

# DESEMPENHO DE MOTOR CICLO DIESEL EM BANCADA DINAMOMÉTRICA UTILIZANDO MISTURAS DIESEL/BIODIESEL<sup>1</sup>

MARCIO CASTELLANELLI<sup>2</sup>, SAMUEL N. M. DE SOUZA<sup>3</sup>, SUEDÊMIO L. SILVA<sup>4</sup>, EURO K. KAILER<sup>5</sup>

**RESUMO:** Diante da previsão de escassez do petróleo, o éster etílico (biodiesel) tem-se apresentado como excelente opção de combustível alternativo para motores ciclo Diesel. As características do biodiesel são semelhantes às do diesel em termos de viscosidade e poder calorífico, podendo ser utilizado sem adaptações nos motores. Para a realização deste trabalho, utilizou-se de motor ciclo Diesel, de injeção direta, com quatro cilindros, sem adaptações. O motor foi acoplado a um dinamômetro e sistemas de aquisição de dados auxiliares. Avaliaram-se os desempenhos de torque, de potência e de consumo específico de combustível para as seguintes misturas diesel/éster etílico de soja: B2, B5, B10, B20, B50, B75 e B100. O melhor desempenho registrado deu-se com a mistura B20.

**PALAVRAS-CHAVE:** éster etílico, combustível alternativo, motor ciclo Diesel.

## PERFORMANCE OF CYCLE DIESEL ENGINE IN DYNAMOMETER USING DIESEL/BIODIESEL MIXTURES

**ABSTRACT:** Given the prediction of the scarcity of oil, the ethyl ester (biodiesel) has presented as an excellent alternative fuel option for cycle diesel engine. The characteristics of biodiesel are similar of diesel in terms of viscosity and the calorific power, being able to be used without adaptations in the engines. For the accomplishment of this work it was used a cycle diesel engine, of direct injection with four cylinders, without adaptations. The engine was connected to a dynamometer and acquisition systems of auxiliary data. The performances of torque, power and specific fuel consumption for the following mixtures diesel/soy ethyl ester had been evaluated: B2, B5, B10, B20, B50, B75 and B100. The best registered performance was given with the B20 mixture.

**KEYWORDS:** ethyl ester, alternative fuel, cycle Diesel engine.

## INTRODUÇÃO

A necessidade de substituição dos combustíveis derivados de petróleo sempre foi impulsionada pela busca de alternativas preferencialmente renováveis, oriundas da biomassa, tanto para os óleos combustíveis como para a gasolina. A procura de alternativas apóia-se nas oscilações de preço e de oferta de petróleo, e também nas previsões de sua escassez.

O Brasil não constitui exceção na busca de fontes alternativas de energia, e pelo fato de possuir enorme gama de matérias-primas para a produção de biodiesel, devem-se ter estudos gerando parâmetros de utilização do biodiesel em motores a ignição por compressão. Mesmo outros países, em outras condições climáticas menos favoráveis, senão adversas, já apresentam a disponibilidade de combustíveis alternativos para motores diesel.

É importante lembrar, também, os efeitos do racionamento de energia elétrica a que o Brasil foi submetido desde junho de 2001 até meados de 2002. Esse racionamento de energia elétrica

<sup>1</sup> Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Mecânico, Mestre em Engenharia Agrícola, PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel - PR, engcastellanelli@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Prof. Dr., Departamento de Engenharia Agrícola, PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel - PR, ssouza@unioeste.br

<sup>4</sup> Prof. Dr., Departamento de Engenharia Agrícola, PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel - PR, suedemio@unioeste.br

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel - PR, euronet@pop.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 18-1-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 20-2-2008

trouxe à tona, novamente, a necessidade de se pesquisarem fontes energéticas que, além de atuarem como alternativas aos combustíveis fósseis e à energia nuclear, sejam menos poluentes e renováveis.

Ainda, o fato de poderem ser oferecidas de forma descentralizada e com elevado grau de autonomia, as alternativas oriundas da biomassa surgem como excelente opção de energéticos para regiões afastadas ou de difícil acesso, como é o caso de certas regiões do Norte do País. Certamente, se o produtor rural tiver condições de produzir combustível suficiente para o atendimento de suas necessidades de energia em algumas operações da produção agrícola, senão todas, sem dependência das instabilidades no Oriente Médio e da variação dos preços do petróleo no mercado internacional, tem-se o cenário imaginado por aqueles que buscam uma forma mais racionalizada de produção e de transporte de alimentos.

