

5

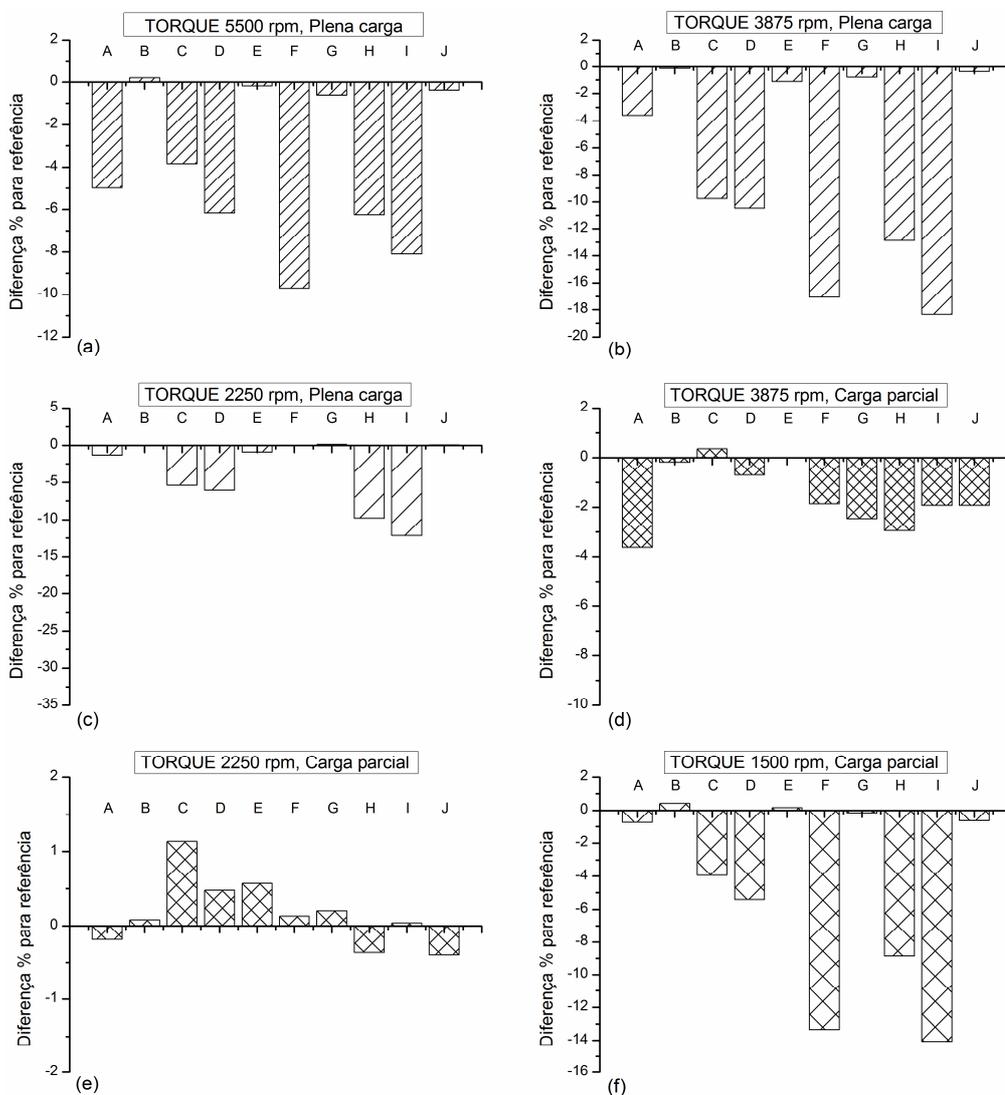
Resultados dos ensaios experimentais em banco de provas de motor e identificação de formulações reduzidas representativas de gasolinas comerciais oxigenadas

Os resultados dos ensaios experimentais realizados em banco de provas de motor com as formulações reduzidas e com o combustível de referência podem ser vistos na Tabela AV.1, no Apêndice V. Conforme exposto anteriormente faltam apenas os resultados da formulação F na condição de 2250 rpm, plena carga, devido à ocorrência de problemas operacionais com estes dados, sendo possível aproveitar apenas os dados referentes às emissões de poluentes. Na Tabela AV.1 constam os dados obtidos diretamente do sistema de controle do banco de provas, como a velocidade rotacional do motor, torque de eixo, consumo e consumo específico de combustível. Também estão presentes outros parâmetros de desempenho, calculados a partir destes dados, e as emissões de poluentes, que serão abordados no próximo capítulo. Juntamente com os parâmetros de desempenho, podem ser observadas na Tabela AV.1 as incertezas de medição e os avanços de ignição calibrados, com as indicações de *MBT* e *LDI*.

