes taxas de ocupação. No caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 5% e 100%.

Figura 10

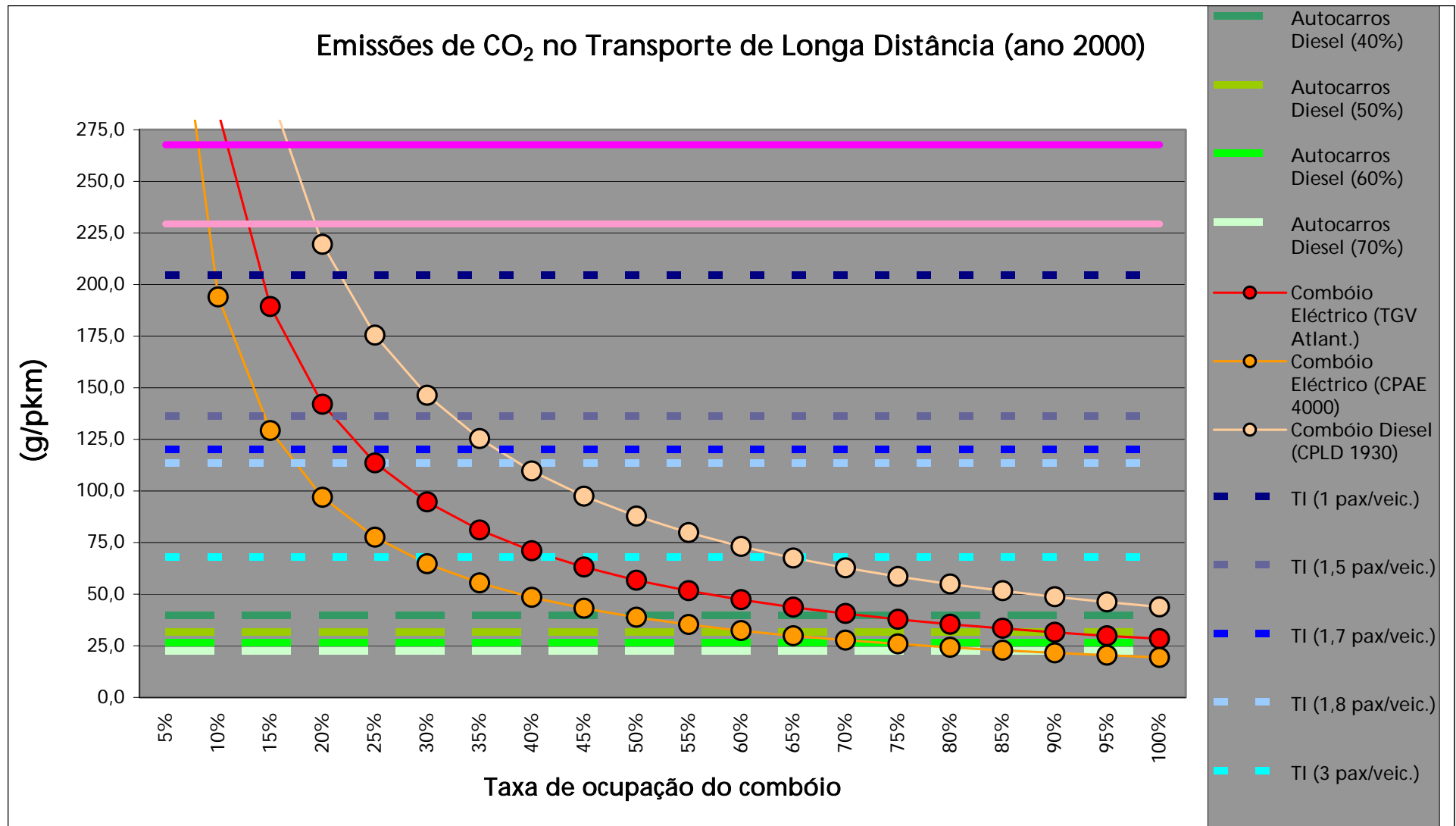
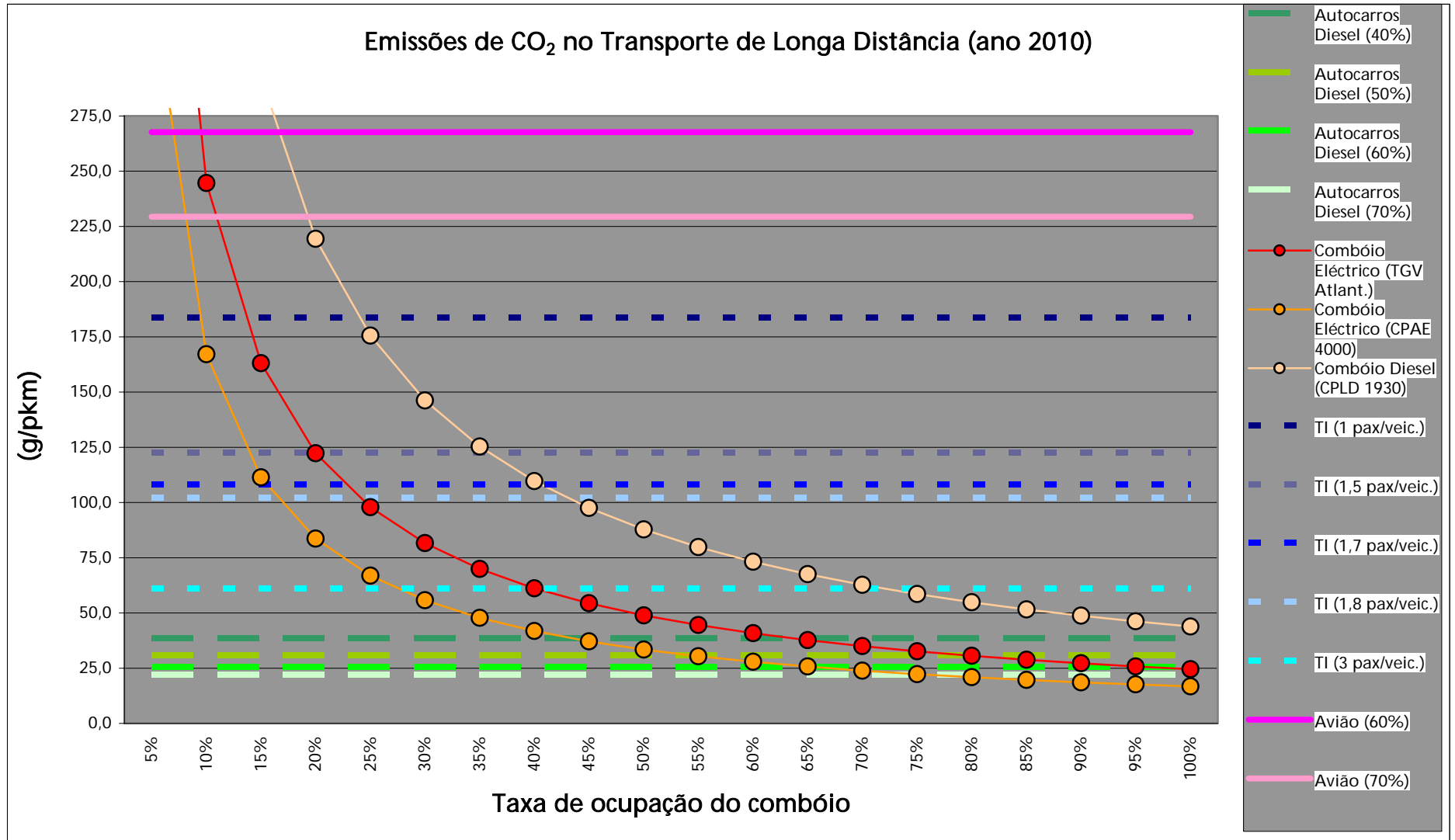


Figura 11



Da análise das figuras anteriores e da Tabela 9 pode concluir-se o seguinte:

- No caso do CO<sub>2</sub>, no ano 2000, para que o factor de emissão por pkm do transporte ferroviário de tracção eléctrica prestado sobre a rede convencional e do transporte rodoviário colectivo fossem equivalentes, o primeiro necessitaria de ter uma taxa de ocupação cerca de 20% superior ao transporte rodoviário.
- No ano 2010, estima-se que esta diferença seja reduzida para cerca de 10%. O mesmo é dizer que, no ano 2010, para iguais taxas de ocupação, o transporte rodoviário colectivo emite, por pkm, cerca de 80% das emissões do transporte ferroviário de tracção eléctrica.
- No ano 2000, para iguais taxas de ocupação, o transporte rodoviário colectivo emitia cerca de 55% do CO<sub>2</sub> por pkm do transporte ferroviário de alta velocidade.
- Esta diferença era ainda maior no caso do transporte ferroviário com motor diesel, já que para iguais taxas de ocupação apresentava um factor de emissão de CO<sub>2</sub> por pkm, quase 3 vezes superior ao do transporte rodoviário colectivo.