Sem dúvida, a utilização de fontes alternativas de energia não provoca a degradação do meio ambiente nos níveis dos derivados de petróleo e suas emissões residuais tóxicas. Segundo PIMENTEL & BELCHIOR (2002), as emissões de CO, CO<sub>2</sub> e HC com o motor operando com óleo de dendê foram menores que com diesel. Esse fato não era esperado, devido à menor razão ar/combustível do dendê, já que o consumo de combustível com o motor operando com dendê foi maior. Uma possível explicação pela menor emissão de CO seria a presença do oxigênio na molécula de combustível.

Este trabalho teve como objetivo a proposta de utilização de novas alternativas que possam conduzir à minimização da dependência dos derivados de petróleo, a partir da busca constante de auto-suficiência energética. Avaliou-se um motor de ciclo Diesel de médio porte, normalmente utilizado em caminhões, podendo também ser acoplado a geradores, analisando-se os desempenhos de torque, de potência e de consumo específico de combustível.

## MATERIAL E MÉTODOS

O motor utilizado no experimento foi um CUMMINS 4BTA 3.9, com a turbina removida. Na Figura 1, está representado o motor acoplado ao dinamômetro.



FIGURA 1. Motor adaptado à base do dinamômetro. 1 - suporte; 2 - motor; 3 - turbina hidráulica; 4 - célula de carga, e 5 - fluxômetro. **Engine adjusted at base of dynamometer. 1 - support; 2 - engine; 3 - hydraulic turbine; 4 - cell of load, and 5 - fluxmeter.**

O biodiesel utilizado durante os testes foi adquirido da empresa BIOLIX - Indústria e Comércio de Combustíveis Vegetais Ltda., Rolândia, Paraná. Esse combustível foi obtido por meio do processo de transesterificação etílica do óleo de soja.

TABELA 1. Relação de misturas utilizadas no experimento. **Relation of mixtures used in the experiment.**

Denominação	Composição
B0	100% de óleo diesel convencional (testemunha)
B2	2% de Biodiesel de soja e 98% de diesel
B5	5% de Biodiesel de soja e 95% de diesel
B10	10% de Biodiesel de soja e 90% de diesel
B20	20% de Biodiesel de soja e 80% de diesel
B50	50% de Biodiesel de soja e 50% de diesel
B75	75% de Biodiesel de soja e 25% de diesel
B100	100% de Biodiesel de soja

Os valores de torque e de potência foram determinados somente em condição de máximo débito, ou seja, na condição de máxima aceleração. Os testes foram realizados com base na norma brasileira NBR ISO 1585 (ABNT, 1996).

O motor foi ensaiado em dinamômetro de absorção hidráulica, dotado de sistema de aquisição de dados computadorizado.

Para cada teste realizado para a avaliação de torque, de potência e de consumo do motor, foram também observadas e anotadas as condições atmosféricas: temperatura ( $t$ ), pressão ( $p$ ) e umidade relativa ( $u$ ). Esses valores serviram para a aplicação dos fatores de correção específicos devido às variações dessas condições, conforme determinam as normas de ensaio de motores. Esse acompanhamento foi realizado por meio de estação barométrica.

Para a determinação do consumo de combustível, foi utilizado um fluxômetro. Esse dispositivo é constituído por dois medidores de fluxo instalados em série com dois medidores de temperatura para monitorar o débito e o retorno da bomba injetora, conforme descrito por LOPES et al. (2003). Os dados referentes ao consumo de combustível foram armazenados no sistema computadorizado de aquisição e armazenamento de dados do tipo "micrologger CR23X", da marca CAMPBELL SCIENTIFIC INC.

Para os ensaios efetuados, foram registrados os seguintes dados: torque, rotação, pressão atmosférica local, temperatura local, umidade relativa local, temperatura de entrada e retorno de combustível, volume consumido de combustível e tempo de consumo desse combustível.

O programa computacional disponível de interpretação dos resultados registra os valores de torque e de potência, apresenta curvas de potência e de torque, além de planilhas com os dados obtidos e condições atmosféricas durante os ensaios, já aplicando os devidos fatores de correção.