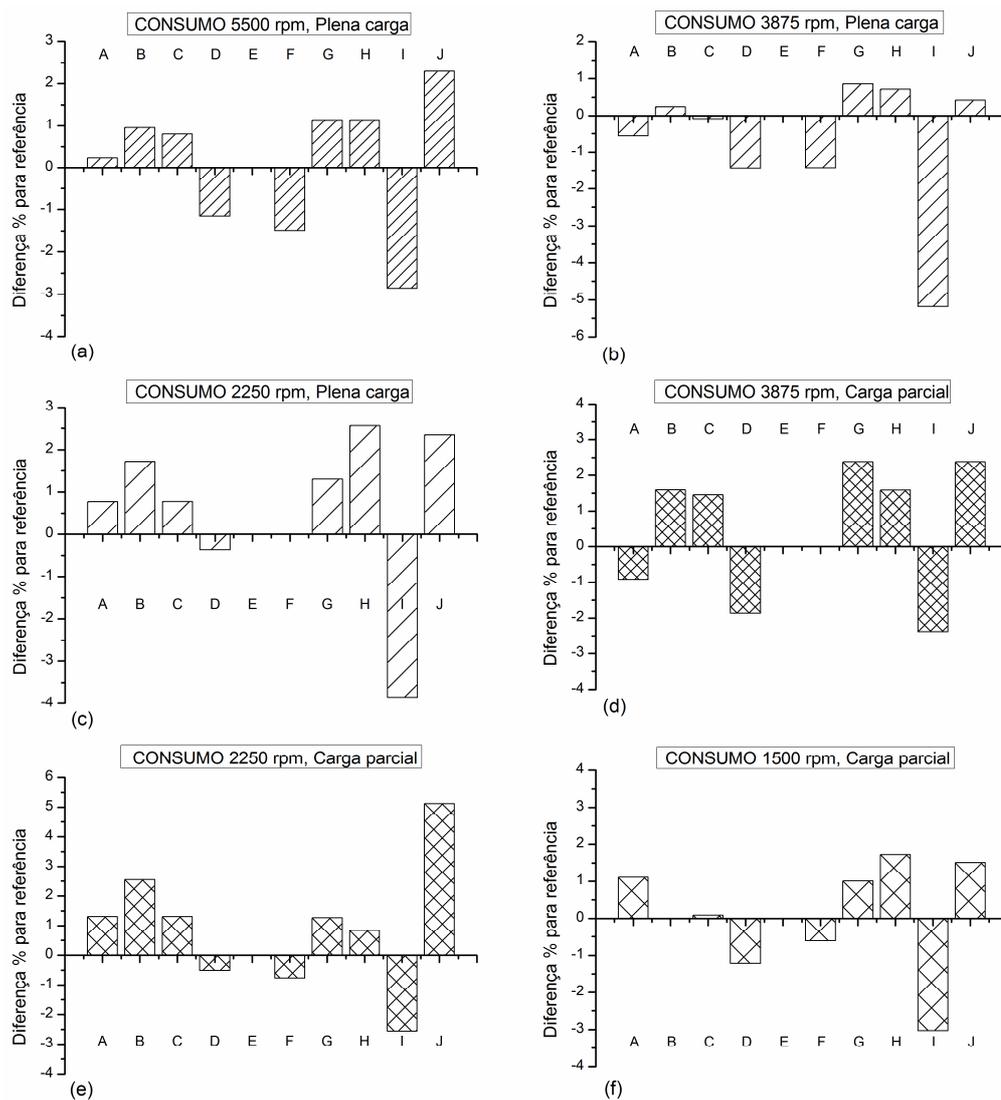
Para efeito de identificação das formulações reduzidas representativas de gasolina comercial nacional, foram analisadas as variáveis torque, consumo e consumo específico de combustível, além do comportamento geral do motor. As metodologias adotadas para comparações dos resultados foram descritas no Capítulo 4. Os resultados de cada formulação em cada condição operacional foram comparados com os resultados da gasolina comercial de referência obtidos no mesmo dia. Quando não foi possível realizar os ensaios da gasolina de referência no mesmo dia que a formulação, os resultados da formulação foram comparados com a média dos resultados obtidos com a gasolina de referência nos outros dias de teste. Isto ocorreu para as formulações A e C.