A Tabela 13 e a Figura 12 mostram a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, emitindo 1 kg CO<sub>2</sub>, utilizando diferentes serviços no transporte de média e longa distância, em função de diferentes taxas de ocupação.

Tabela 13 – Distância percorrida emitindo 1 kg CO<sub>2</sub> (ano 2000)

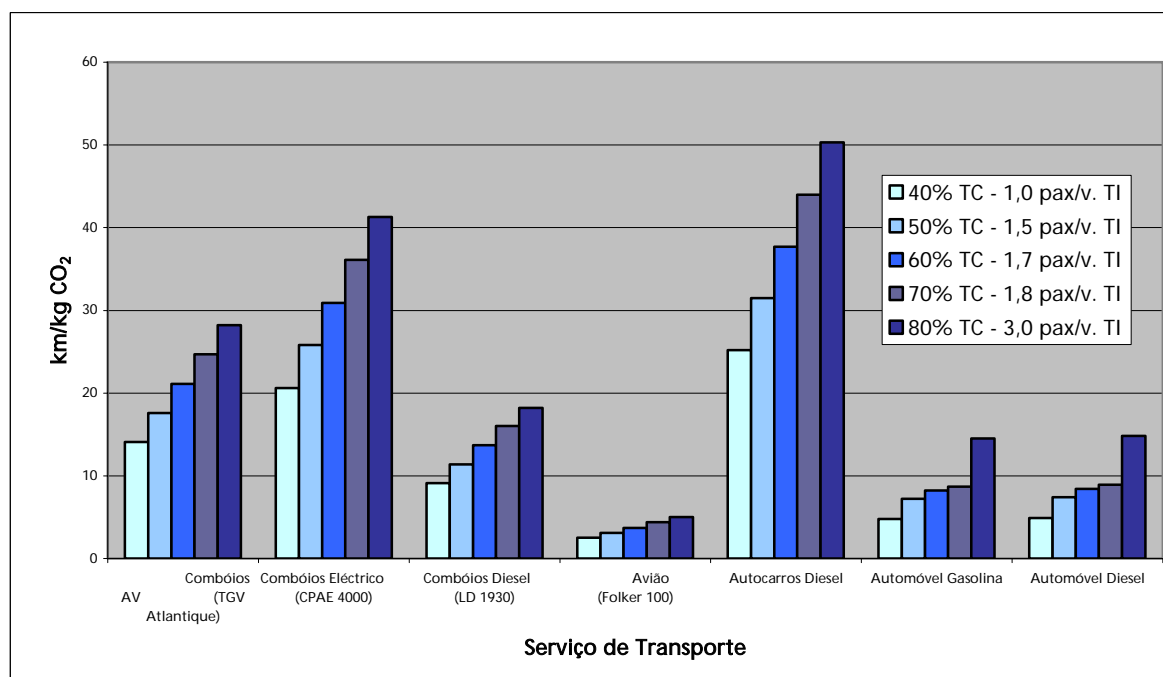
(km/ kg CO<sub>2</sub>)

SERVIÇO DE TRANSPORTE	TAXA DE OCUPAÇÃO				
	40% TC 1 pax/v TI	50% TC 1,5 pax/v TI	60% TC 1,7 pax/v TI	70% TC 1,8 pax/v TI	80% TC 3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	14,1	17,6	21,1	24,7	28,2
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	20,6	25,8	30,9	36,1	41,3
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	9,1	11,4	13,7	16,0	18,2
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	25,2	31,5	37,7	44,0	50,3
Automóvel Gasolina	4,8	7,2	8,2	8,7	14,5
Automóvel Gasóleo	4,9	7,4	8,4	8,9	14,8

A análise da tabela anterior permite afirmar, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, emitindo 1 kg de CO<sub>2</sub>, podia ser transportado numa distância de 30,9 km, caso se deslocasse

num Comboio Eléctrico IC, com uma taxa de ocupação de 60%, enquanto que se circulasse num autocarro a gasóleo com a mesma taxa de ocupação, poderia deslocar-se numa extensão de 37,7 km. A verificação desta e de outras diferenças de desempenho ambiental poderia igualmente ser feita através da observação da Figura 12.

Figura 12 - Distância percorrida emitindo 1 kg de CO<sub>2</sub> (ano 2000)



A Tabela 14 e a Figura 13 mostram a mesma informação, mas agora respeitante ao ano 2010.

**Tabela 14 – Distância percorrida emitindo 1 kg CO<sub>2</sub> (ano 2010)**

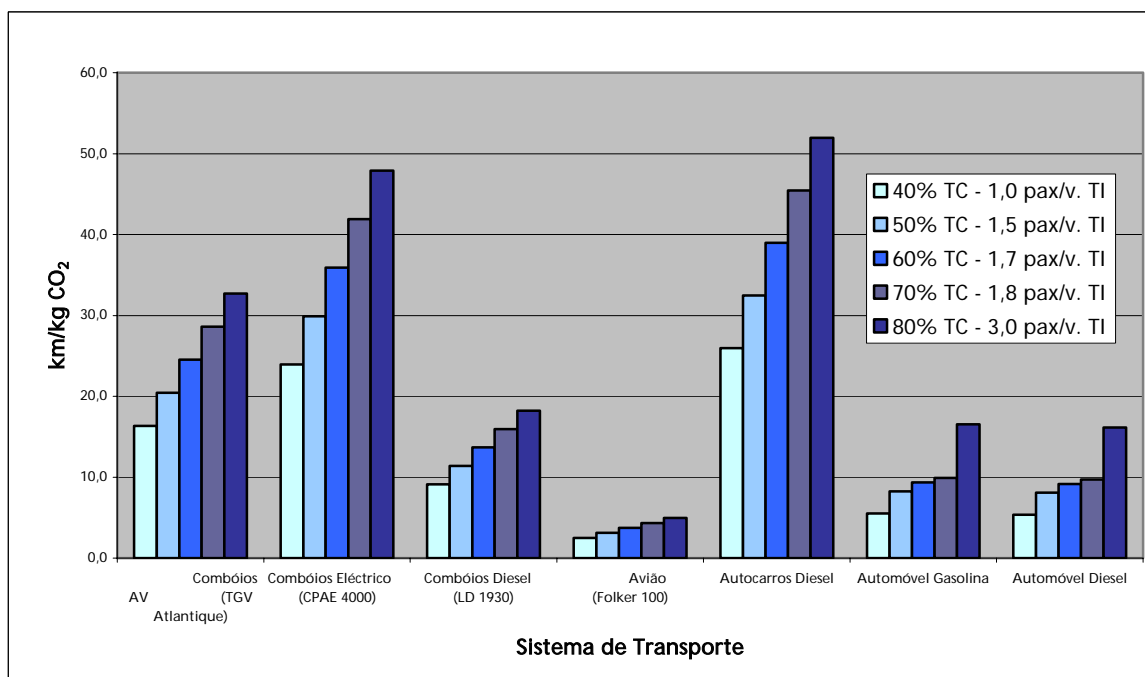
(km/ kg CO<sub>2</sub>)

SERVIÇO DE TRANSPORTE \ TAXA DE OCUPAÇÃO	40% TC	50% TC	60% TC	70% TC	80% TC
	1 pax/v TI	1,5 pax/v TI	1,7 pax/v TI	1,8 pax/v TI	3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	16,3	20,4	24,5	28,6	32,7
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	23,9	29,9	35,9	41,9	47,9
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	9,1	11,4	13,7	16,0	18,2
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	26,0	32,5	39,0	45,5	51,9
Automóvel Gasolina	5,5	8,3	9,4	9,9	16,5
Automóvel Gasóleo	5,4	8,1	9,1	9,7	16,1

As principais diferenças relativamente às emissões que se estimaram para os anos 2000 e 2010, respeitam, no modo rodoviário, à redução dos factores de consumo (Mj/vkm), e no modo ferroviário eléctrico, à redução dos factores de emissão do sector energético. Efectivamente, é sabido que os modos de tracção eléctrica não apresentam emissões de poluentes atmosféricos durante a tracção, mas apenas durante os processos de produção e distribuição de energia até ao consumidor final.

Refira-se ainda que o facto das diferenças registadas entre os anos 2000 e 2010 não serem significativas, deve-se sobretudo ao período de tempo necessário à renovação total das frotas de veículos dos diferentes serviços de transporte e à alteração da tecnologia dos sistemas electroprodutores. Efectivamente, qualquer tipo de equipamento tem um determinado período de amortização, antes do qual é difícil proceder à sua substituição, ainda que haja tecnologias mais eficientes disponíveis no mercado.

