

5

Resultados e Discussões

5.1

Avaliação das Eficiência para cada tipo de veículo

A avaliação dos protótipos será feita mediante a simulação do comportamento e consumo de energia, para cada ciclo descrito no Capítulo 2. Em cada avaliação serão analisados os seguintes indicadores:

- Potência fornecida ao VEH para sua movimentação
- Potência de regeneração do motor elétrico.
- Energia na bateria numa simulação de 20 horas aproximadamente.
- Potência do sistema de geração de energia elétrica numa simulação de 20 horas aproximadamente.

5.1.1

Avaliação da Eficiência mediante o Ciclo New York City Cycle

Os comportamentos dos indicadores mencionados anteriormente podem ser observados nas Figuras 5.1 a 5.4.

Tabela 5.1: Consumo e Eficiência - NYCC

Protótipos		4-motores	2-motores
VE	Consumo (kWh)	0,41	0,44
	Efi. SR (%)	76,52	76,31
	Efi. CR (%)	86,58	85,65
VEH	Consumo (Lt)	0,13	0,14
	Efi. SR (%)	26,78	26,71
	Efi. CR (%)	30,30	29,98
VC	Consumo (Lt)	0,36	
	Eficiência (%)	12,64	

Dados extraídos da simulação em Matlab.

Na Tabela 5.1, pode-se observar que o VEH é 65% menos eficiente que o VE e o VC é 85,4% menos eficiente que o VE. Também pode-se observar que o

consumo do segundo modelo aproximadamente é 6% a mais do que o primeiro, para os protótipos com tração elétrica e elétrica híbrida.

Pode-se observar que o veículo convencional consome 63,3% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 4 motores e 61% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 2 motores.

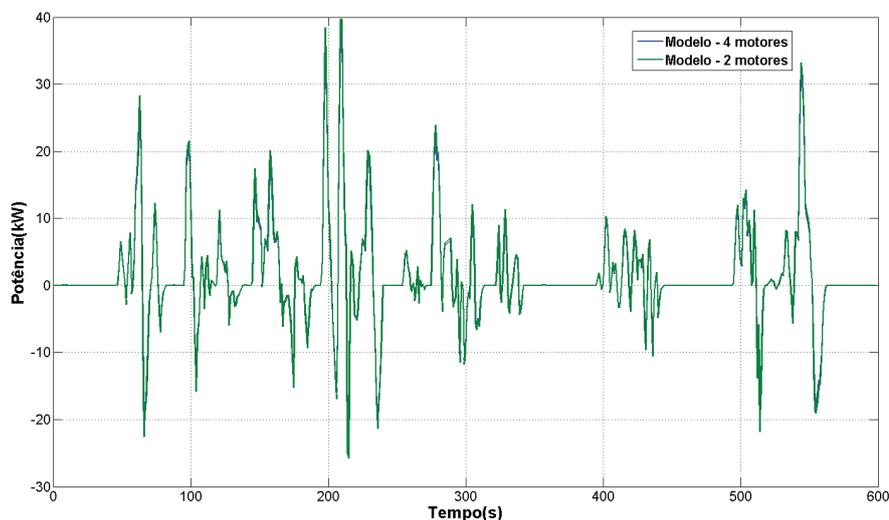


Figura 5.1: Comportamento da Potência fornecida ao veículo durante o percurso - NYCC

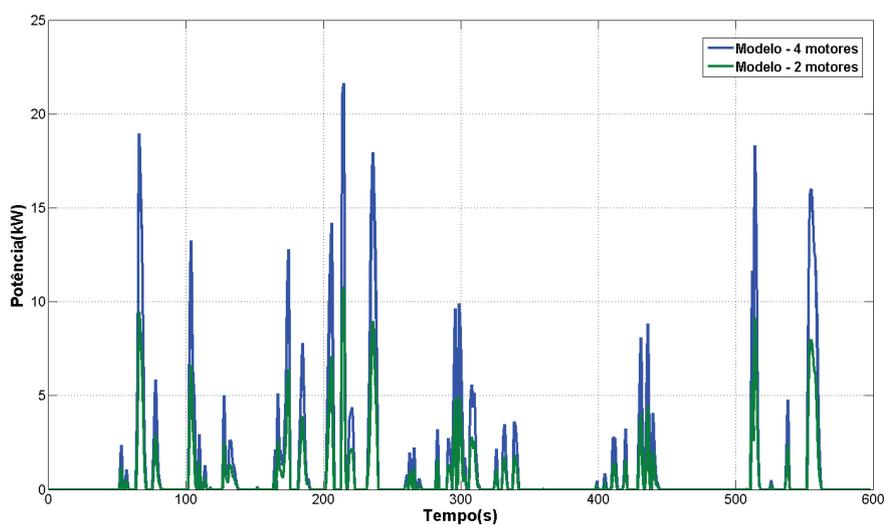


Figura 5.2: Comportamento da Potência Regenerada pelo conjunto de motores elétricos durante o percurso - NYCC

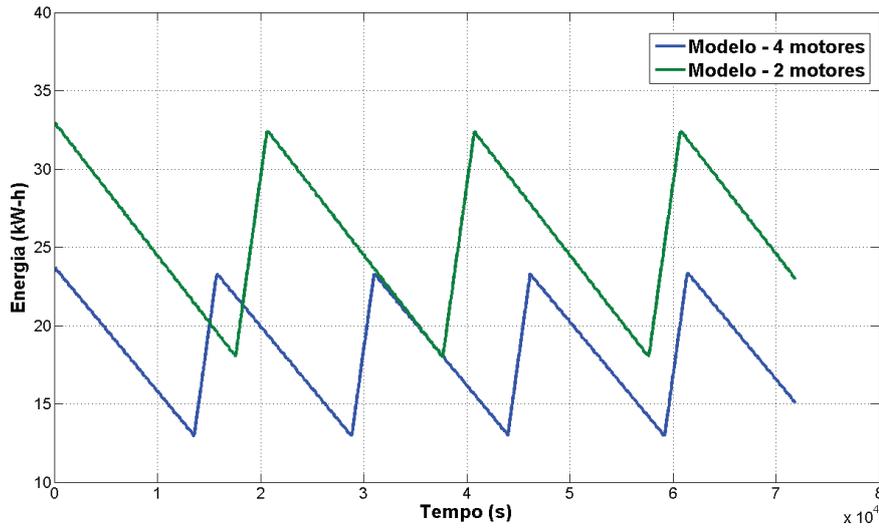


Figura 5.3: Comportamento da Energia na Bateria durante 120 vezes o percurso - NYCC

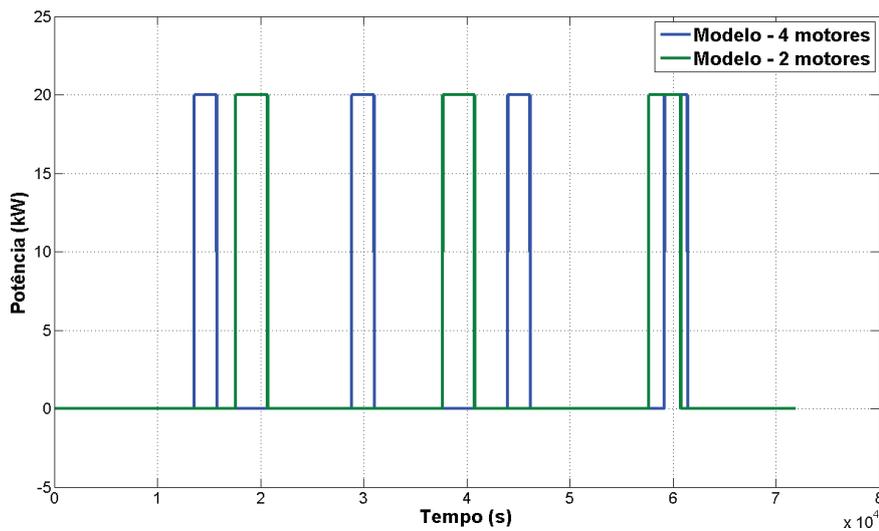


Figura 5.4: Comportamento da Potência do Gerador durante 120 vezes o percurso - NYCC

O ciclo de condução apresenta velocidades máximas baixas com relação aos outros ciclos de condução que serão testados, portanto pode ser observado que existe um menor fornecimento de energia por cada quilômetro percorrido.

Simula-se um tempo aproximado de 20 horas no qual precisa-se ligar quatro e três vezes o gerador para os modelos de quatro e dois motores elétricos respectivamente. As Figuras 5.3 e 5.4 mostram o mencionado anteriormente.