Nas Figuras 5.1(a-f) a 5.3(a-f) são mostrados os resultados comparativos de torque, consumo e consumo específico de cada formulação reduzida nas seis condições operacionais avaliadas (Tabela 4.5). Lembrar que as cargas parciais

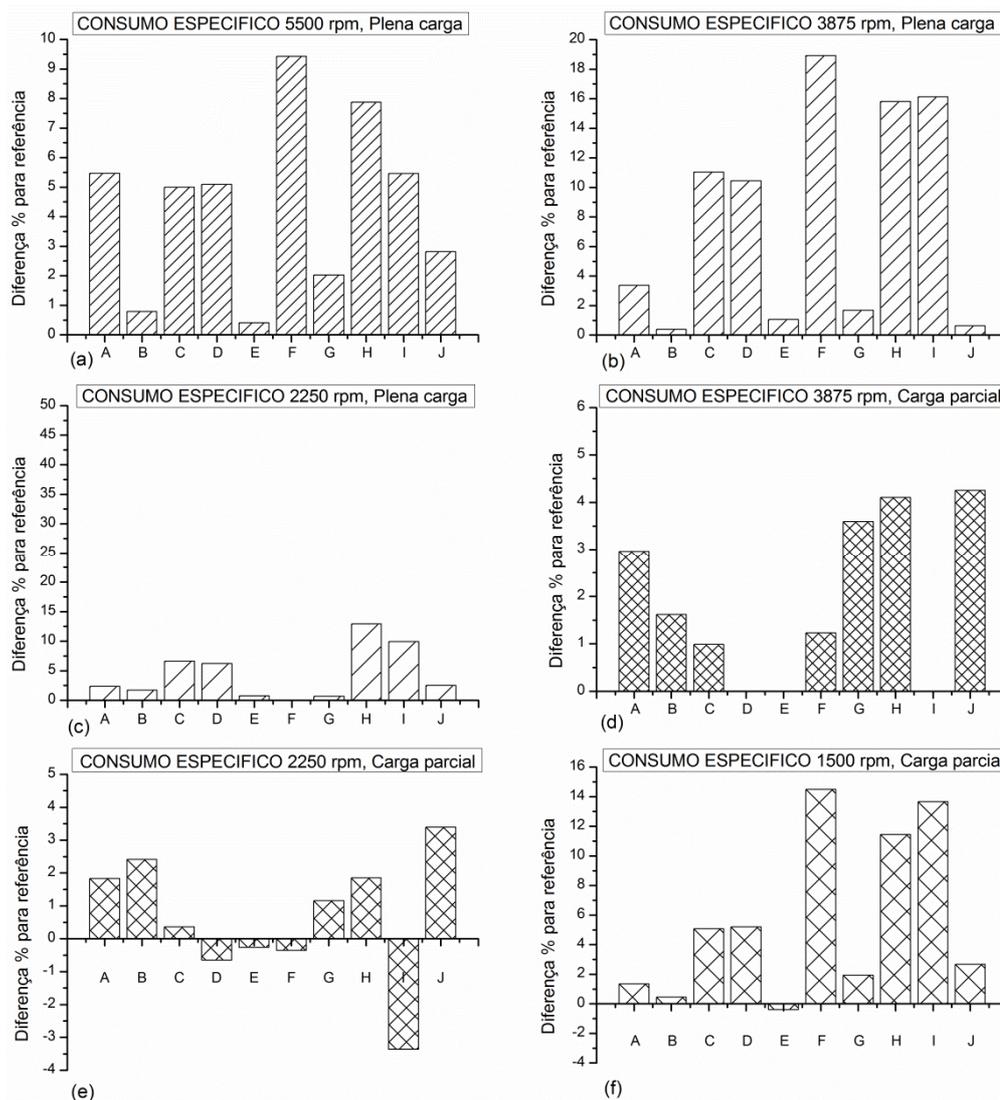
correspondem a 16% de abertura da borboleta de aceleração. Os resultados são apresentados como diferenças percentuais em relação à gasolina de referência, calculadas a partir dos dados médios de cada ensaio.