Figura 13 - Distância percorrida emitindo 1 kg de CO<sub>2</sub> (ano 2010)



De acordo com os cenários assumidos para o sector energético e dos transportes, verifica-se que, em termos da emissão de CO<sub>2</sub>, a melhoria do desempenho no sector electroprodutor – com implicações nos ferroviários de tracção eléctrica -, não é suficiente para fazer face à redução dos factores de consumo do serviço de transporte rodoviário colectivo.

### 4.2.3 Emissão de CH<sub>4</sub>

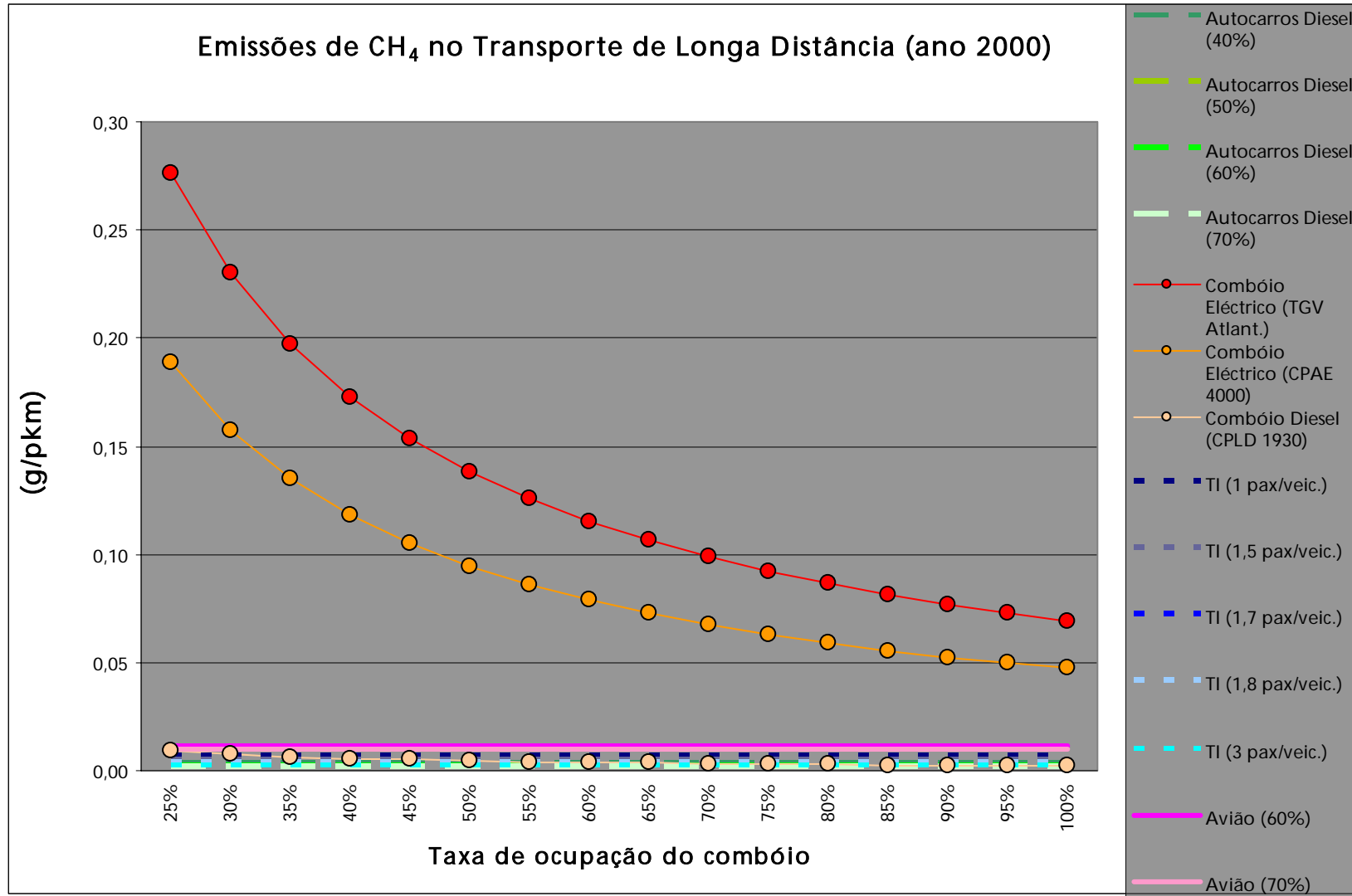
A Tabela 15 mostra os factores de emissão de CH<sub>4</sub> por lkm para o ano 2000, dos diferentes serviços de transporte considerados.

Tabela 15 – Factores de emissão de CH<sub>4</sub> por lkm

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	0,0691
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	0,0472
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,0023
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	0,0071
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	0,0012
Automóvel Gasolina	0,0016
Automóvel Gasóleo	0,0011
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	0,0014

Por seu turno, a Figura 14 da página seguinte ilustra, para o ano 2000, as emissões de CH<sub>4</sub> por pkm dos serviços de transporte considerados, para diferentes taxas de ocupação. No caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 25% e 100%.

Figura 14



Da análise da Tabela 15 e da Figura 14 anteriores podem retirar-se a seguinte conclusões:

- Os factores de emissão de CH<sub>4</sub> respeitantes aos serviços de transporte ferroviário de tracção eléctrica são os menos favoráveis entre todos os serviços de transporte estudados.
- Para iguais taxas de ocupação, o transporte rodoviário (individual e colectivo) é aquele que apresenta factores de emissão de CH<sub>4</sub> mais favoráveis relativamente a todos os serviços de transporte estudados. Relativamente a este indicador, para as mesmas taxas de ocupação, o transporte rodoviário colectivo emite cerca de 75% do CH<sub>4</sub> do transporte individual, por pkm transportado.
- Para iguais taxas de ocupação, o transporte aéreo apresenta factores de emissão de CH<sub>4</sub> menos favoráveis que os do transporte ferroviário com motor diesel.

À semelhança dos poluentes atmosféricos anteriores, a Tabela 16 e a Figura 15 ilustram a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, emitindo 1 g CH<sub>4</sub>, utilizando diferentes serviços no transporte de média e longa distância, em função de diferentes taxas de ocupação.

**Tabela 16 – Distância percorrida emitindo 1g CH<sub>4</sub> (ano 2000)**

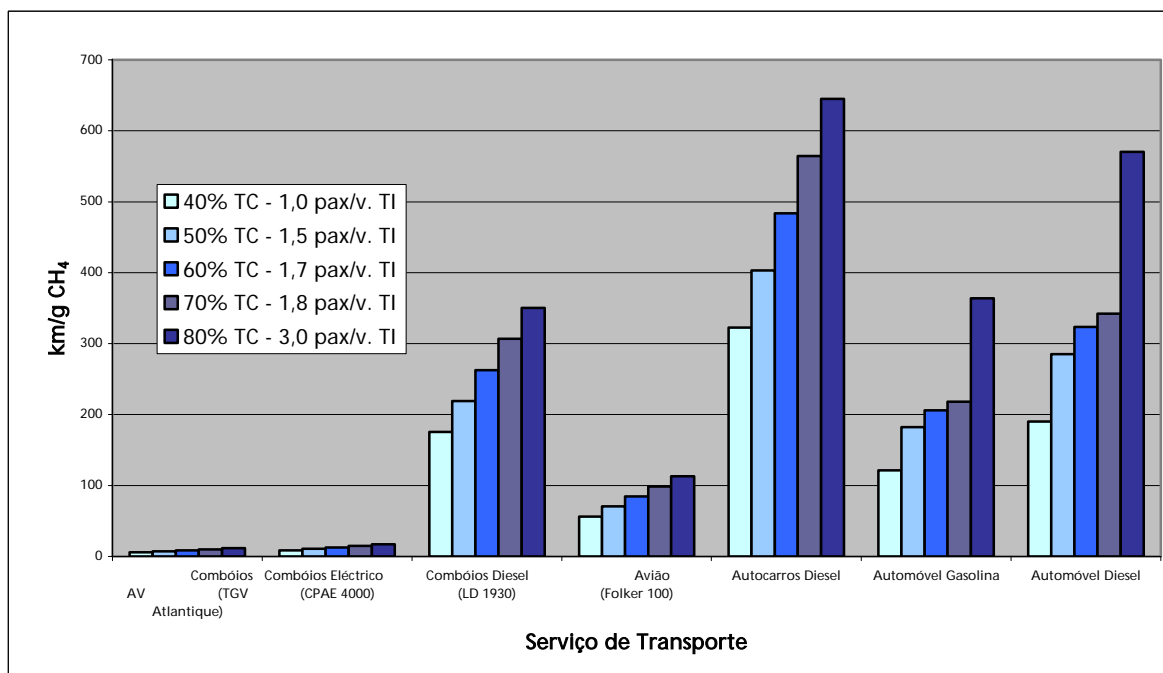
SERVIÇO DE TRANSPORTE	TAXA DE OCUPAÇÃO				
	40% TC 1 pax/v TI	50% TC 1,5 pax/v TI	60% TC 1,7 pax/v TI	70% TC 1,8 pax/v TI	80% TC 3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	5,8	7,2	8,7	10,1	11,6
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	8,5	10,6	12,7	14,8	16,9
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	175,3	219,1	262,9	306,7	350,5
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	56,4	70,5	84,6	98,7	112,8
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	322,5	403,1	483,7	564,4	645,0
Automóvel Gasolina	121,3	182,0	206,2	218,4	363,9
Automóvel Gasóleo	190,2	285,3	323,3	342,3	570,5

(km/ g CH<sub>4</sub>)

A análise da tabela acima permite afirmar, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, emitindo 1 g de CH<sub>4</sub>, podia ser transportado numa distância de 219,1 km, caso se deslocasse num Comboio IC com tracção a gasóleo, com uma taxa de ocupação de 50%, enquanto que se

circulasse num comboio eléctrico de alta velocidade, com a mesma taxa de ocupação, apenas se poderia deslocar numa extensão de 7,2 km. A verificação desta e de outras diferenças de desempenho ambiental poderia igualmente ser feita através da observação da Figura 15.

