



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

QUALIDADE DE IGNIÇÃO DO BUNKER - A EXPERIÊNCIA DO LABORATÓRIO DE COMBUSTÍVEIS INDUSTRIAIS DO CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DA PETROBRAS

Prada Jr., A. F.¹, Stor, L. M.²

¹ Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, Av. Hum
Quadra 07, Ilha do Fundão, email: prada@petrobras.com.br

² Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, Av. Hum
Quadra 07, Ilha do Fundão, email: stor@petrobras.com.br

Resumo – O método mais adotado para a determinação da qualidade de ignição do *bunker* é o CCAI (*Calculated Carbon Aromaticity Index*), baseado em uma equação que correlaciona a sua massa específica a 15°C com sua viscosidade cinemática a 50°C. Este trabalho aborda a experiência do laboratório de Combustíveis Industriais do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello – CENPES - na utilização do equipamento *Fuel Ignition Analyzer* (FIA). Este equipamento simula, em pequena escala, as condições de combustão encontradas em um motor semelhante aos utilizados em embarcações marítimas, para avaliação dessa característica para o *bunker* produzido pela PETROBRAS.

Palavras-Chave: combustível; qualidade; ignição; combustão

Abstract – CCAI (*Calculated Carbon Aromaticity Index*) is the most applied method to evaluate ignition quality for bunker fuel, which is based on an equation that considers the density at 15°C and kinematic viscosity at 50°C. This paper shows the experience from Industrial Fuels Laboratory from Leopoldo A. Miguez de Mello Development and Research Center – CENPES – in using Fuel Ignition Analyzer (FIA). This equipment simulates, in a small scale, the combustion parameters found in a motor similar to those used in ships to evaluate the bunker fuel ignition produced by PETROBRAS.

Keywords: fuel, quality, ignition, combustion, FIA

1. Introdução

A qualidade de ignição dos combustíveis marítimos vem se tornando alvo de preocupação tanto para as empresas que fornecem o combustível quanto para os donos de embarcações, uma vez que uma performance fora dos parâmetros adequados pode acarretar prejuízos por substituição do produto fornecido e pagamento de sobre-estadias, danos ao motor, batida diesel devido a um grande aumento de pressão em função do atraso de ignição, depósitos entre outros.

Dentre esses combustíveis encontra-se o óleo combustível marítimo, também conhecido como *bunker* ou *Marine Fuel (MF)*, usado em motores de combustão interna, obtido a partir da diluição de resíduo de vácuo ou asfáltico com óleo diesel, querosene de aviação ou com o Óleo Leve de Reciclo, proveniente do processo de Craqueamento Catalítico.

Sua produção é específica para cada refinaria em função das correntes disponíveis no momento e do mercado a ser atendido. Por ser tratar de uma mistura complexa de produtos oriundos dos processos de refinação do petróleo, o *Marine Fuel* é classificado em função dada pela viscosidade, onde a nomenclatura utilizada é dada por MF, seguido de um número que representa sua viscosidade em cSt (mm²/s) à temperatura de 50°C. Em termos de especificação, os produtos comercializados pela Petrobras atendem aos requisitos da norma ISO 8217.

A metodologia mais utilizada atualmente para caracterizar a qualidade do bunker, em termos das características de combustão é a correlação pelo CCAI (*Calculated Carbon Aromaticity Index*) que no entanto não garante a representatividade total do processo de combustão real. A equação que origina o valor do CCAI é função da viscosidade do produto em cSt (mm²/s) à 50°C e da sua massa específica à 15°C. No entanto, a combustão também é fortemente influenciada pelo tipo de motor e pelas suas condições operacionais, além de fatores como teor de asfaltenos, resíduo de carbono, entre outros, que não são representados na equação em questão.

Nesse sentido, o Laboratório de Combustíveis Industriais da Gerência de Combustíveis do CENPES implantou uma metodologia que visa apresentar uma avaliação mais representativa das características de combustão do *bunker*, utilizando o equipamento *Fuel Ignition Analyzer (FIA)*.