Figuras 5.1(a-f) – Torque, diferença percentual das formulações reduzidas em relação ao combustível de referência, (a) – 5500 rpm em plena carga; (b) – 3875 rpm em plena carga; (c) – 2250 rpm em plena carga (exceto formulação F); (d) – 3875 rpm em carga parcial; (e) – 2250 rpm em carga parcial; (f) – 1500 rpm em carga parcial.



Figuras 5.2(a-f) – Consumo de combustível, diferença percentual das formulações reduzidas em relação ao combustível de referência, (a) – 5500 rpm em plena carga; (b) – 3875 rpm em plena carga; (c) – 2250 rpm em plena carga (exceto formulação F); (d) – 3875 rpm em carga parcial, (e) – 2250 rpm em carga parcial; (f) – 1500 rpm em carga parcial.



Figuras 5.3(a-f) – Consumo específico de combustível, diferença percentual das formulações reduzidas em relação ao combustível de referência, (a) – 5500 rpm em plena carga; (b) – 3875 rpm em plena carga; (c) – 2250 rpm em plena carga (exceto formulação F); (d) – 3875 rpm em carga parcial, (e) – 2250 rpm em carga parcial; (f) – 1500 rpm em carga parcial.

Cabe observar que em alguns casos a diferença percentual é próxima de zero, de tal forma que as barras de resultados não são visualizadas na escala dos gráficos. A exceção é a formulação F na condição de 2250 rpm em plena carga, cujos dados não foram utilizados devido a problemas operacionais, conforme mencionado no Capítulo 4. Com o intuito de tornar a análise quantitativa, também foi utilizada a técnica de *Fisher LSD* para comparação estatística dos resultados. A Tabela 5.1 foi construída identificando com marcações os combustíveis e condições operacionais que apresentaram igualdade estatística para um nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

Tabela 5.1 – Igualdade estatística observada entre as formulações reduzidas e o combustível de referência.

Formulação	Velocidade [rpm]	Plena carga			Carga parcial		
		2250	3875	5500	1500	2250	3875
A	Torque				•	•	
	Consumo	†	†	†		†	†
	Consumo específico						Δ
B	Torque	•	•	•	•	•	•
	Consumo		†		†	†	†
	Consumo específico		Δ		Δ	Δ	Δ
C	Torque						•
	Consumo	†	†		†		†
	Consumo específico						
D	Torque						
	Consumo	†			†	†	
	Consumo específico						Δ
E	Torque				•		•
	Consumo	†	†	†	†	†	†
	Consumo específico					Δ	Δ
F	Torque					•	
	Consumo				†	†	†
	Consumo específico						
G	Torque	•			•		
	Consumo				†	†	
	Consumo específico						
H	Torque						
	Consumo					†	
	Consumo específico						
I	Torque					•	
	Consumo						
	Consumo específico						
J	Torque	•					
	Consumo		†				
	Consumo específico						

Torque - •, Consumo - †, Consumo específico - Δ (marcações indicam igualdade estatística).

A comparação entre as Figuras 5.1(a-f) a 5.3(a-f) e a Tabela 5.1 pode ser feita entendendo-se que; enquanto nas Figuras 5.1(a-f) a 5.3(a-f) observam-se as tendências gerais das comparações dos dados médios das formulações em relação à referência (diferenças percentuais), na Tabela 5.1 os resultados experimentais são diretamente comparados estatisticamente e levam em consideração as incertezas do tipo A dos ensaios. Se os testes fossem repetidos, os resultados poderiam apresentar alguma variabilidade devido ao grande número de fatores que influenciam ensaios em banco de provas de motores. Entretanto, as tendências gerais foram captadas nas Figuras 5.1(a-f) a 5.3(a-f) e Tabela 5.1 apresentadas, o que é reforçado pelas baixas incertezas observadas na Tabela AV.1. As baixas

incertezas são atribuídas à: elevada precisão dos equipamentos e instrumentação utilizada no banco de provas; adequada estabilização do motor nas condições operacionais antes da gravação dos dados e grande quantidade de pontos adquiridos, garantindo a confiabilidade dos resultados.