**Figura 15 - Distância percorrida emitindo 1g de CH<sub>4</sub> (ano 2000)**



#### 4.2.4 Emissão de N<sub>2</sub>O

A Tabela 17 mostra os factores de emissão de N<sub>2</sub>O por lkm para o ano 2000, dos diferentes serviços de transporte considerados.

Tabela 17 – Factores de emissão de N<sub>2</sub>O por lkm

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	0,0005
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	0,0004
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,0171
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	0,0060
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	0,0006
Automóvel Gasolina	0,0011
Automóvel Gasóleo	0,0021
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	0,0016

Na página seguinte a Figura 16 ilustra, relativamente ao ano 2000, as emissões de N<sub>2</sub>O por pkm dos serviços de transporte considerados, para diferentes taxas de ocupação. No caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 30% e 100%.



Após análise da Tabela 17 e da Figura 16 anteriores pode concluir-se que:

- Em termos da emissão de  $N_2O$ , por pkm, para iguais taxas de ocupação, o transporte ferroviário com tracção eléctrica, seguido do transporte rodoviário colectivo, são os serviços que apresentam maior eficiência ambiental. Ainda assim, para iguais taxas de ocupação, o factor de emissão do transporte ferroviário prestado sobre a rede convencional representa cerca de 60% do que é apresentado pelo transporte rodoviário colectivo. Em relação ao transporte ferroviário de alta velocidade esta percentagem é de cerca de 85%.
- Ainda relativamente à emissão de  $N_2O$ , para iguais taxas de ocupação, o transporte ferroviário com motor diesel, logo seguido do transporte aéreo, é o menos competitivo de todos os serviços de transporte estudados.

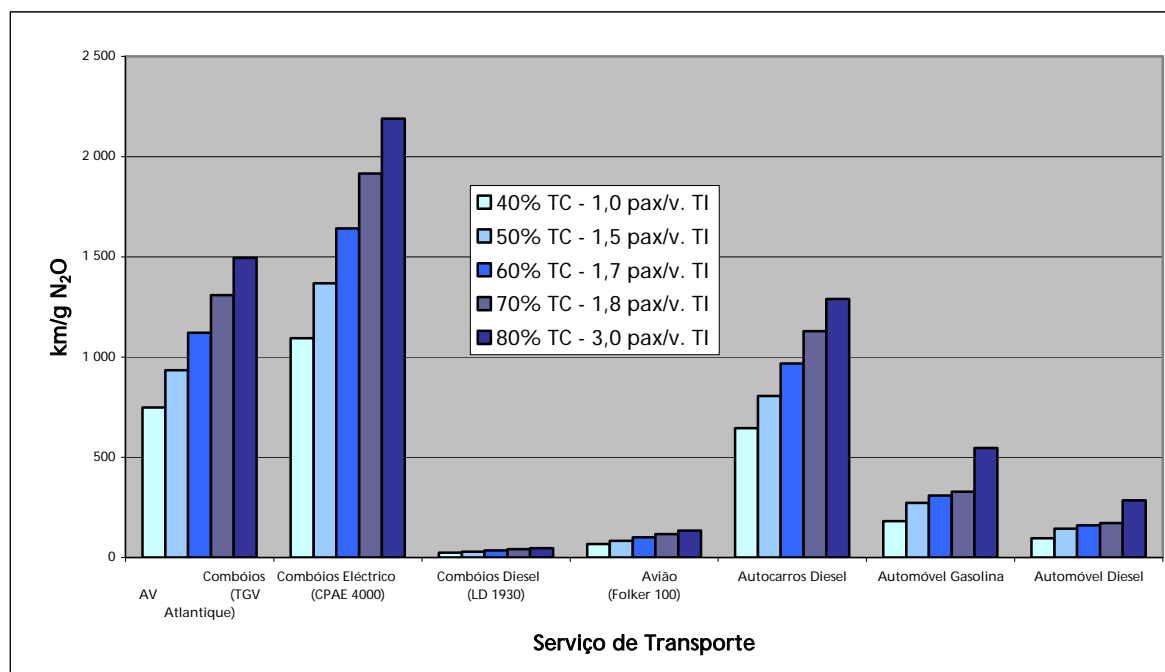
A Tabela 18 e a Figura 17 seguintes evidenciam a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, emitindo 1 g  $N_2O$ , ao utilizar diferentes serviços no transporte de média e longa distância, em função de diferentes taxas de ocupação.

**Tabela 18 – Distância percorrida emitindo 1g  $N_2O$  (ano 2000)**

SERVIÇO DE TRANSPORTE	TAXA DE OCUPAÇÃO				
	40% TC 1 pax/v TI	50% TC 1,5 pax/v TI	60% TC 1,7 pax/v TI	70% TC 1,8 pax/v TI	80% TC 3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	747,7	934,6	1121,5	1308,4	1495,3
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	1094,5	1368,2	1641,8	1915,5	2189,1
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	23,4	29,2	35,1	40,9	46,7
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	66,5	83,2	99,8	116,5	133,1
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	645,0	806,2	967,5	1128,7	1290,0
Automóvel Gasolina	182,0	272,9	309,3	327,5	545,9
Automóvel Gasóleo	95,1	142,6	161,6	171,2	285,3

A análise da tabela anterior permite afirmar, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, emitindo 1 g de  $N_2O$ , podia ser transportado numa distância de 1 308,5 km, caso se deslocasse num Comboio eléctrico de alta velocidade, com uma taxa de ocupação de 70%, enquanto que se circulasse num comboio IC com tracção a gasóleo, com a mesma taxa de ocupação, apenas se poderia deslocar numa extensão de 40,9 km. A verificação desta e de outras diferenças de desempenho ambiental poderia igualmente ser feita através da observação da Figura 17.

Figura 17 - Distância percorrida emitindo 1g de N<sub>2</sub>O (ano 2000)