5.1.2 Avaliação dos Protótipos mediante o Ciclo Japan 10-15

Os comportamentos dos parâmetros aparecem nas Figuras 5.5 a 5.8.

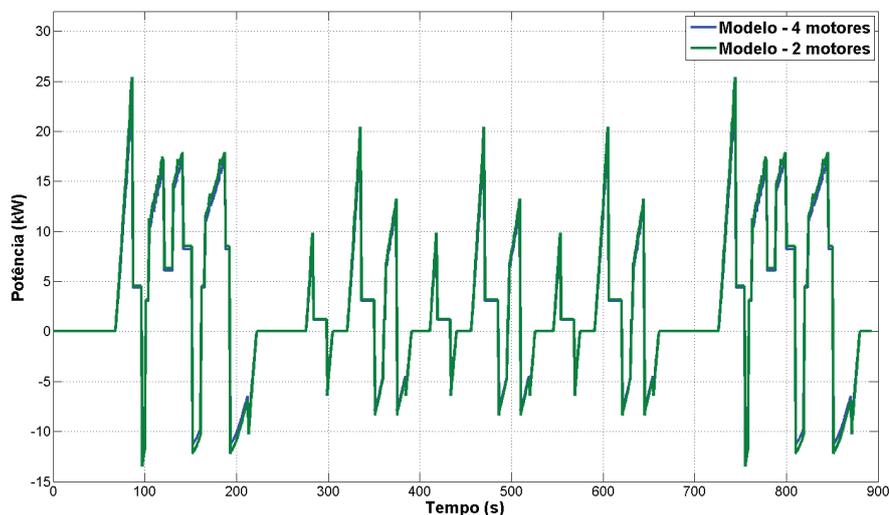


Figura 5.5: Comportamento da Potência fornecida ao veículo durante o percurso - JP10-15

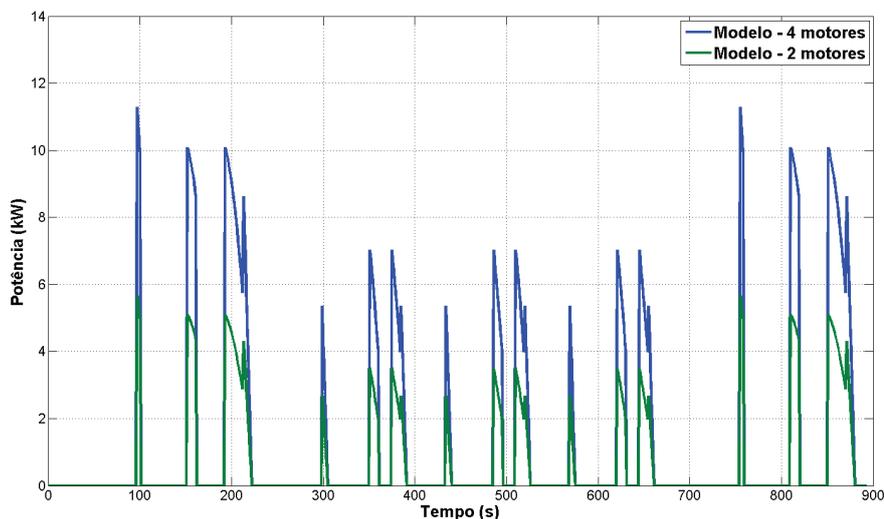


Figura 5.6: Comportamento da Potência Regenerada pelo conjunto de motores elétricos durante o percurso - JP10-15

Na Tabela 5.2, pode-se observar que o VEH é 65% menos eficiente que o VE e o VC é 82,7% menos eficiente que o VE. Também pode-se observar

que o consumo do segundo modelo aproximadamente é 5,3% a mais do que o primeiro, para os protótipos com tração elétrica e elétrica híbrida.

Pode-se observar que o veículo convencional consome 50,9% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 4 motores e 48,3% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 2 motores.

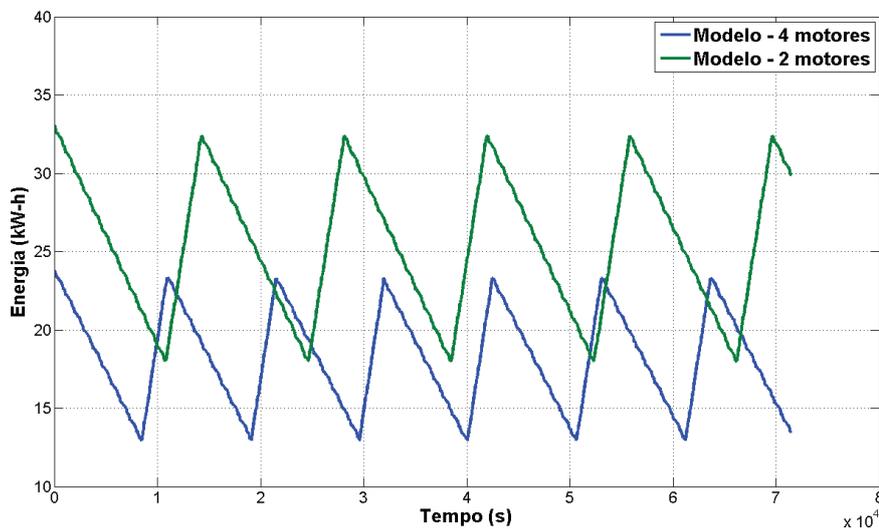


Figura 5.7: Comportamento da Energia na Bateria durante 80 vezes o percurso - JP10-15

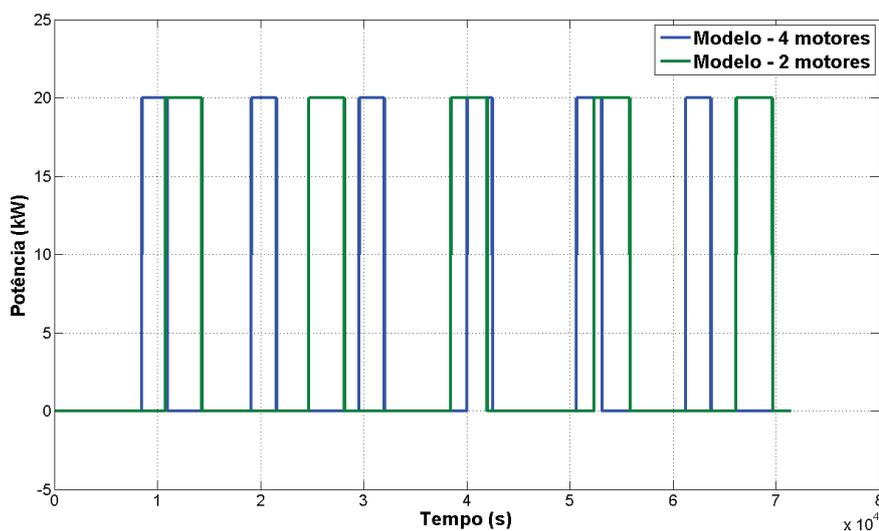


Figura 5.8: Comportamento da Potência do Gerador durante 80 vezes o percurso - JP10-15

Tabela 5.2: Consumo e Eficiência - Japan 10-15

Protótipos		4-motores	2-motores
VE	Consumo (kWh)	0,97	1,02
	Efi. SR (%)	77,81	75,15
	Efi. CR (%)	83,87	80,50
VEH	Consumo (Lt)	0,31	0,33
	Efi. SR (%)	27,23	26,30
	Efi. CR (%)	29,35	28,17
VC	Consumo (Lt)	0,64	
	Eficiência (%)	14,52	

Dados extraídos da simulação em Matlab.

Simula-se um tempo aproximado de 20 horas no qual precisa-se ligar seis e cinco vezes o gerador para os modelos de quatro e dois motores elétricos respectivamente. As Figuras 5.7 e 5.8 mostram o mencionado anteriormente.

5.1.3

Avaliação dos Protótipos mediante o Ciclo Japan 11

Os comportamentos dos diversos parâmetros podem ser observados nas Figuras 5.9 a 5.12.

Tabela 5.3: Consumo e Eficiência - Japan 11

Protótipos		4-motores	2-motores
VE	Consumo (kWh)	0,71	0,74
	Efi. SR (%)	79,75	79,34
	Efi. CR (%)	87,70	86,76
VEH	Consumo (Lt)	0,23	0,24
	Efi. SR (%)	27,91	27,77
	Efi. CR (%)	30,70	30,36
VC	Consumo (Lt)	0,41	
	Eficiência (%)	16,61	

Dados extraídos da simulação em Matlab.

Na Tabela 5.3, pode-se observar que o VEH é 65% menos eficiente que o VE e o VC é 81,7% menos eficiente que o VE. Também pode-se observar que o consumo do segundo modelo aproximadamente é 5,6% a mais do que o primeiro, para os protótipos com tração elétrica e elétrica híbrida.