O consumo de combustível foi determinado em todas as parcelas experimentais em unidade de volume (mL), por meio da diferença entre o volume de combustível que passa pela bomba injetora e o volume de combustível que retorna ao tanque, obtendo-se, assim, o volume realmente consumido pelo motor. Juntamente com o volume de combustível, foi monitorada a temperatura do mesmo, fornecida em °C, também em ambos os pontos, antes e depois da bomba injetora. A temperatura foi monitorada por meio de dois sensores de temperatura instalados em série, um antes e outro depois da bomba injetora.

Dessa forma, monitoram-se o volume e a temperatura do combustível que vai para a bomba injetora, e o volume e a temperatura de combustível que retornam para o tanque de combustível. Para calcular o consumo mássico de combustível em função do tempo, foi necessário determinar a variação da densidade em função da temperatura de cada uma das proporções de mistura biodiesel x diesel.

As misturas foram colocadas em provetas e imersas em banho com controle eletrônico de temperatura. Iniciou-se a leitura de densidade em 75 °C e reduziu-se a temperatura gradativamente para dar seqüência à leitura das densidades. Para obter a densidade de cada mistura, utilizou-se de densímetros de diferentes escalas, devido à significativa variação de valores nesse intervalo de temperatura.

Nesse procedimento, anotaram-se os valores de densidade em intervalos de 5 em 5 °C para a variação total de temperatura de 15 a 75 °C. Adotou-se essa faixa de temperatura por englobar os valores de temperatura das misturas registrados durante os ensaios. Na seqüência, determinaram-se os valores de consumo específico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os arquivos com os valores de potência, de torque e de consumo específico foram transferidos para o *software Origin 7.5* da *OriginLab Corporation*, o qual gerou gráficos com aproximação polinomial de grau dois. Nas Tabelas 2; 3 e 4, estão os dados extraídos das curvas.

Em relação ao diesel puro (testemunha), o biodiesel puro apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico quando se utilizou 100% de biodiesel, como ocorreu com PETERSON et al. (1996).

A potência máxima para o motor operando com o B100 foi de 44,1 kW a 2.467 rpm, e a potência máxima com o diesel foi de 45,8 kW a 2.333 rpm. As diferenças percentuais ao longo da curva foram variáveis, mas em todas as faixas de rotação percebeu-se que a potência desenvolvida com o B100 foi inferior (Figura 2).

TABELA 2. Valores de potência para todas as misturas. **Values of power for all mixtures.**

rpm	Potência (kW)							
	B0	B2	B5	B10	B20	B50	B75	B100
1.400	27,3	28,5	28,5	28,3	29,1	25,4	24,5	22,1
1.533	32,1	32,8	32,8	32,4	33,8	30,6	29,8	27,5
1.667	36,1	36,5	36,6	36,0	37,7	35,1	34,3	32,1
1.800	39,5	39,6	39,7	39,0	41,0	38,8	38,1	36,0
1.933	42,1	42,1	42,2	41,5	43,6	41,8	41,2	39,1
2.067	44,1	44,0	44,1	43,4	45,5	44,2	43,5	41,5
2.200	45,3	45,2	45,5	44,8	46,8	45,7	45,0	43,1
2.333	45,8	45,9	46,2	45,5	47,3	46,6	45,8	44,0
2.467	45,7	46,0	46,3	45,7	47,2	46,7	45,9	44,1
2.600	44,8	45,4	45,9	45,4	46,3	46,1	45,2	43,6

TABELA 3. Valores de torque para todas as misturas. **Values of torque for all mixtures.**