2. Implantação do Equipamento FIA

2.1. O Equipamento

O *Fuel Ignition Analyzer* tem como objetivo simular as condições operacionais encontradas em um motor ciclo diesel, utilizadas em navios, verificando as características de ignição de óleos residuais pesados, como por exemplo o *bunker*. A Figura 1 apresenta uma foto do equipamento em operação.



Figura 1. Foto do *Fuel Ignition Analyzer (FIA)*

O FIA permite avaliar a qualidade de ignição do *bunker* em termos das condições normalmente encontradas na operação do motor do navio, estabelecida como 500°C de temperatura e 45 bar de pressão. No entanto, o *software* controlador do equipamento permite que sejam modificadas as condições operacionais de temperatura e pressão de teste para efeitos de pesquisa como por exemplo, identificar o ponto ótimo operacional considerando novas formulações de *bunker* ou o efeito da temperatura e pressão sobre a ignição etc.

A quantidade de amostra requerida para a análise é pequena em torno de 50mL é suficiente, limitado a um valor máximo de 100mL, evitando que haja uma dilatação do volume dentro da câmara de aquecimento e que amostra seja transferida para pontos de menor pressão no sistema.

O equipamento possui um *software* capaz de monitorar e controlar a operação e todas as variáveis envolvidas no teste (temperatura de aquecimento da amostra, temperatura da água de resfriamento, pressão da câmara etc). Para iniciar o teste, é informada a viscosidade do produto à temperatura de 50°C para que seja determinada a temperatura ótima à qual deverá ser aquecido o produto para ser atingida a atomização desejada para a ignição. Após o condicionamento do FIA, são feitas as injeções do *bunker* misturado com ar pressurizado a 6 bar no interior da câmara de combustão. O número de injeções é flexível sendo escolhido pelo usuário.

Os resultados do teste são expressos, na forma gráfica (Figuras 2 e 3) e texto (Figura 4), em termos do Atraso de Ignição, Início da Combustão Principal, Período de Combustão, Taxa de Transferência de Calor e Número de Cetano FIA, sendo todos armazenados pelo programa controlador do ensaio. Todos os resultados obtidos são comparados automaticamente com a curva de referência previamente preparada e gravada no programa.

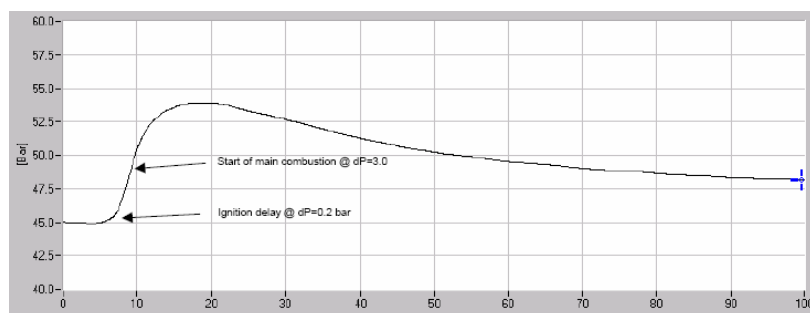


Figura 2. Exemplo de gráfico representando o Início da Combustão Principal e Atraso de Ignição.

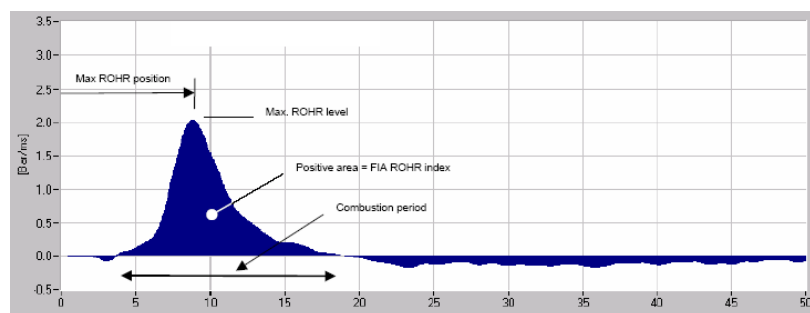


Figura 3. Exemplo de gráfico representando a Taxa de Transferência de Calor e Período de Combustão.