Pode-se observar que o veículo convencional consome aproximadamente 45,1% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 4 motores e 41,9% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 2 motores.

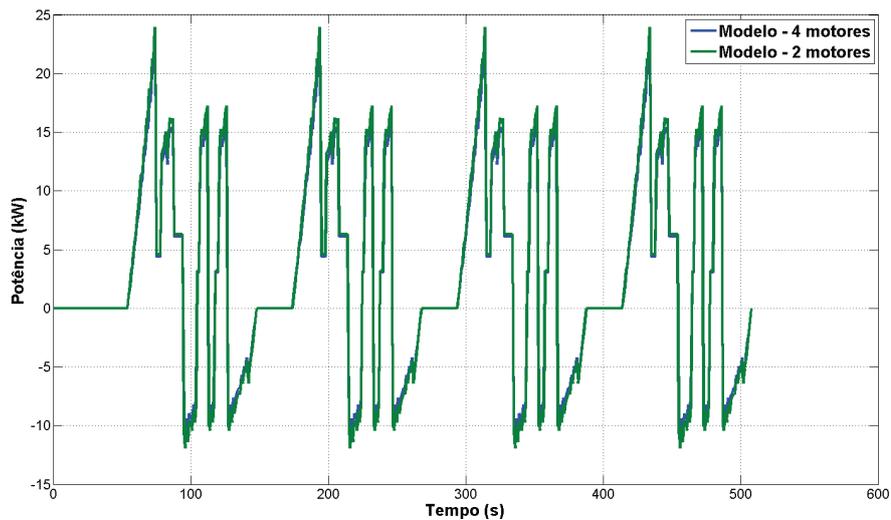


Figura 5.9: Comportamento da Potência fornecida ao veículo durante o percurso - JP11

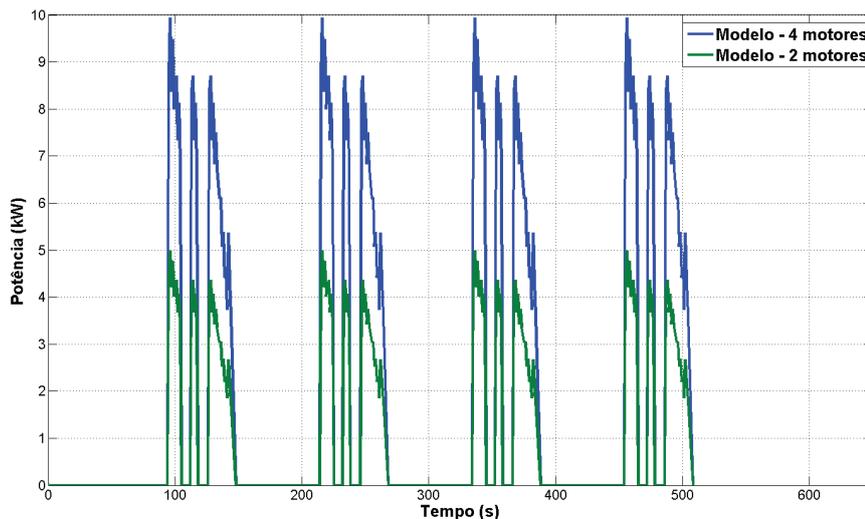


Figura 5.10: Comportamento da Potência Regenerada pelo conjunto de motores elétricos durante o percurso - JP11

Simula-se um tempo aproximado de 20 horas no qual precisa-se ligar sete e cinco vezes o gerador para os modelos de quatro e dois motores elétricos respectivamente. As Figuras 5.11 e 5.12 mostram o mencionado anteriormente.

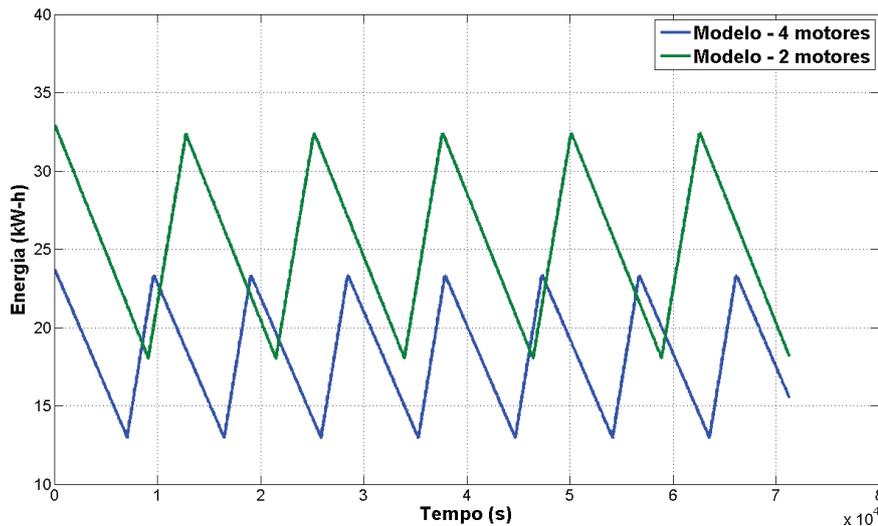


Figura 5.11: Comportamento da Energia na Bateria durante 140 vezes o percurso - JP11

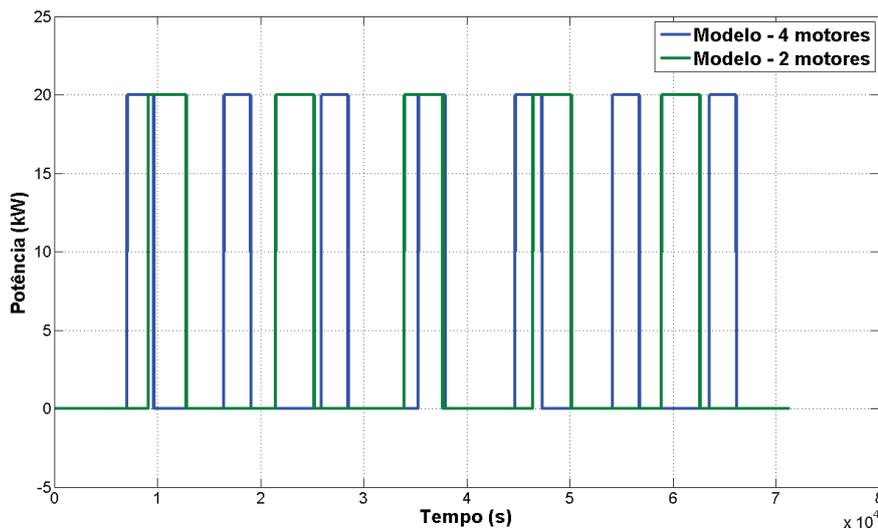


Figura 5.12: Comportamento da Potência do Gerador durante 140 vezes o percurso - JP11

5.1.4 Avaliação dos Protótipos mediante o Ciclo FTP-72

Os comportamentos dos parâmetros de interesse são mostrados nas Figuras 5.13 a 5.16.

Da Tabela 5.4, pode-se observar que o VEH é 65% menos eficiente que o VE e o VC é 82,9% menos eficiente que o VE. Também pode-se observar que o consumo do segundo modelo aproximadamente é 5,2% a mais do que o

primeiro, para os protótipos com tração elétrica e elétrica híbrida.