#### 4.2.5 Emissão de $NO_x$

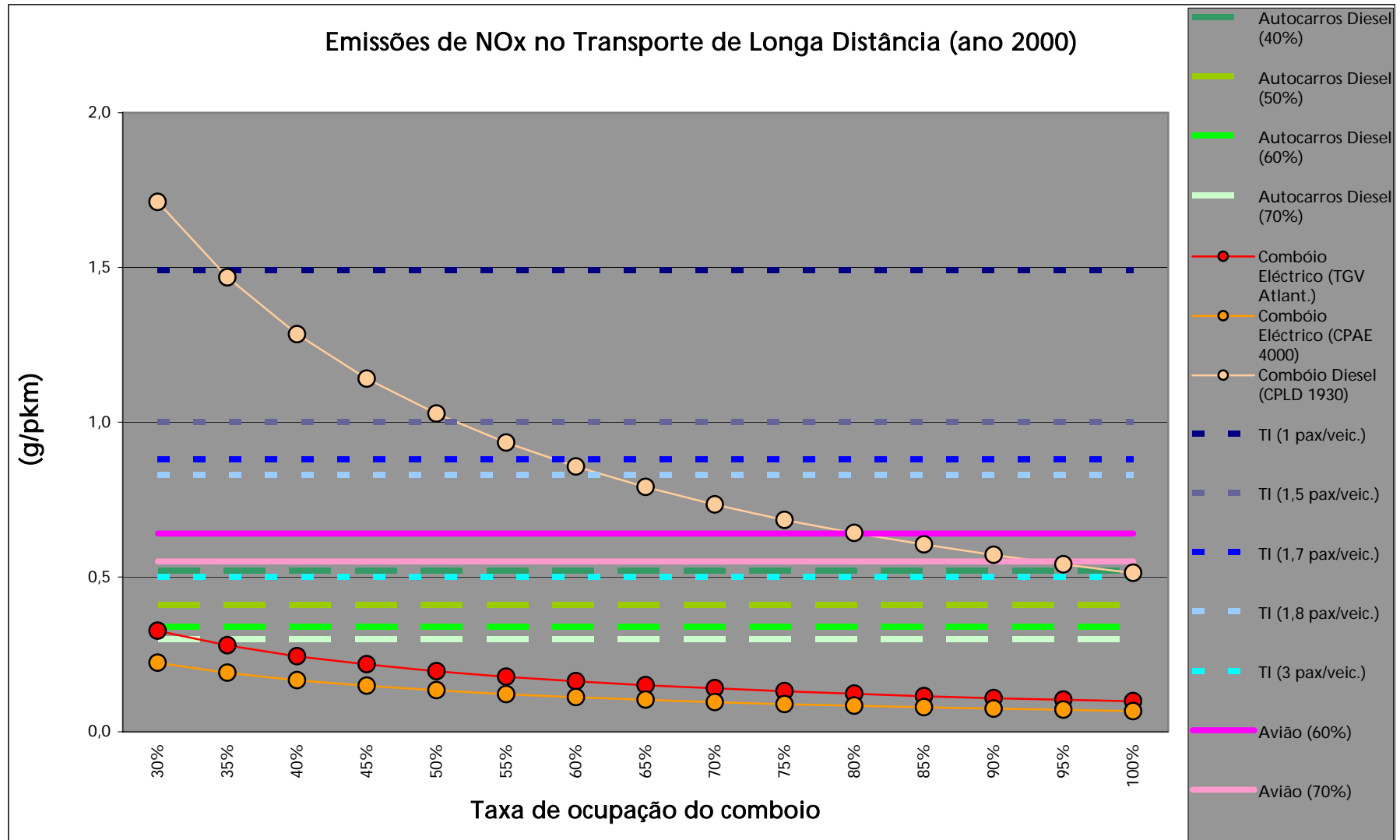
A Tabela 19 mostra os factores de emissão de  $NO_x$  por lkm para o ano 2000, relativos aos diferentes serviços de transporte em análise.

Tabela 19 – Factores de emissão de  $NO_x$  por lkm

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	0,10
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	0,07
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,51
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	0,38
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	0,21
Automóvel Gasolina	0,44
Automóvel Gasóleo	0,16
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	0,30

Na página seguinte, a Figura 18 representa, relativamente ao ano 2000, as emissões de  $NO_x$  por pkm dos serviços de transporte considerados, para diferentes taxas de ocupação. No caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 30% e 100%.

Figura 18



A análise da Tabela 19 e da Figura 18 anteriores pode concluir-se que:

- No que se refere à emissão de  $\text{NO}_x$ , para a mesma taxa de ocupação, o transporte ferroviário com tracção eléctrica que opera sobre a rede convencional é o mais competitivo de todos os serviços de transporte estudados. O factor de emissão representa cerca de 70 % do que é apresentado pelo comboio de alta velocidade e cerca de 30 % do do transporte rodoviário colectivo.
- Relativamente a este indicador, para iguais taxas de ocupação, o transporte individual com motor diesel é mais competitivo que o transporte rodoviário colectivo, que por sua vez é mais competitivo que o transporte individual com tracção a gasolina.
- Ainda no que concerne ao  $\text{NO}_x$ , verifica-se que, para iguais taxas de ocupação, o transporte ferroviário com motor diesel, é o menos competitivo, por pkm, entre todos os serviços de transporte estudados.

A Tabela 20 e a Figura 19 seguintes expressam analítica e graficamente a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, emitindo 1 g  $\text{NO}_x$ , utilizando diferentes serviços no transporte de média e longa distância, em função de diferentes taxas de ocupação:

Tabela 20 – Distância percorrida emitindo 1g  $\text{NO}_x$  (ano 2000)

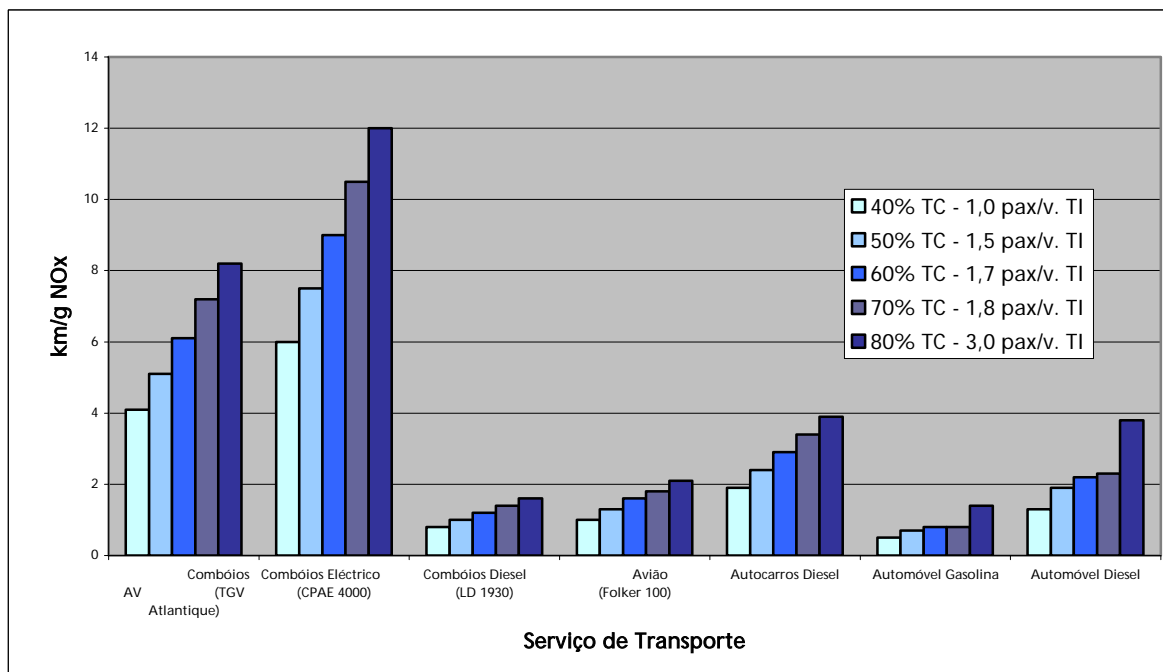
SERVIÇO DE TRANSPORTE	TAXA DE OCUPAÇÃO				
	40% TC 1 pax/v TI	50% TC 1,5 pax/v TI	60% TC 1,7 pax/v TI	70% TC 1,8 pax/v TI	80% TC 3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	4,1	5,1	6,1	7,2	8,2
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	1,0	1,3	1,6	1,8	2,1
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9
Automóvel Gasolina	0,5	0,7	0,8	0,8	1,4
Automóvel Gasóleo	1,3	1,9	2,2	2,3	3,8

(km/ g  $\text{NO}_x$ )

A análise destes dados permite inferir, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, emitindo 1 g de  $\text{NO}_x$ , podia ser transportado numa distância de 9,0 km, caso se deslocasse num Comboio eléctrico IC, com uma taxa de ocupação de 60%, enquanto que se circulasse num autocarro de

longo curso, com a mesma taxa de ocupação, apenas se poderia deslocar numa extensão de 2,9 km.

Figura 19 - Distância percorrida emitindo 1g de NO<sub>x</sub> (ano 2000)



#### 4.2.6 Emissão de CO

A Tabela 21 mostra os factores de emissão de CO por lkm para o ano 2000, associados aos diferentes serviços de transporte considerados.