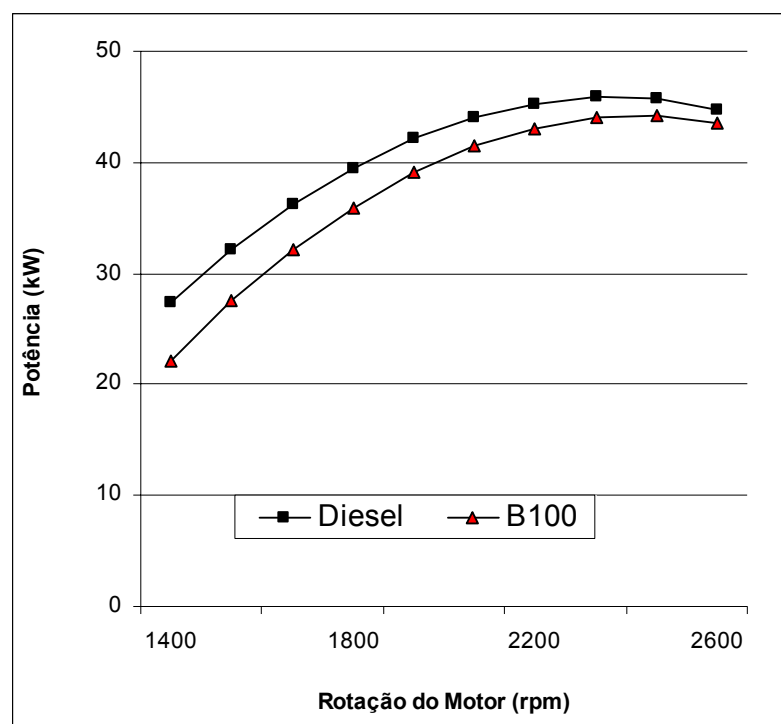
rpm	Torque (N m)							
	B0	B2	B5	B10	B20	B50	B75	B100
1.400	192,7	191,8	192,1	192,3	192,1	180,1	174,5	159,5
1.533	200,0	196,9	197,7	197,0	199,1	191,2	186,5	172,2
1.667	204,6	199,8	200,9	199,6	203,5	199,1	195,1	181,6
1.800	206,4	200,5	201,9	200,1	205,1	203,8	200,4	187,7
1.933	205,6	198,9	200,5	198,5	204,1	205,3	202,2	190,5
2.067	202,0	195,0	196,8	194,9	200,4	203,6	200,7	190,1
2.200	195,7	188,9	190,8	189,1	194,0	198,7	195,9	186,4
2.333	186,7	180,5	182,5	181,3	184,9	190,6	187,6	179,4
2.467	174,9	169,8	171,9	171,5	173,2	179,3	176,0	169,1
2.600	160,4	156,9	158,9	159,5	158,7	164,8	161,1	155,6

TABELA 4. Valores de consumo específico para todas as misturas. **Values of specific consumption for all mixtures.**

rpm	Consumo específico (g kWh <sup>-1</sup> )							
	B0	B2	B5	B10	B20	B50	B75	B100
1.400	289,7	272,8	276,8	277,9	284,6	311,5	325,2	368,7
1.533	282,7	270,0	273,3	275,7	278,2	299,2	310,2	348,0
1.667	280,0	270,6	273,3	276,6	275,7	291,6	300,4	333,1
1.800	281,5	274,6	276,6	280,7	277,2	288,7	295,8	324,2
1.933	287,3	282,0	283,3	288,1	282,7	290,4	296,3	321,3
2.067	297,3	292,8	293,4	298,6	292,2	296,9	302,0	324,2
2.200	311,6	306,9	306,9	312,3	305,6	307,9	312,9	333,1
2.333	330,1	324,4	323,7	329,2	323,1	323,7	329,0	347,9
2.467	352,8	345,3	343,9	349,3	344,5	344,1	350,2	368,6
2.600	379,7	369,6	367,5	372,6	369,9	369,2	376,7	395,3

TABELA 5. Valores máximos e mínimos obtidos durante os ensaios. **Maximum and minimum values obtained during the tests.**

Misturas	Potência Máxima (kW)	Torque Máximo (N m)	Consumo Específico Mínimo (g kWh <sup>-1</sup> )
B0	45,8 a 2.333 rpm	206,4 a 1.800 rpm	280 a 1.667 rpm
B2	46 a 2.467 rpm	200,5 a 1.800 rpm	270 a 1.533 rpm
B5	46,3 a 2.467 rpm	201,9 a 1.800 rpm	273,3 a 1.667 rpm
B10	45,7 a 2.467 rpm	200,1 a 1.800 rpm	275,7 a 1.533 rpm
B20	47,3 a 2.333 rpm	205,1 a 1.800 rpm	275,7 a 1.667 rpm
B50	46,7 a 2.467 rpm	205,3 a 1.933 rpm	288,7 a 1.800 rpm
B75	45,9 a 2.467 rpm	202,2 a 1.933 rpm	295,8 a 1.800 rpm
B100	44,1 a 2.467 rpm	190,5 a 1.933 rpm	321,3 a 1.933 rpm