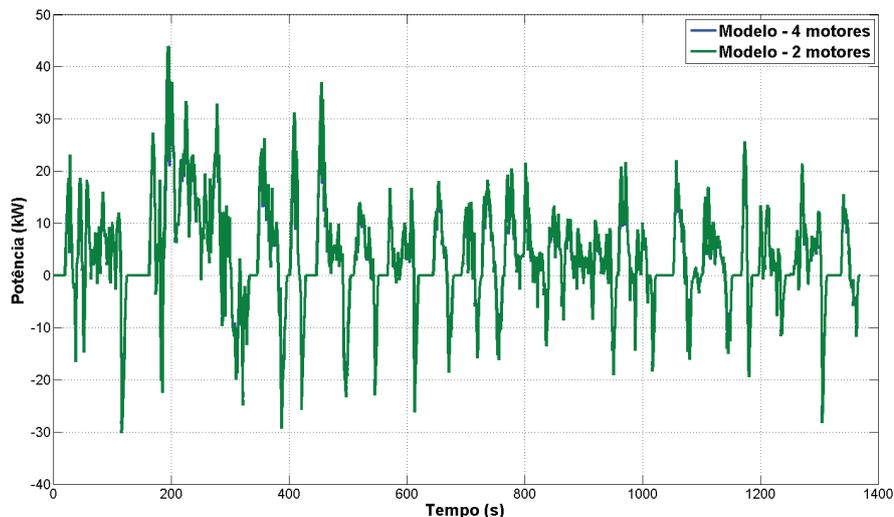


Figura 5.13: Comportamento da Potência fornecida ao veículo durante o percurso - FTP-72

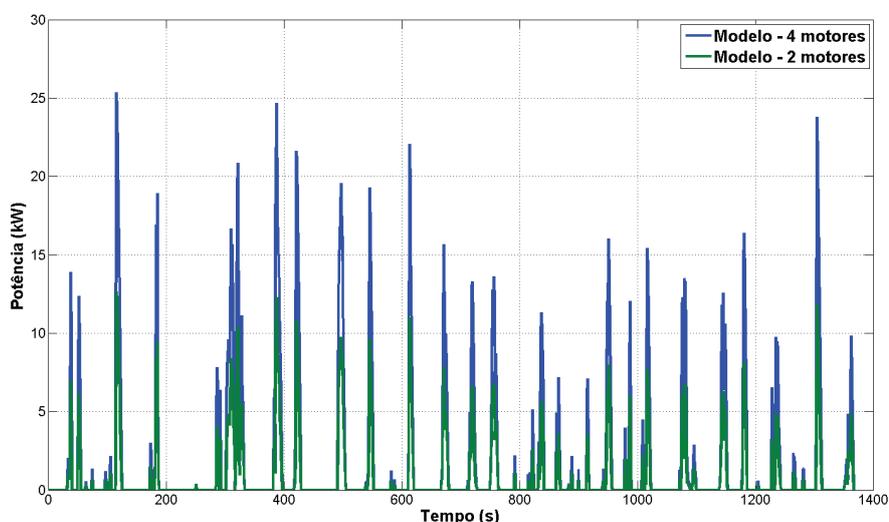


Figura 5.14: Comportamento da Potência Regenerada pelo conjunto de motores elétricos durante o percurso - FTP-72

Pode-se observar que o veículo convencional consome aproximadamente 50,6% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 4 e 48,1% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 2 motores.

Simula-se um tempo aproximado de 20 horas no qual precisa-se ligar oito e seis vezes o gerador para os modelos de quatro e dois motores elétricos

Tabela 5.4: Consumo e Eficiência - FTP-72

Protótipos		4-motores	2-motores
VE	Consumo (kWh)	1,90	1,99
	Efi. SR (%)	77,86	74,19
	Efi. CR (%)	83,88	79,35
VEH	Consumo (Lt)	0,61	0,64
	Efi. SR (%)	27,25	25,97
	Efi. CR (%)	29,36	27,77
VC	Consumo (Lt)	1,24	
	Eficiência (%)	14,32	

Dados extraídos da simulação em Matlab.

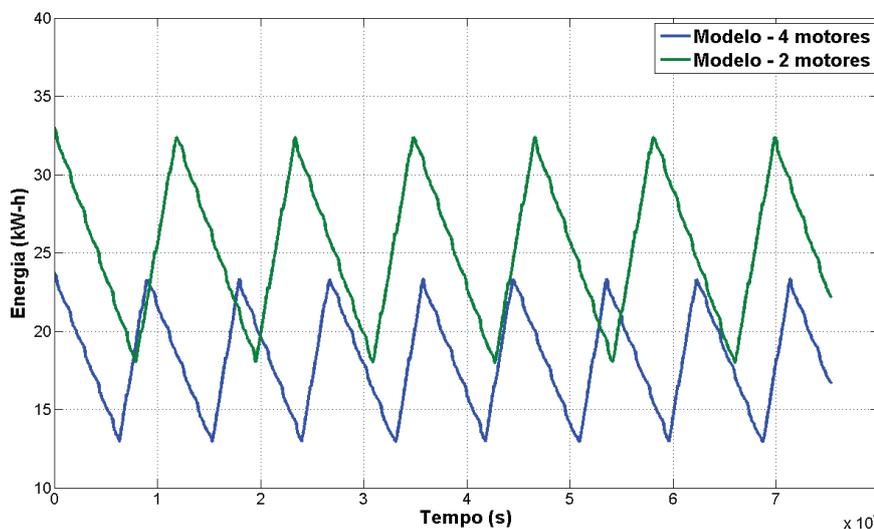


Figura 5.15: Comportamento da Energia na Bateria durante 55 vezes o percurso - FTP-72

respectivamente. As Figuras 5.15 e 5.16 mostram o mencionado anteriormente.

5.1.5 Avaliação dos Protótipos mediante o Ciclo EPA Highway

Os comportamentos dos diversos parâmetros podem ser observados desde a Figura 5.17 até a Figura 5.20.

Da Tabela 5.5, pode-se observar que o VEH é 65% menos eficiente que o VE e o VC é 79,2% menos eficiente que o VE. Também pode-se observar que o consumo do segundo modelo aproximadamente é 3,6% a mais do que o primeiro, para os protótipos com tração elétrica e elétrica híbrida.

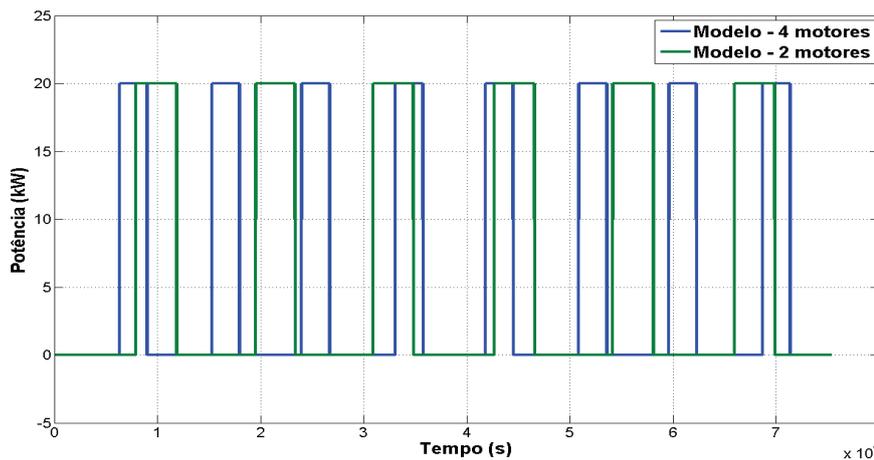


Figura 5.16: Comportamento da Potência do Gerador durante 55 vezes o percurso - FTP-72

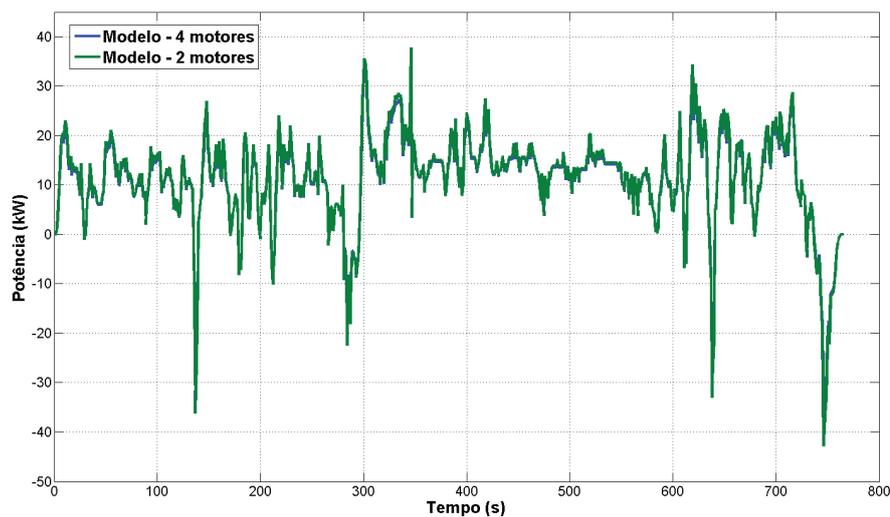


Figura 5.17: Comportamento da Potência fornecida ao veículo durante o percurso - EPA Highway

Pode-se observar que o veículo convencional consome aproximadamente 27,6% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 4 e 25,1% a mais respeito do protótipo elétrico híbrido de 2 motores.

Simula-se um tempo aproximado de 20 horas no qual precisa-se ligar oito e três vezes o gerador para os modelos de quatro e dois motores elétricos respectivamente. As Figuras 5.19 e 5.20 mostram o mencionado anteriormente.