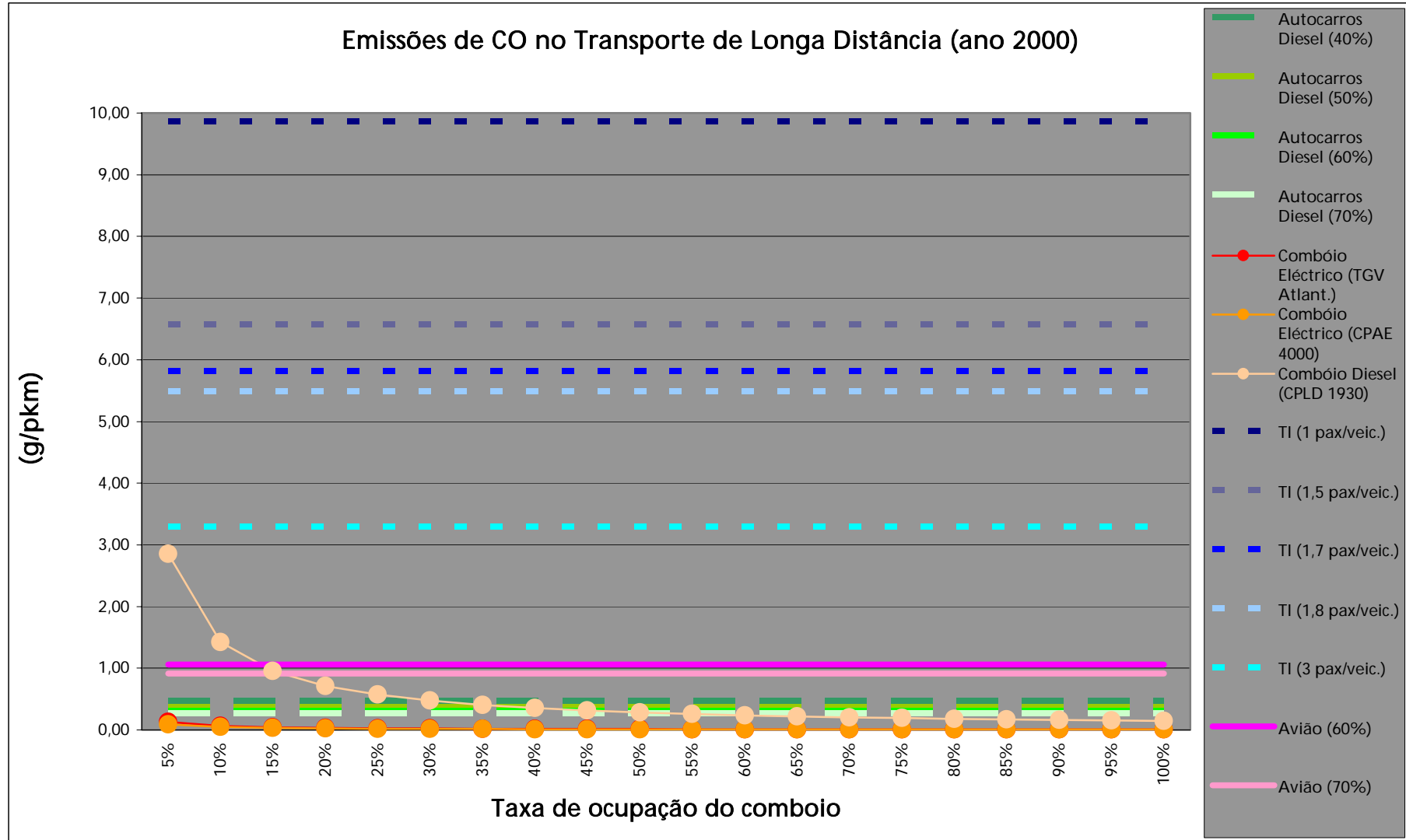
Tabela 21 – Factores de emissão de CO por lkm

(g/lkm)

SERVIÇO DE TRANSPORTE	2000
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	0,007
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	0,004
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	0,143
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	0,634
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	0,186
Automóvel Gasolina	3,792
Automóvel Gasóleo	0,158
Automóvel (50% gasolina; 50% gasóleo)	1,975

A Figura 20 da página seguinte representa, relativamente ao ano 2000, as emissões de CO por pkm dos serviços de transporte considerados, para diferentes taxas de ocupação. No caso dos serviços ferroviários, as taxas de ocupação, representadas no eixo horizontal, variam entre 5% e 100%.

Figura 20



A leitura combinada da Tabela 21 e da Figura 20 permite tecer os seguintes comentários:

- Em termos da emissão de CO, os serviços de tracção eléctrica estudados são bastante mais competitivos (pelo menos num factor de 1 para 20) que os restantes serviços prestados com veículos com motores de combustão interna.
- O transporte ferroviário com motor diesel, caso a taxa de ocupação seja a mesma, apresenta sensivelmente (90%) o mesmo factor de emissão, por pkm, que o transporte individual com motor diesel e cerca de 75% do factor de emissão do transporte rodoviário colectivo.
- Ainda no que a este poluente diz respeito, o transporte rodoviário individual com tracção a gasolina apresenta um factor de emissão cerca de 25 vezes superior ao de tracção a gasóleo (motor diesel). O transporte individual com tracção a gasolina, por pkm e para a mesma taxa de ocupação, é cerca de 6 vezes mais poluente que o transporte aéreo.

A Figura 21 e a Tabela 22 apresentam a distância que cada passageiro pode percorrer, no ano 2000, emitindo 1 g CO, utilizando diferentes serviços no transporte de média e longa distância, em função de diferentes taxas de ocupação.

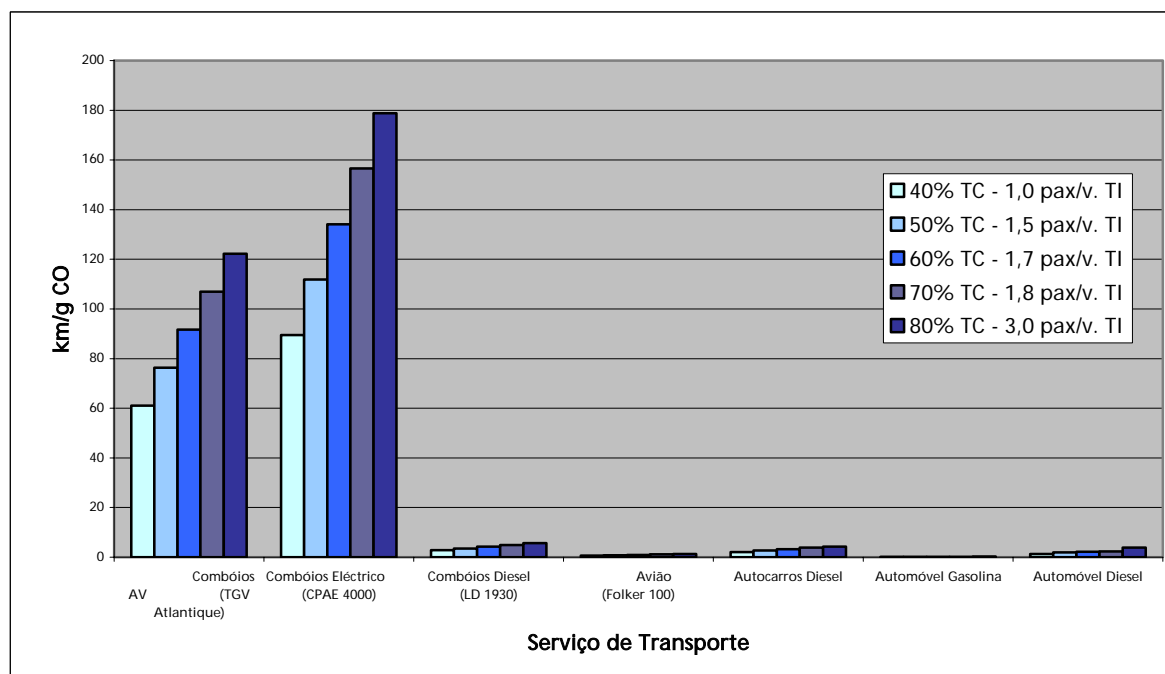
Tabela 22 – Distância percorrida emitindo 1g CO (ano 2000)

SERVIÇO DE TRANSPORTE	TAXA DE OCUPAÇÃO				
	40% TC 1 pax/v TI	50% TC 1,5 pax/v TI	60% TC 1,7 pax/v TI	70% TC 1,8 pax/v TI	80% TC 3 pax/v TI
Comboio Eléctrico AV (TGV Atlantique)	61,1	76,4	91,6	106,9	122,2
Comboio Eléctrico IC (CPAE 4000)	89,4	111,8	134,1	156,5	178,8
Comboio Gasóleo IC (LD 1930)	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6
Avião Jetfuel (Portugália Fokker 100)	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3
Autocarro Gasóleo (Longo curso)	2,1	2,7	3,2	3,8	4,3
Automóvel Gasolina	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Automóvel Gasóleo	1,3	1,9	2,2	2,3	3,8

A análise destes dados permite afirmar, por exemplo, que um passageiro, no ano 2000, emitindo 1 g de CO, podia ser transportado numa distância de 91,6 km, caso se deslocasse num comboio eléctrico de alta velocidade, com uma taxa de ocupação de 60%, enquanto que se

circulasse num automóvel com tracção a gasolina e com 3 passageiros, apenas se poderia deslocar numa extensão de 0,2 km.

Figura 21 - Distância percorrida emitindo 1g de CO (ano 2000)



## 5 Conclusões

Os resultados da aplicação da metodologia apresentada permitem tirar como grande conclusão que, para as tecnologias de motorização analisadas, a posição relativa da pressão ambiental gerada pelos diversos modos de transporte na prestação de serviços de média e longa distância, medida pelo consumo de energia e pela emissão de CO<sub>2</sub> por passageiro.km, é determinada em primeiro lugar pela taxa de ocupação e em segundo lugar pela natureza das tecnologias instaladas nos veículos envolvidos na prestação desses serviços.

Dos resultados obtidos podem ainda retirar-se as seguintes conclusões.