FIGURA 2. Curvas de potência para o diesel e o B100. **Curves of power for the diesel and the B100.**

O torque máximo utilizando o B100 foi de 190,5 N m a 1.933 rpm, e o torque máximo para o diesel mineral foi de 206,4 N m a 1.800 rpm (Figura 3).

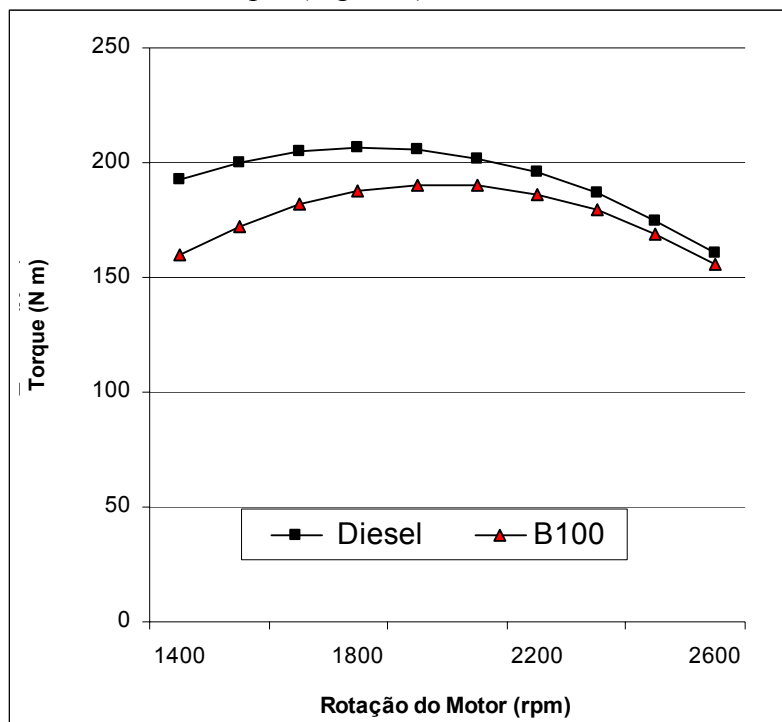


FIGURA 3. Curvas de torque para o diesel e o B100. **Curves of torque for the diesel and the B100.**

O consumo específico mínimo, utilizando-se de B100, foi de 321,3 g kWh<sup>-1</sup> a 1.933 rpm, e para o diesel foi de 280 g kWh<sup>-1</sup> a 1.667 rpm (Figura 4). Essa diferença já era esperada devido ao menor poder calorífico. Além disso, MSIPA et al. (1983) apontam a tensão superficial e a viscosidade como sendo os parâmetros críticos na previsão de que haverá ou não atomização apropriada para um dado combustível. A curva de consumo específico do motor operando com B100 demonstrou valores mais próximos aos do diesel em altas rotações.