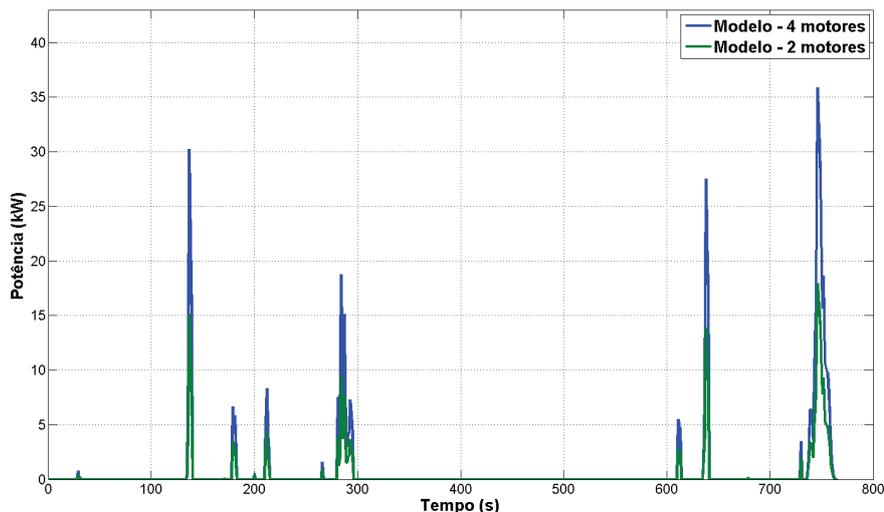


Figura 5.18: Comportamento da Potência Regenerada pelo conjunto de motores elétricos durante o percurso - EPA Highway

Tabela 5.5: Consumo e Eficiência - EPA Highway

Protótipos		4-motores	2-motores
VE	Consumo (kWh)	2,53	2,63
	Efi. SR (%)	80,32	71,17
	Efi. CR (%)	81,71	72,24
VEH	Consumo (Lt)	0,82	0,85
	Efi. SR (%)	28,11	24,91
	Efi. CR (%)	28,60	25,28
VC	Consumo (Lt)	1,13	
	Eficiência (%)	17,01	

Dados extraídos da simulação em Matlab.

5.2

Avaliação da Eficiência Energética do VEH

Nesta seção faz-se uma avaliação do fornecimento de energia para cada tipo de ciclo. Os diferentes protótipos serão avaliados com relação ao modelo original. O modelo original é o veículo com motor a combustão interna. O consumo foi analisado na bancada descrita no Capítulo 3 como mostra a Figura 3.1. Se fizeram 3 ensaios dos quais se obtiveram os consumos instantâneos. O consumo total foi analisado e se escolheu o mais representativo para cada ciclo de condução, com sua respectiva incerteza.

O custo da energia elétrica, referente ao mês de Dezembro de 2011, segundo a Light[40] é de R\$ 0,44760/kWh. O custo médio do combustível é de R\$ 2,85/lit.

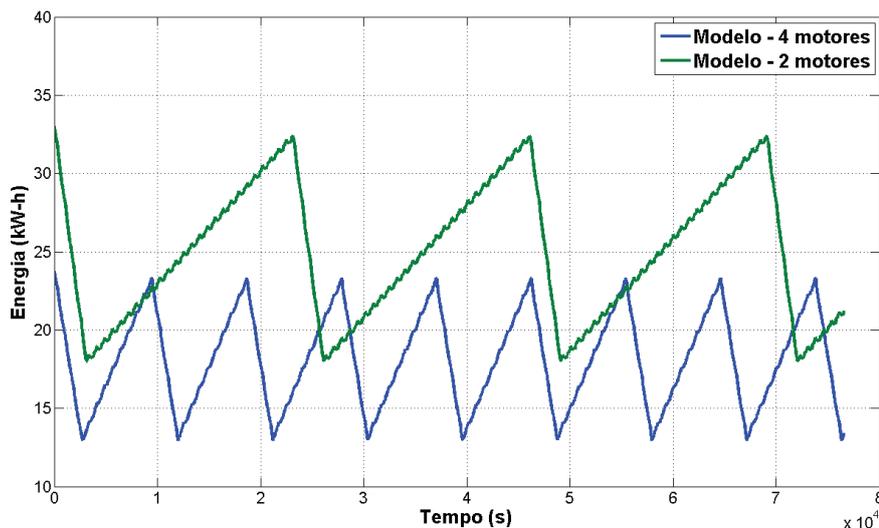


Figura 5.19: Comportamento da Energia na Bateria durante 100 vezes o percurso - EPA Highway

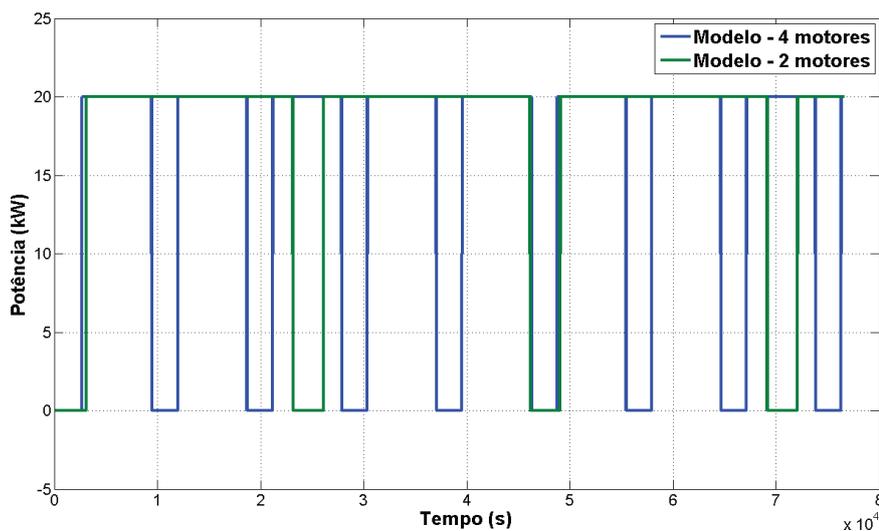


Figura 5.20: Comportamento da Potência do Gerador durante 100 vezes o percurso - EPA Highway

5.2.1 Avaliação do VEH mediante o Ciclo New York City Cycle

O percurso deste ciclo tem 1,95 km e o comportamento do fornecimento de energia para cada sistema proposto com relação ao veículo original pode ser observado nas Figuras 5.21 e 5.22.

Na Tabela 5.6, observa-se que existe uma economia de 11,6% e 10,9% por cada 100 km, por parte dos VEHs com regeneração com relação aos

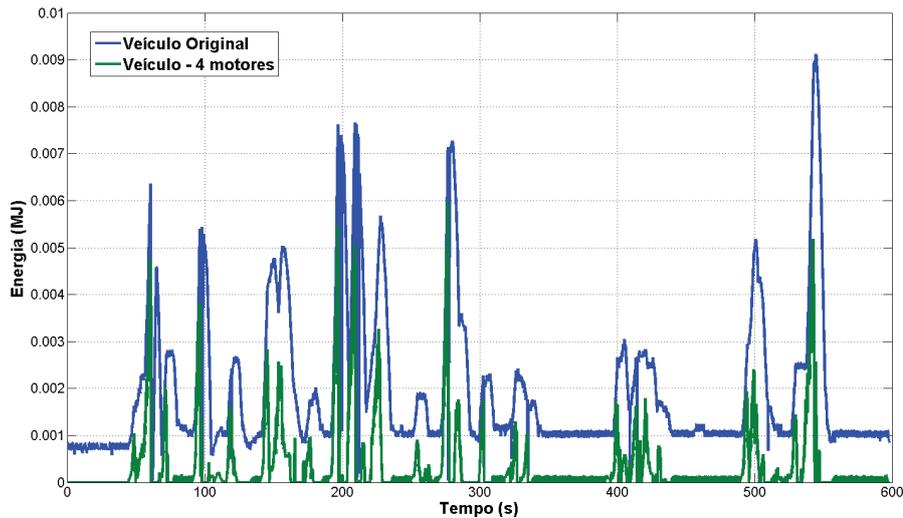


Figura 5.21: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 4 motores vs Veículo convencional - NYCC