Table A2.2: Ignition and Combustion data - Summary:

Ignition delay:	5.1 ms	(dP=0.2 bar above initial chamber pressure)
Start of main combustion:	6.6 ms	(dP=3.0 bar above initial chamber pressure)
FIA Cetane Number:	34.3	
Combustion period:	13.8 ms	(ROHR >0)
Max. ROHR position:	6.7 ms	(Position relative to start of injection)
Max. ROHR level:	2.5 bar/ms	(Max. rate of combustion pressure increase)
FIA ROHR index:	196.3	(ROHR positive area)

Figura 4. Exemplo de tabela com algumas características analisadas pelo FIA dada pelo *software* controlador.

A curva de calibração do FIA (Figura 5) é construída a partir da mistura de dois produtos de número de cetano conhecidos (18,7 e 74,8) em proporções variadas, de acordo com a faixa a ser estudada pelo usuário.

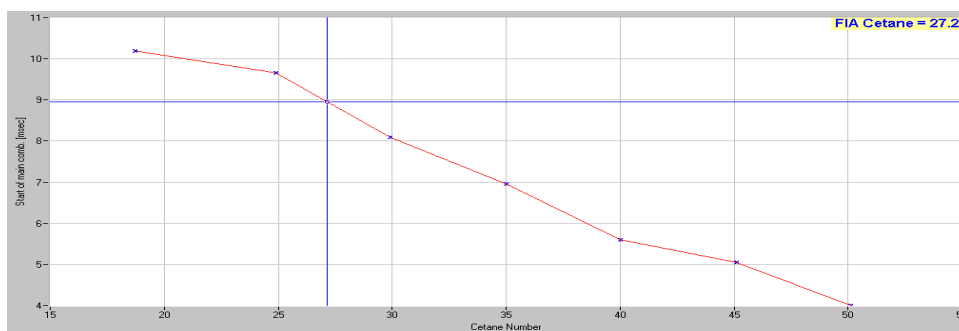


Figura 5. Exemplo de gráfico com a curva de calibração.

2.2. Informações Básicas

As principais propriedades a serem avaliadas a partir dos resultados obtidos pelo equipamento FIA são: o Atraso de Ignição e Início da Combustão Principal, que avaliam a qualidade de ignição e o Período de Combustão que avalia a qualidade de combustão.

O Atraso de Ignição corresponde ao tempo de atraso, em milissegundos, desde o começo da injeção até que se observe uma elevação na pressão de 0,2 bar acima da pressão inicial da câmara.

O Início da Combustão Principal refere-se ao tempo em milissegundos quando um aumento na pressão de 3 bars acima da pressão inicial da câmara é observado.

O Período de Combustão é o tempo em milissegundos decorrido desde o início da injeção e o final da combustão.

O CCAI (*Correlated Carbon Aromatic Index*) é uma relação empírica dada pela Equação 1:

$$CCAI = \rho - 81 - 141 * \log(\log(\nu + 0,85)) \quad (1)$$

onde,

ρ = massa específica à 15°C, kg/m³

ν = viscosidade cinemática à 50°C, cSt

2.3. Teste com o Equipamento

Com a finalidade de avaliar os resultados apresentados pelo equipamento, foram testadas 22 amostras. A seleção considerou amostras com diferentes origens e valores de CCAI para que pudessem ser comparadas com um método que representasse uma avaliação mais próxima da realidade encontrada em um motor de navio.