Relativamente à **eficiência energética**:

- Os serviços de transporte ferroviário prestados com veículos de tracção eléctrica são os que consomem menos energia por lugar.km.
- Para os melhores serviços ferroviários, uma taxa de ocupação de 40% gera uma pressão energética equivalente à do transporte rodoviário colectivo com uma taxa de ocupação de 63%.
- O transporte individual apenas em condições muito excepcionais é menor consumidor de energia que os serviços de transporte ferroviário e rodoviário colectivo. É necessário, por exemplo, que o transporte individual apresente uma ocupação de 5 passageiros por veículo e o transporte ferroviário uma taxa de ocupação inferior a 35%.
- O transporte aéreo é o modo com maior consumo de energia por lugar.km.
- Em termos da pressão ambiental gerada verifica-se que no interior do modo ferroviário há uma clara superioridade competitiva dos serviços prestados com veículos de tracção eléctrica relativamente aos de tracção diesel.

Relativamente à **eficiência ambiental**:

- **CO<sub>2</sub>**
  - Os serviços de transporte rodoviário colectivo são os que emitem menos CO<sub>2</sub> por lugar.km.
  - Para estes serviços, uma taxa de ocupação de 40% gera uma pressão ambiental equivalente à do melhor serviço ferroviário e à do rodoviário individual com ocupações de 50% e de 100%, respectivamente.
  - O modo aéreo é o que apresenta piores indicadores de emissão de CO<sub>2</sub>, de tal modo que necessitaria de uma taxa de ocupação 10 vezes superior à do transporte rodoviário colectivo.
  
- **N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>**
  - Os serviços de transporte ferroviários com tracção eléctrica apresentam resultados claramente superiores que os modos concorrentes. A relação entre as taxas de ocupação, tal como enunciadas anteriormente, dá uma vantagem à ferrovia cerca de 3 vezes superior que o modo com melhor desempenho, o automóvel com motor diesel.
  
- **CO**
  - Os serviços de transporte ferroviário prestados com veículos de tracção eléctrica são os que emitem menos CO por lugar.km. A superioridade da tracção eléctrica relativamente a este gás é ainda mais evidente que nos casos anteriores.
  - Esta superioridade é 30 vezes superior à tracção diesel e mais de 800 vezes superior à do transporte aéreo.

- CH<sub>4</sub>
  - Relativamente a este gás, temos o único caso em que o serviço ferroviário com tracção eléctrica tem claramente um pior desempenho que os modos concorrentes, cerca de 45 vezes.
  - O serviço com melhor desempenho é o prestado com automóvel individual com motor diesel.

Em suma, o transporte ferroviário com tracção eléctrica seguido do rodoviário colectivo é aquele que apresenta indicadores de competitividade ambiental mais favoráveis. Excepção é feita para a emissão de CO<sub>2</sub>, indicador relativamente ao qual o transporte rodoviário colectivo apresenta ligeira vantagem competitiva face ao ferroviário. Atente-se ainda que os serviços de alta velocidade que apresentam um pior desempenho que os serviços prestados sobre a rede convencional e que se traduz por um agravamento de 50% na pressão ambiental gerada para a mesma taxa de ocupação.

## 6 Bibliografia

CE, 2003. "To shift or not to shift, that's the question – The environmental performance of the principal modes of freight and passenger transport in the policy-making context". CE, Solutions for environment, economy and technology. Delft, March 2003.

ERSE, 2000. "Estudo sobre o Sector Eléctrico e Ambiente". 1º Relatório: Impactes Ambientais do Sector Eléctrico. Elaborado pelo Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente, DCEA, FCT, Universidade Nova de Lisboa.

DGA, 1999. "Relatório do Estado do Ambiente: 1999".

DGA, 2000. "Relatório do Estado do Ambiente: 2000".

CESUR, 2002. "Programa Nacional para as Alterações Climáticas – Estudos de Base. Cenário de Referência 2000-2010". Dezembro de 2002.

IPCC, 1996. "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual".

Lewis, C. A., 1997. "Fuel and Energy Production Emissions Factors". Report for the Project MEET: Methodologies For Estimating Air Pollutant Emissions From Transport. Project funded by the European Commission under the Transport RTD. Programme of the 4th framework program. DG-VII contract N°: ST-96-SC.204. Deliverable No 20. Report R 112.

MCOTA, 2001. "Relatório do Estado do Ambiente: 2001".

Sorenson, C., Jorgensen, M. W., 1997. "Estimating Emissions from Railway Traffic". Report for the Project MEET: Methodologies For Estimating Air Pollutant Emissions From Transport. Project funded by the European Commission under the Transport RTD. Programme of the 4th framework program. DG-VII contract N°: ST-96-SC.204. Deliverable No 17. Report ET-EO-97-03.

Van Mierlo, J., et al, 2002. "Environmental Damage Screening of Road Transport Technologies".

## ANEXO 1

Factores de consumo do material  
circulante ferroviário que presta serviço  
sobre a rede convencional

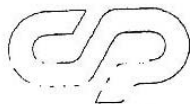


UNIDADE DE MATERIAL E TRACÇÃO

## UMAT

### CONSUMO ESPECÍFICO DO MATERIAL MOTOR

Bitola	Unidade Motora	Série de Material	Consumo específico L/Km ou KWh/Km
V I A  L A R G A	Locotractores	1150	3.7
		1200	1.6
	Locomotivas Diesel	1400	3.0
		1500	3.5
		1550	3.2
		1800	3.4
		1900	4.4
		1930	4.4
		1960	5.0
	Automotoras Diesel	100	0.4
		350	1.2
		450	1.3
		600	2.2
	Locomotivas Eléctricas	2500	11.4
		2550	11.0
		2600	12.6
		2620	12.6
		5600	10.0
	Automotoras Eléctricas	2000	7.4
		2050	7.4
		2080	7.4
		2100	7.4
2150		7.0	
2200		7.0	
2300		5.4	
2400		6.5	
3100		5.0	
3150		7.0	
3200		6.0	
3250		8.0	
3500		9.1	
4000	11.0		



UNIDADE DE MATERIAL E TRACÇÃO

## UMAT

## CONSUMO ESPECÍFICO DO MATERIAL MOTOR

Bitola	Unidade Motora	Série de Material	Consumo específico L/Km ou KWh/Km
VIA ESTREITA	Locomotivas	9000	1.6
		9020	1.2
	Automotoras	9100	0.6
		9300	0.7
		9400	1.3
		9500	0.3
		9600	1.0
		9630	1.3

## ANEXO 2

### Principais fontes antropogénicas de alguns poluentes atmosféricos

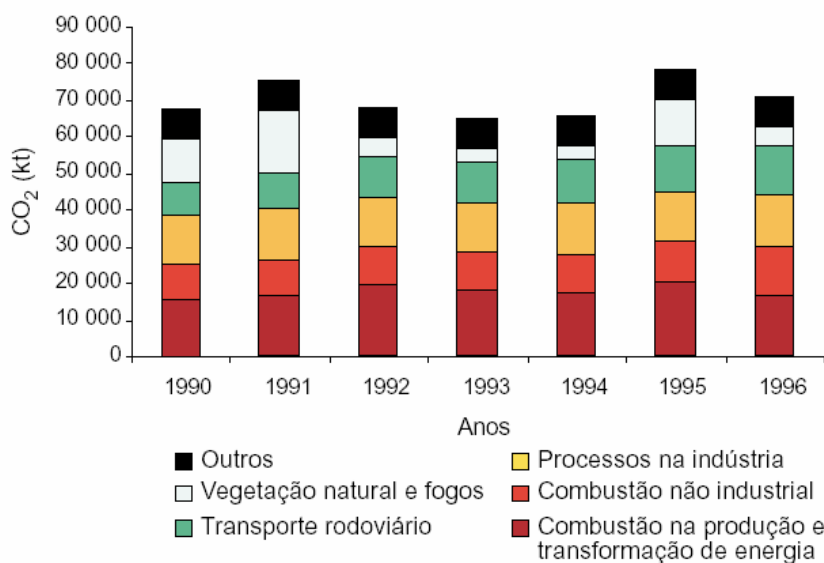
<b>GÁS POLUENTE</b>	<b>PRINCIPAIS FONTES ANTROPOGÉNICAS</b>
<b>CO<sub>2</sub></b> Dióxido de carbono	Utilização de energia, alteração do uso do solo, desflorestação e produção de cimento.
<b>CH<sub>4</sub></b> Metano	Produção e utilização de energia, pecuária, agricultura (arrozais), aterros sanitários, queima de biomassa e esgotos domésticos.
<b>Compostos halogenados</b>	Refrigeração, propulsores, espumas expandidas, solventes e outras indústrias utilizadoras de aerossóis.
<b>N<sub>2</sub>O</b> Óxido de nitroso	Solos com fertilizantes, produção de ácidos, queima de biomassa e de combustíveis fósseis.
<b>SO<sub>2</sub></b> Dióxido de enxofre	Queima de combustíveis fósseis (sector da produção de energia, e de diversos processos industriais, podendo também ser emitido em pequenas quantidades pelos veículos a diesel)
<b>NO<sub>x</sub></b> Óxidos de azoto	Queima de combustíveis a altas temperaturas, quer em instalações industriais, quer nos veículos automóveis. Na maior parte das situações, o NO emitido para a atmosfera é posteriormente transformado em NO <sub>2</sub> por oxidação fotoquímica.
<b>CO</b> Monóxido de carbono	Fogos florestais, combustão incompleta de combustíveis fósseis ou outros materiais orgânicos, sendo os transportes rodoviários o sector que mais contribui para as emissões deste poluente. Pode também ser formado por oxidação de poluentes orgânicos, tais como o metano.
<b>PM</b> Partículas em suspensão	Queima de combustíveis fósseis, processos industriais e tráfego rodoviário. As partículas na atmosfera podem ser classificadas como primárias, quando são emitidas directamente a partir de fontes poluidoras, ou secundárias, quando se formam na atmosfera pela condensação de gases, ou como resultado de reacções químicas entre outros poluentes, em especial, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , compostos orgânicos voláteis e amoníaco.
<b>O<sub>3</sub></b> Ozono troposférico	Resulta de um conjunto de reacções fotoquímicas complexas, envolvendo compostos orgânicos voláteis, óxidos de azoto, oxigénio e radiação solar. É um dos principais constituintes do nevoeiro fotoquímico.