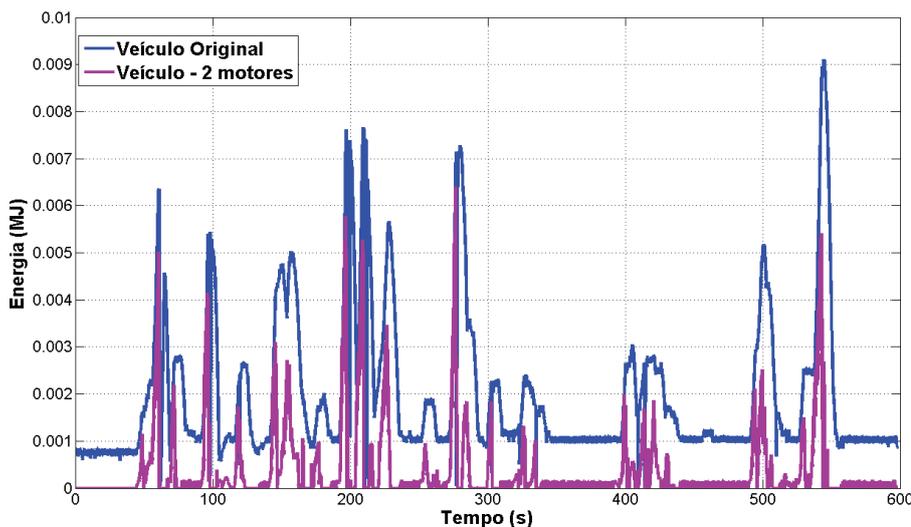


Figura 5.22: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 2 motores vs Veículo convencional - NYCC

VHEs sem regeneração, para os modelos de VHE com 4 e 2 motores elétricos respectivamente. Existe uma economia do recurso no modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas de 52% e 48,9% respectivamente, quando o sistema de propulsão elétrica não tem a componente que permite a regeneração da energia. Com um sistema de regeneração, o modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas têm uma economia do recurso econômico de 57,6% e 54,5% respectivamente.

Tabela 5.6: Custo da Energia por cada 100 km de percurso - NYCC

Tipos de Veículo	Normal R\$/100 km	S/ Reg. R\$/100 km	C/ Reg. R\$/100 km
Veículo Normal	52,88 ± 2,71%	-	-
VEH - 4 motores	-	25,40 ± 2,16%	22,45 ± 2,44%
VEH - 2 motores	-	27,00 ± 2,31%	24,06 ± 2,59%

Dados Extraídos da Simulação em Matlab.

5.2.2 Avaliação do VEH mediante o Ciclo Japan 10-15

O percurso deste ciclo tem 6,4 km e o comportamento do fornecimento de energia para cada sistema proposto com relação ao veículo original é mostrado nas Figuras 5.23 e 5.24.

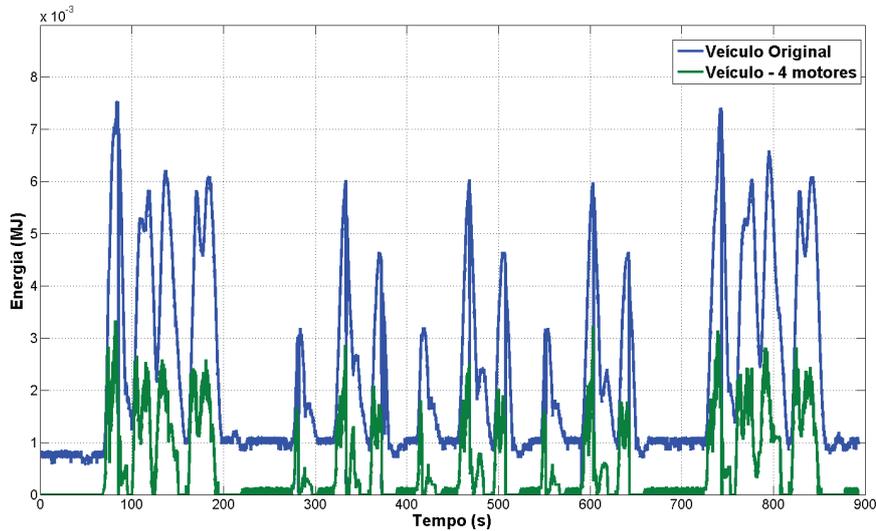


Figura 5.23: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 4 motores vs Veículo convencional - JP10-15

Na Tabela 5.7, observa-se que existe uma economia de 7,2% e 6,6% por cada 100 km, por parte dos VHEs com regeneração com relação aos VHEs sem regeneração, para os modelos de VHE com 4 e 2 motores elétricos respectivamente. Existe uma economia do recurso no modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas de 36,9% e 31,2% respectivamente, quando o sistema de propulsão elétrica não tem a componente que permite a regeneração da energia. Com um sistema de regeneração, o modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas têm uma economia do recurso econômico de 41,5% e 35,8% respectivamente.

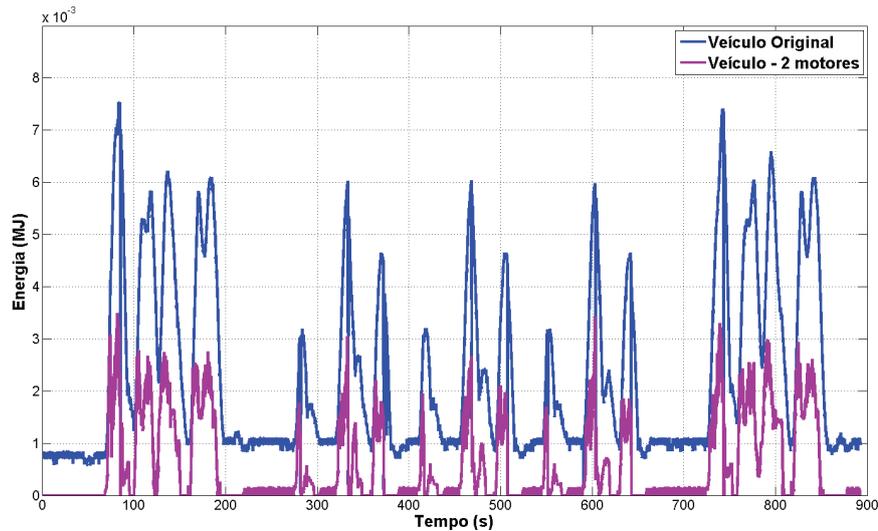


Figura 5.24: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 2 motores vs Veículo convencional - JP10-15

Tabela 5.7: Custo da Energia por cada 100 km de percurso - JP10-15

Tipos de Veículo	Normal R\$/100 km	S/ Reg. R\$/100 km	C/ Reg. R\$/100 km
Veículo Normal	28,38 ± 1,54%	-	-
VEH - 4 motores	-	17,89 ± 1,42%	16,60 ± 1,53%
VEH - 2 motores	-	19,51 ± 1,49%	18,22 ± 1,59%

Dados Extraídos da Simulação em Matlab.

5.2.3 Avaliação do VEH mediante o Ciclo Japan 11

O percurso tem 4,1 km e os comportamentos do fornecimento de energia, para cada sistema proposto com relação ao veículo original, pode ser observado nas Figuras 5.25 e 5.26.

Na Tabela 5.8, observa-se que existe uma economia de 9,1% e 8,5% por cada 100 km, por parte dos VHEs com regeneração com relação aos VHEs sem regeneração, para os modelos de VHE com 4 e 2 motores elétricos respectivamente. Existe uma economia do recurso no modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas de 31% e 26,8% respectivamente, quando o sistema de propulsão elétrica não tem a componente que permite a regeneração da energia. Com um sistema de regeneração, o modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas têm uma economia do recurso econômico de 37,3% e 33% respectivamente.

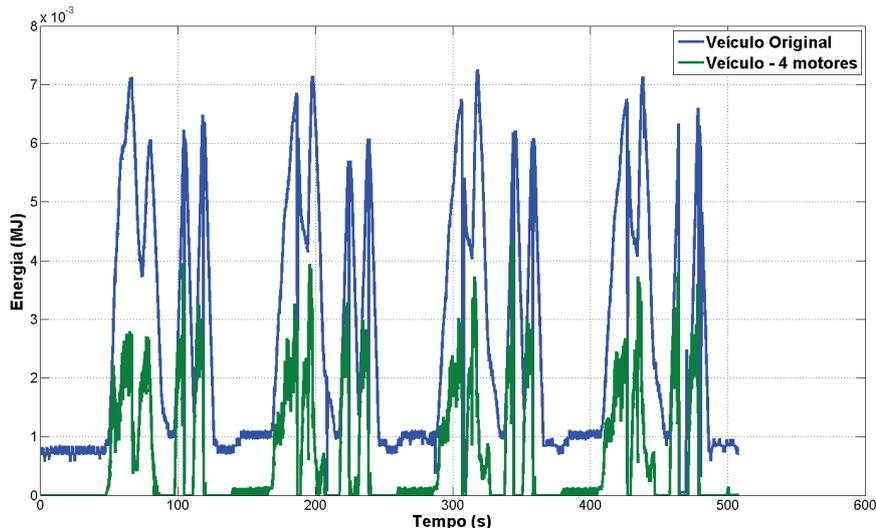


Figura 5.25: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 4 motores vs Veículo convencional - JP11