Os resultados obtidos na Tabela 1 nos permitem verificar uma fraca correlação entre as características de ignição e os valores de CCAI, em função dos baixos valores encontrados, conforme pode ser observado nas Figuras 6 a 8. Soma-se a esse fato, que as amostras pelo critério do CCAI estariam adequadas para uso, condição não confirmada pelos critérios de combustão e ignição verificados com o equipamento.

Tabela 1. Comparação CCAI x Qualidade de Ignição FIA

Amostra	CCAI	Atraso de Ignição (ms)	Início da Combustão Principal (ms)	Período de Combustão (ms)
1	807,9	8,6	11,0	20,9
2	814,3	9,9	12,85	20,3
3	815,8	6,1	8,4	11,5
4	818,3	5,4	7,0	11,6
5	821,2	10,75	14,1	27,1
6	828,2	12,1	15,8	29,4
7	828,3	6,95	10,35	10,7
8	829,7	6,7	10,05	12,0
9	830,1	7,3	10,6	13,1
10	830,4	6,1	7,85	9,1
11	832,8	8,2	12,05	15,5
12	835,7	13,2	17,55	31,4
13	841,1	14,3	18,8	39,1
14	848,9	16,0	20,5	40,0
15	850,4	10,4	15,05	16,1
16	850,4	7,1	9,85	10,8
17	851,6	10,6	15,35	12,8
18	852,4	10,65	15,9	18,1
19	853,2	11,2	17,35	19,1
20	853,5	9,65	16,65	21,2
21	855,4	9,55	18,25	18,2
22	857,7	10,7	15,35	16,6

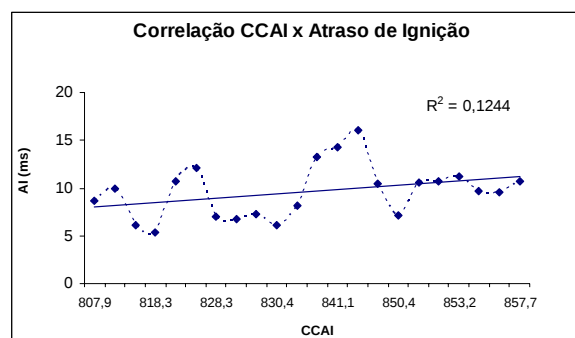


Figura 6. Gráfico - Correlação CCAI e Atraso de Ignição

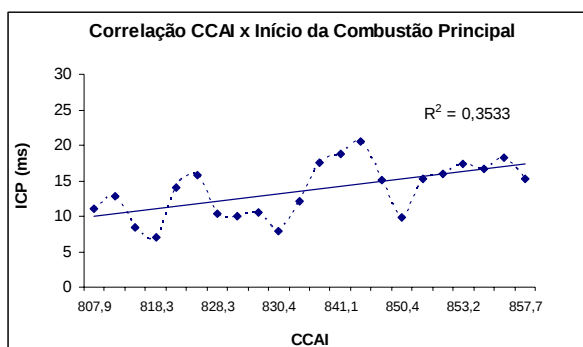


Figura 7. Gráfico - Correlação CCAI e Início da Combustão Principal

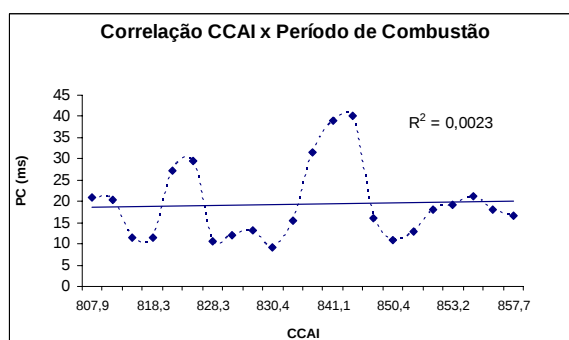


Figura 8. Gráfico - Correlação CCAI e Período de Combustão

2.4. Discussão dos Resultados Obtidos

O CCAI é o parâmetro usado internacionalmente para avaliação da qualidade de ignição do *bunker* segundo especificação internacional (ISO 8217) e também uma medida da aromaticidade do combustível. Algumas dessas moléculas presentes no *bunker* possuem elevada massa molecular, conhecidas como asfaltenos, e podem acarretar problemas de ignição.