Fonte: DGA, 1999

## ANEXO 3

Contribuição relativa dos diferentes sectores económicos na emissão de alguns poluentes atmosféricos

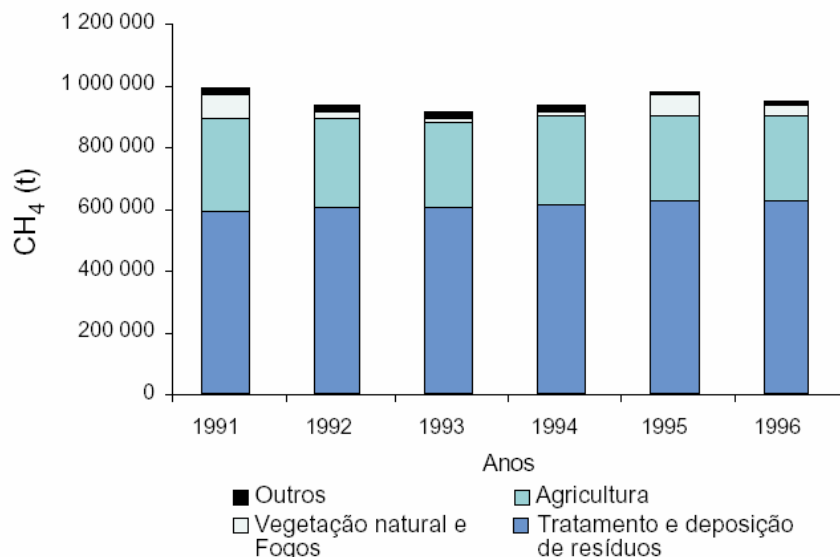
Figura 22 – Evolução da emissão de CO<sub>2</sub> entre 1990 e 1996 em Portugal



Nota: A categoria "Outros" inclui: processos de produção, extracção e distribuição de combustíveis, uso de solventes, outras fontes móveis e maquinaria, tratamento e deposição de resíduos, agricultura e silvicultura

Fonte: DGA, 1999

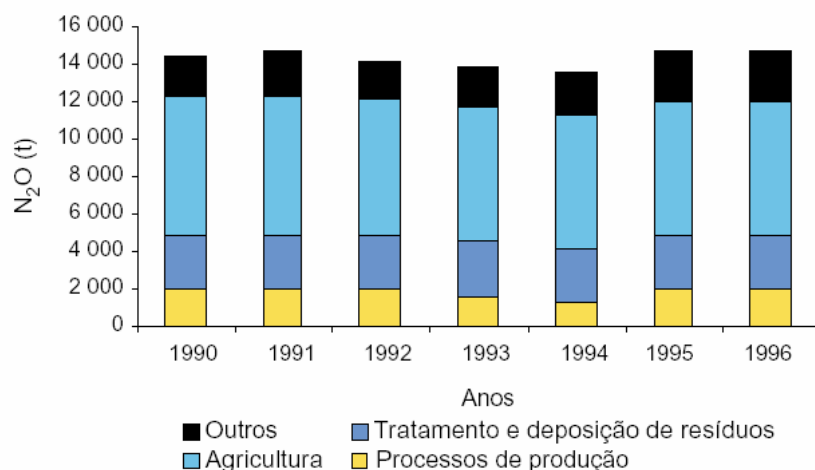
Figura 23 – Evolução da emissão de CH<sub>4</sub> entre 1990 e 1996 em Portugal



Nota: A categoria "Outros" inclui combustão na produção e transformação de energia, combustão não industrial, combustão na indústria, processos de produção, extracção e distribuição de combustíveis, uso de solventes, transporte rodoviário, outras fontes móveis e maquinaria.

Fonte: DGA, 1999

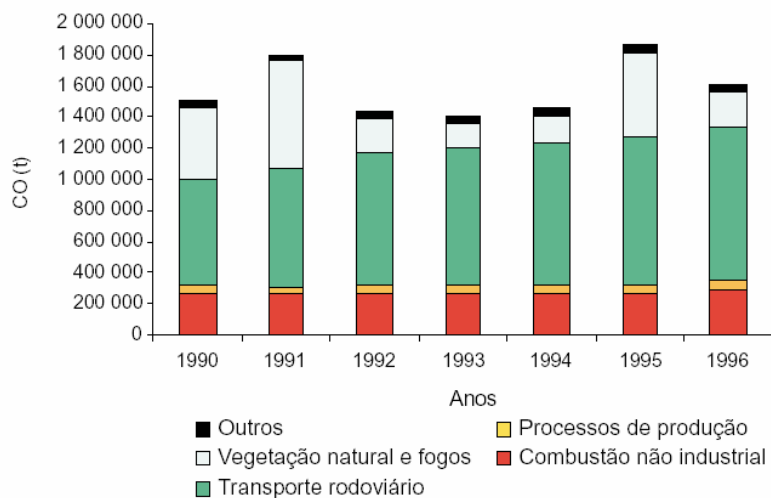
Figura 24 – Evolução da emissão de N<sub>2</sub>O entre 1990 e 1996 em Portugal



Nota: A categoria "Outros" inclui combustão na produção e transformação de energia, combustão não industrial, combustão na indústria, extração e distribuição de combustíveis, uso de solventes, transporte rodoviário, outras fontes móveis e maquinaria, vegetação natural e fogos.

Fonte: DGA, 1999

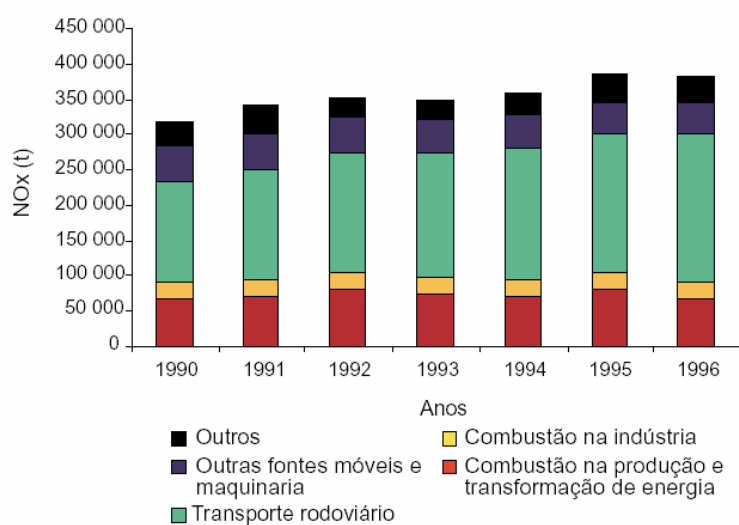
Figura 25 – Evolução da emissão de CO entre 1990 e 1996 em Portugal



Nota: A categoria "Outros" inclui combustão na produção e transformação de energia, combustão na indústria, extração e distribuição de combustíveis, uso de solventes, outras fontes móveis e maquinaria, tratamento e deposição de resíduos, agricultura.

Fonte: DGA, 1999

Figura 26 – Evolução da emissão de NO<sub>x</sub> entre 1990 e 1996 em Portugal



Nota: A categoria "Outros" inclui: combustão não industrial, processos de produção, extracção e distribuição de combustíveis, uso de solventes, tratamento e deposição de resíduos, agricultura, vegetação natural e fogos.

Fonte: DGA, 1999