O motor operou de forma satisfatória com todos os combustíveis e condições operacionais ensaiadas, indicando a adequação dos componentes selecionados para elaboração das formulações reduzidas para representar o comportamento de gasolinas comerciais oxigenadas em motor. As Figuras 5.1(a-f) a 5.3(a-f) e Tabela 5.1 indicam maiores semelhanças gerais de desempenho das formulações B e E em relação à gasolina comercial utilizada como referência.

Conforme visto na Tabela 4.2, a formulação B possui o IAD (Índice Antidetonante) mais próximo do da gasolina de referência. As formulações E e G possuem IAD também semelhantes ao da referência, enquanto a formulação J possui o IAD mais elevado. As maiores proximidades dos IADs destas formulações se refletiram nas maiores semelhanças entre os torques desenvolvidos com as formulações B, E, G, J e a referência. Conforme será apresentado no Capítulo 6, referente à análise da influência dos componentes nas propriedades dos combustíveis e nos parâmetros de desempenho em motor, torque e IAD apresentaram as mesmas tendências nas condições operacionais susceptíveis à ocorrência de detonação. Os resultados também evidenciaram a existência de um limite para o torque desenvolvido para os combustíveis de mais alta octanagem, em função do projeto do motor.

A formulação E apresentou maior semelhança de consumo de combustível em relação ao combustível de referência, o que está associado a sua relação ar-combustível estequiométrica, semelhante à relação ar-combustível estequiométrica do combustível de referência. Conforme também será apresentado no Capítulo 6, consumo de combustível e relação ar-combustível estequiométrica apresentaram boa correlação em todas as condições operacionais avaliadas. Como tendência geral esperada, combustíveis com maiores relações ar-combustível estequiométricas apresentaram menores consumos de combustível.

Com relação ao consumo específico, as formulações B e E apresentaram maiores semelhanças em relação ao combustível de referência. No Capítulo 6 será observada correlação entre o consumo específico de combustível e a relação ar-

combustível estequiométrica nas condições operacionais não susceptíveis à detonação.

Conforme exposto na Revisão Bibliográfica, existe interesse considerável na identificação de formulações reduzidas representativas de combustíveis comerciais. Na literatura não foram encontradas correlações diretas entre o comportamento de formulações reduzidas em experimentos básicos mais controlados (em queimadores, máquinas de compressão rápida, tubos de choque, entre outros) e a habilidade da formulação reduzida em reproduzir o comportamento da gasolina em motor comercial de ignição por centelha.

A contribuição destes resultados consiste em iniciar a preencher esta lacuna, sugerindo os componentes e formulações reduzidas representativas de gasolinas comerciais oxigenadas, a partir de planejamento de experimentos e extensos dados experimentais em motor. Em particular foram identificadas as formulações B (31.25% iso-octano, 31.25% tolueno, 12.5% n-heptano e 25% etanol) e E (37.5% iso-octano, 18.75%, tolueno, 18.75% n-heptano e 25% etanol) para utilização como formulações reduzidas representativas de gasolinas comerciais oxigenadas de alta octanagem. Deve-se considerar também que as demais formulações avaliadas permitiram operação satisfatória do motor, sugerindo a generalização na utilização destes componentes para elaboração de formulações reduzidas representativas de gasolinas comerciais oxigenadas.

Os resultados podem auxiliar pesquisadores da área na seleção de formulações reduzidas que representem gasolinas comerciais para realização de estudos de correlações entre componentes e parâmetros de desempenho e combustão em motor. As formulações também podem ser utilizadas no desenvolvimento de cinética química e estudos de velocidade de chama laminar de combustíveis oxigenados, a partir da realização de experimentos mais controlados.

A relevância dos resultados foi atestada pela publicação de artigo técnico na revista *Fuel* da Elsevier (Machado et al., 2011).