A classificação da qualidade do *bunker* baseada somente no critério de valores de CCAI menores que 860, não é satisfatória uma vez que mesmo atendido esse critério, dificuldades de ignição nos motores podem ocorrer na prática.

Com o uso do equipamento FIA, para reproduzir as condições encontradas nos motores reais, foi analisada a existência de uma correlação positiva entre o CCAI e os parâmetros relevantes para a qualidade de ignição (Atraso de Ignição, Início do Combustão Principal e Período de Combustão), na tentativa de validar seu uso como previsão da qualidade de combustão dos *bunkers*.

Conforme pôde ser observado na Figura 6, algumas amostras com baixos valores de CCAI apresentaram valores de atraso de ignição maiores que “o esperado”. Valores considerados adequados para o *bunker* encontram-se em torno de 5 a 9 ms. Todas as análises foram realizadas sob uma mesma condição operacional pré-estipulada, controlada, constante e equivalente à encontrada nos navios. Comparando com os valores obtidos para o Início da Combustão Principal (Figura 7) e para o Período de Combustão (Figura 8), as mesmas observações realizadas anteriormente podem ser inferidas. Esses valores não podem ser demasiadamente longos, pois estão relacionadas a queima do combustível e quanto mais longo for o período de combustão, maior a indicação de qualidade inadequada do produto.

Tais evidências, especialmente a muito fraca correlação entre o CCAI e o Período de Combustão, sugerem a existência de fatores que influenciam na ignição e combustão do *bunker* que não estão sendo contemplados no cálculo do CCAI. Pode ser citado por exemplo, o tipo de diluente utilizado na formulação do produto, em termos de suas características físico-químicas.

3. Conclusões

A implantação do FIA no laboratório de Combustíveis Industriais do CENPES foi muito bem sucedida, com planejamento para atender aos requisitos de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SMS). Nessa oportunidade, foi possível estabelecer melhorias nos procedimentos de operação e limpeza do equipamento que não estavam descritas no manual de operação do equipamento.

Os resultados obtidos pelo FIA quando comparados com os calculados através do CCAI permitem inferir que este índice mostra-se adequado apenas como um indicativo da tendência de qualidade de ignição do *bunker*, e não como referência para a classificação da sua qualidade de ignição. Essa evidência é comprovada, uma vez que amostras

classificadas como aptas pelo critério adotado para o CCAI (valores menores que 860), podem demonstrar apenas características de ignição pobres, conforme avaliadas no equipamento FIA. Acrescenta-se que o CCAI não deve, inclusive, ser adotado como referência absoluta da medição da qualidade de ignição porque, esta característica está vinculada também ao projeto do motor e condições operacionais, onde valores superiores a 860 podem apresentar boa qualidade de ignição.

Verificou-se também que a formulação do *bunker* influi fortemente na característica de qualidade de ignição do bunker no sentido de uma ignição adequada ou mais pobre, relacionada principalmente com a aromaticidade das correntes utilizadas, que não devem ser muito elevadas.

Esses resultados confirmaram todas as expectativas no que tange a utilização deste equipamento pela PETROBRAS e demonstrou ser uma excelente ferramenta para a avaliação da qualidade de ignição e combustão do *bunker*. Este trabalho proporciona base para estudos futuros como por exemplo, da influência do tipo de diluente utilizado na formulação do *bunker* na sua qualidade de ignição.

4. Referências

STOR, L. M. Bunker – Implantação do FIA, 2002.

STOR, L. M. Qualidade de Combustão do Bunker, 2001.

TAKEDA, A., SHIODE, K., FISKA, G. Ignition and Combustion Qualities are very important for Engine Performance and Reliability, 2001.

FUELTECH AS Manual de Operação do Fuel Ignition Analyzer.