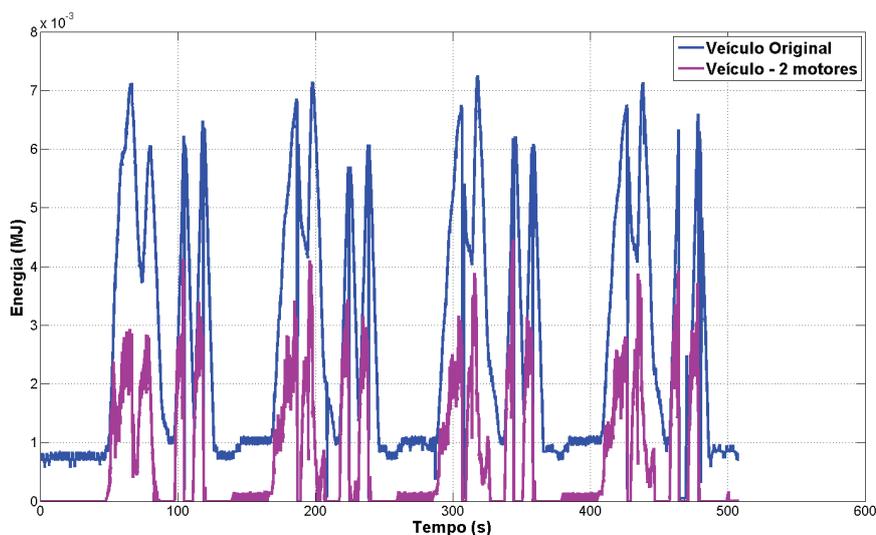


Figura 5.26: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 2 motores vs Veículo convencional - JP11

**5.2.4
Avaliação do VEH mediante o Ciclo FTP-72**

O percurso foi de 12,1 km e os comportamentos do fornecimento de energia para cada sistema proposto com relação ao veículo original podem ser observados nas Figuras 5.27 e 5.28.

Da Tabela 5.9, observa-se que existe uma economia de 7,2% e 6,5%

Tabela 5.8: Custo da Energia por cada 100 km de percurso - JP11

Tipos de Veículo	Normal R\$/100 km	S/ Reg. R\$/100 km	C/ Reg. R\$/100 km
Veículo Normal	28,73 ± 2,37%	-	-
VEH - 4 motores	-	19,81 ± 1,77%	18,02 ± 1,95%
VEH - 2 motores	-	21,04 ± 1,91%	19,24 ± 2,08%

Dados Extraídos da Simulação em Matlab.

Tabela 5.9: Custo da Energia por cada 100 km de percurso - FTP-72

Tipos de Veículo	Normal R\$/100 km	S/ Reg. R\$/100 km	C/ Reg. R\$/100 km
Veículo Normal	29,19 ± 0,79%	-	-
VEH - 4 motores	-	18,53 ± 0,84%	17,20 ± 0,97%
VEH - 2 motores	-	20,46 ± 0,97%	19,13 ± 1,05%

Dados Extraídos da Simulação em Matlab.

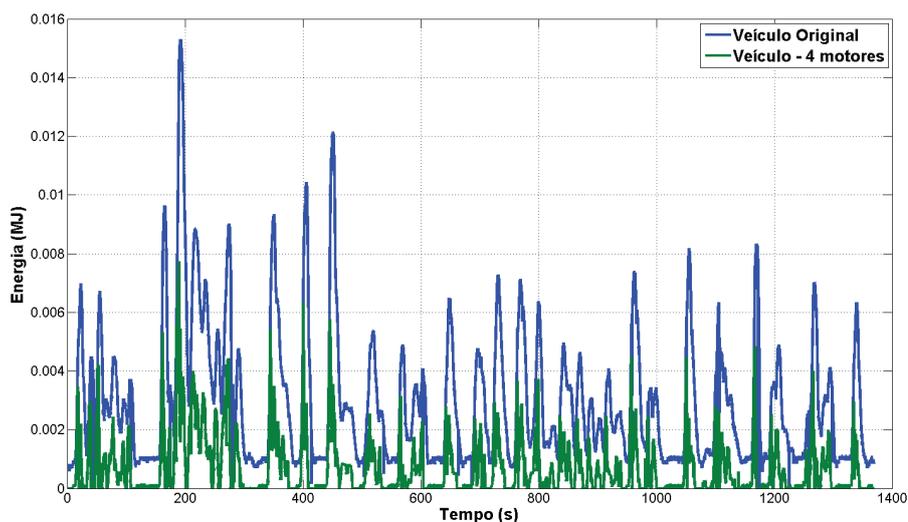


Figura 5.27: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 4 motores vs Veículo convencional - FTP-72

por cada 100 km, por parte dos VHEs com regeneração com relação aos VHEs sem regeneração, para os modelos de VHE com 4 e 2 motores elétricos respectivamente. Existe uma economia do recurso no modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas de 36,5% e 29,9% respectivamente, quando o sistema de propulsão elétrica não tem a componente que permite a regeneração da energia. Com um sistema de regeneração, o modelo de 4 motores nas rodas e 2 motores nas rodas têm uma economia do recurso econômico de 41,1% e

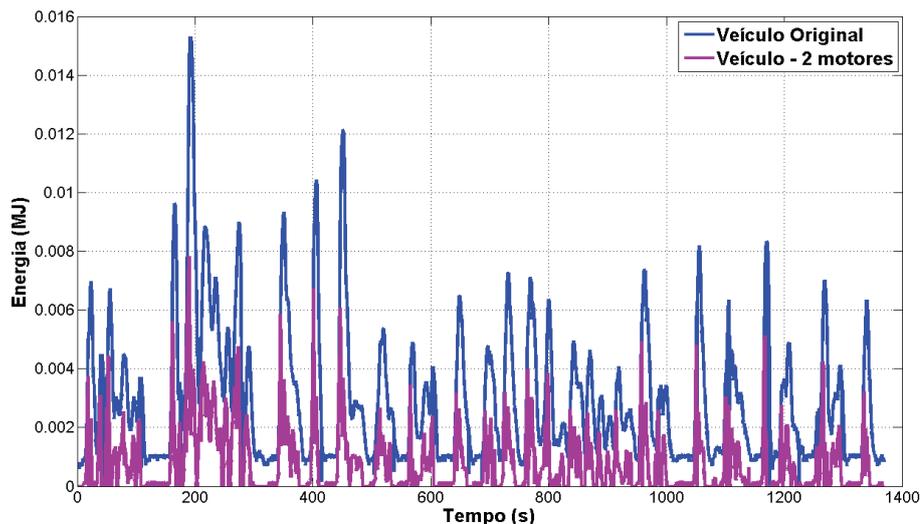


Figura 5.28: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 2 motores vs Veículo convencional - FTP-72

34,5% respectivamente.

5.2.5 Avaliação do VEH mediante o Ciclo EPA Highway

O percurso foi de 16,5 km e os comportamentos do fornecimento de energia para cada sistema proposto com relação ao veículo original mostra-se nas Figuras 5.29 e 5.30.

Tabela 5.10: Custo da Energia por cada 100 km de percurso - EPA Highway

Tipos de Veículo	Normal R\$/100 km	S/ Reg. R\$/100 km	C/ Reg. R\$/100 km
Veículo Convencional	19,57 ± 0,86%	-	-
VEH - 4 motores	-	17,64 ± 0,57%	17,34 ± 0,59%
VEH - 2 motores	-	20,63 ± 0,63%	20,32 ± 0,65%

Dados Extraídos da Simulação em Matlab.

Na Tabela 5.10, observa-se que existe uma economia de 1,7% e 1,5% por cada 100 km, por parte dos VEHs com regeneração com relação aos VEHs sem regeneração, para os modelos de VHE com 4 e 2 motores elétricos respectivamente. Existe uma economia do recurso no modelo de 4 motores nas rodas de 9,9% e um gasto a mais de 5,4% com relação ao modelo de 2 motores nas rodas, quando o sistema de propulsão elétrica não tem a componente que permite a regeneração da energia. Com um sistema de regeneração, o modelo

de 4 motores nas rodas tem uma economia do recurso econômico de 11,4% e um gasto a mais de 3,8% com relação ao modelo de 2 motores nas rodas.

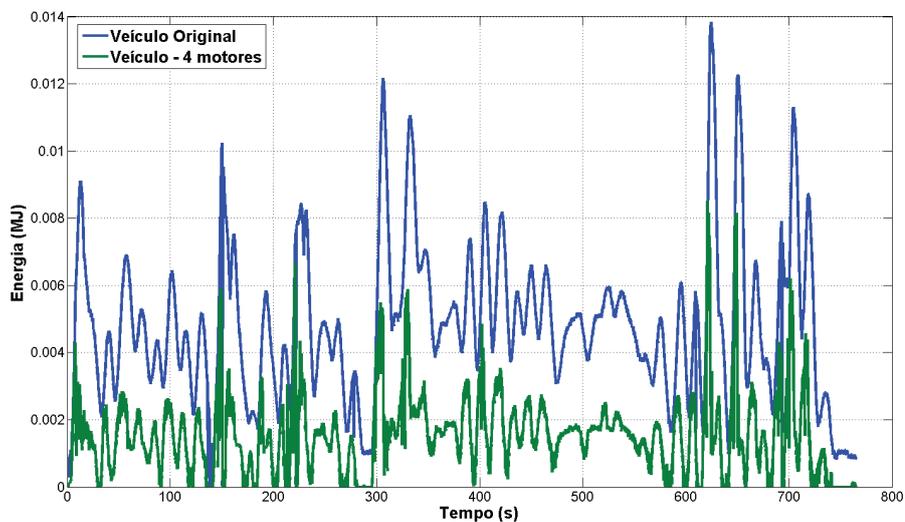


Figura 5.29: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 4 motores vs Veículo convencional - EPA Highway

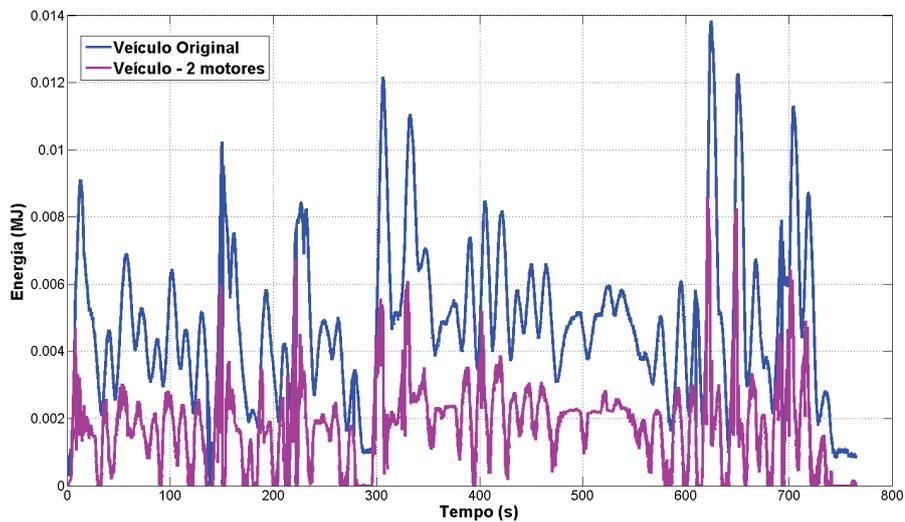


Figura 5.30: Energia Fornecida ao Sistema - Veículo com 2 motores vs Veículo convencional - EPA Highway

5.3 Análise do Consumo a Velocidade Constante

Tabela 5.11: Análise de Consumo de Combustível

Vel. (km/h)	Consumo (Lt/km)										
	Veículo Convencional										
	1ra Mar.	2da Mar.	3ra Mar.	4ta Mar.	5ta Mar.	6ta Marcha	Mod. 1	Mod. 2	VEH		
10	0,149								0,017	0,018	
15	0,144	0,102							0,017	0,019	
20	0,147	0,099							0,019	0,020	
25	0,157	0,097							0,020	0,021	
30	0,169	0,097	0,079						0,021	0,022	
35	0,182	0,100	0,079						0,023	0,024	
40		0,106	0,079						0,024	0,026	
45		0,110	0,079	0,067					0,026	0,027	
50		0,114	0,081	0,067	0,066				0,028	0,029	
55		0,120	0,079	0,068	0,061	0,057			0,030	0,032	
60		0,125	0,080	0,070	0,061	0,055			0,033	0,034	
65		0,133	0,083	0,070	0,061	0,055			0,035	0,037	
70			0,087	0,071	0,062	0,054			0,038	0,039	
75			0,090	0,074	0,063	0,053			0,041	0,042	
80			0,092	0,076	0,064	0,053			0,044	0,045	
85			0,096	0,078	0,066	0,054			0,047	0,048	
90			0,098	0,081	0,069	0,054			0,050	0,052	
95			0,103	0,085	0,071	0,056			0,054	0,055	
100			0,109	0,088	0,072	0,057			0,057	0,059	
105			0,116	0,091	0,074	0,060			0,061	0,063	
110				0,093	0,078	0,061			0,065	0,067	
115				0,097	0,082	0,063			0,069	0,071	
120					0,083	0,066			0,074	0,075	
125					0,087	0,069			0,078	0,080	
130						0,073			0,083	0,084	

Tabela 5.12: Eficiência do Veículo Convencional em Regime Constante

Velocidade (km/h)	Eficiência Global (%)					
	1	2	3	4	5	6
10	1,79	-	-	-	-	-
15	2,50	3,52	-	-	-	-
20	3,05	4,52	-	-	-	-
25	3,40	5,50	-	-	-	-
30	3,63	6,33	7,75	-	-	-
35	3,82	6,91	8,76	-	-	-
40	-	7,25	9,81	-	-	-
45	-	7,72	10,64	12,62	-	-
50	-	8,03	11,40	13,80	13,97	-
55	-	8,28	12,47	14,63	16,12	17,36
60	-	8,49	13,20	15,08	17,37	19,21
65	-	-	13,57	16,03	18,39	20,62
70	-	-	13,81	16,80	19,16	22,14
75	-	-	14,07	17,02	20,02	23,71
80	-	-	14,38	17,45	20,75	25,08
85	-	-	14,52	17,93	21,12	25,81
90	-	-	14,83	17,98	21,03	26,82
95	-	-	14,84	17,96	21,41	27,39
100	-	-	14,55	18,04	22,07	27,63
105	-	-	-	18,15	22,13	27,64
110	-	-	-	18,35	21,96	28,15
115	-	-	-	-	21,73	28,23
120	-	-	-	-	22,07	27,84
125	-	-	-	-	21,79	27,40
130	-	-	-	-	-	26,72

Na Tabela 5.11 e Figura 5.31, observa-se o comportamento do consumo de combustível para o veículo convencional assim como também para os protótipos de veículo elétrico híbrido. Na 5.12 mostra-se o comportamento da eficiência do veículo convencional para as diferentes velocidades em diferentes marchas.

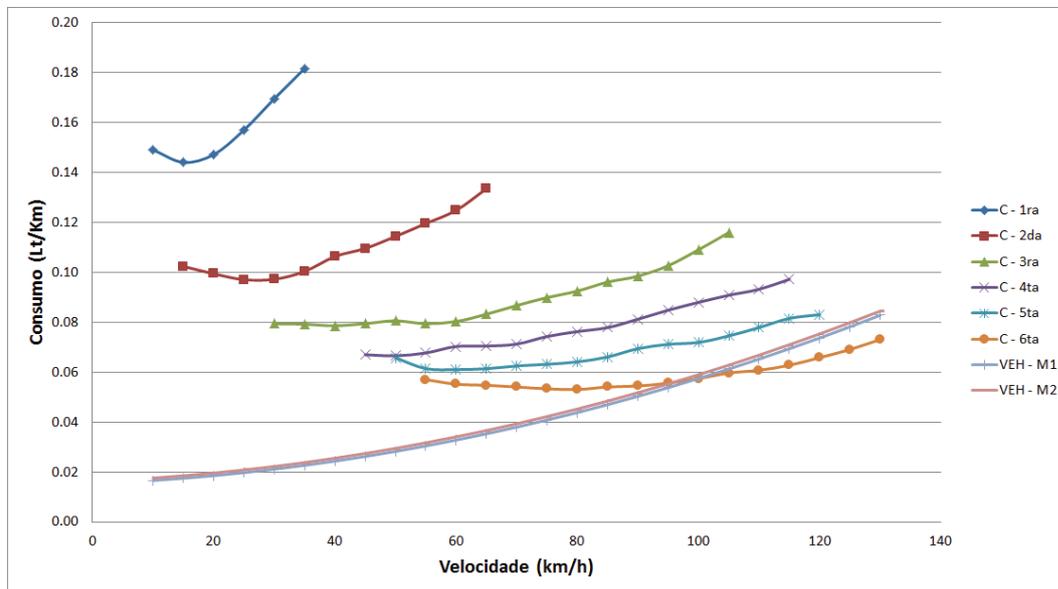


Figura 5.31: Consumo de Combustível do Veículo Convencional e do VEH