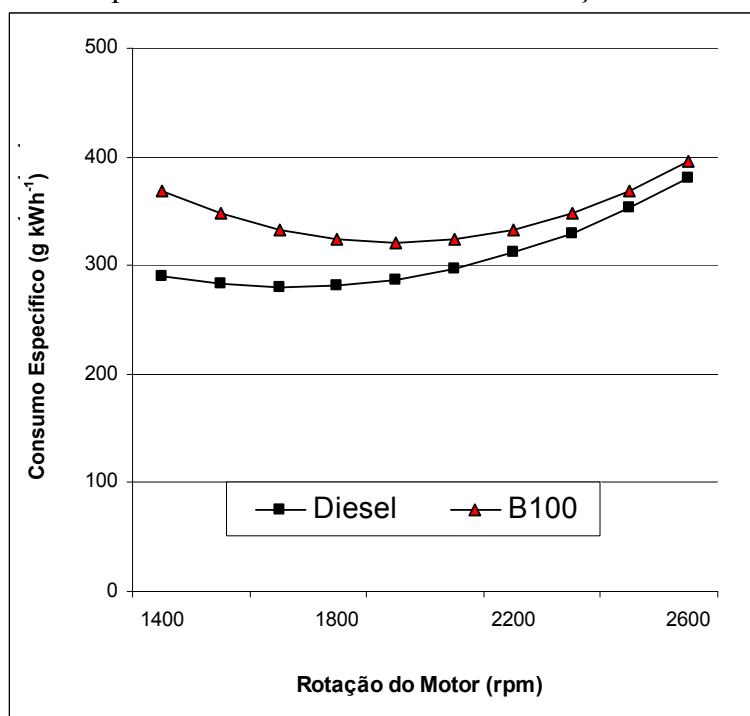


FIGURA 4. Curvas de consumo específico para o diesel e o B100. **Curves of specific consumption for the diesel and the B100.**

Se a diferença nos valores de torque, de potência e de consumo específico se mantivesse ao longo da curva, poder-se-ia simplesmente justificá-la devido à inferioridade do biodiesel em relação ao diesel na propriedade poder calorífico. Entretanto, percebeu-se distanciamento maior entre as curvas em certa faixa de rotação, o que sugere que houve também atomização ineficiente do combustível, prejudicando, dessa maneira, a queima do combustível.

A diferença de viscosidade entre o biodiesel e o diesel também pode ser apontada como fator importante na diferença do consumo específico, causando atomização deficiente, provocando queima incompleta do combustível em regimes de baixas e médias rotações.

A utilização do B100 seria interessante em rotações mais elevadas, em que as três grandezas analisadas neste trabalho chegariam a valores próximos do diesel puro.

Já o B20 apresentou-se como a melhor das misturas; houve acréscimo significativo de potência, o torque praticamente se igualou, e o consumo específico manteve-se menor que o do diesel.

A potência máxima para o motor utilizando B20 foi de 47,3 kW a 2.333 rpm, e a potência máxima com o diesel foi 45,8 kW a 2.333 rpm. Os valores de potência apresentaram-se ligeiramente superiores em toda a faixa de trabalho do motor (Figura 5).

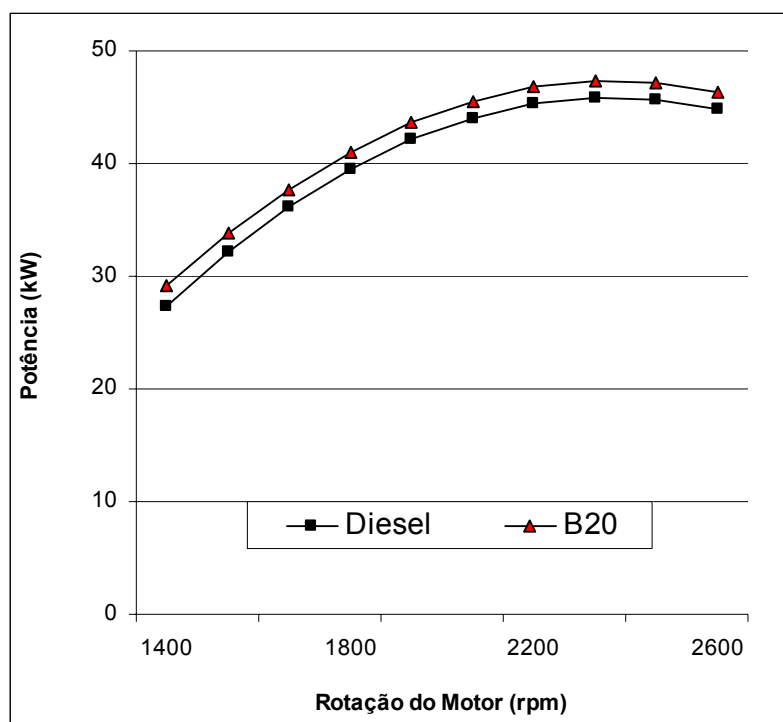


FIGURA 5. Curvas de potência para o diesel e o B20. **Curves of power for the diesel and the B20.**

O torque máximo utilizando B20 foi de 205,1 N m a 1.800 rpm, e, para o diesel, foi de 206,4 N m a 1.800 rpm (Figura 6).

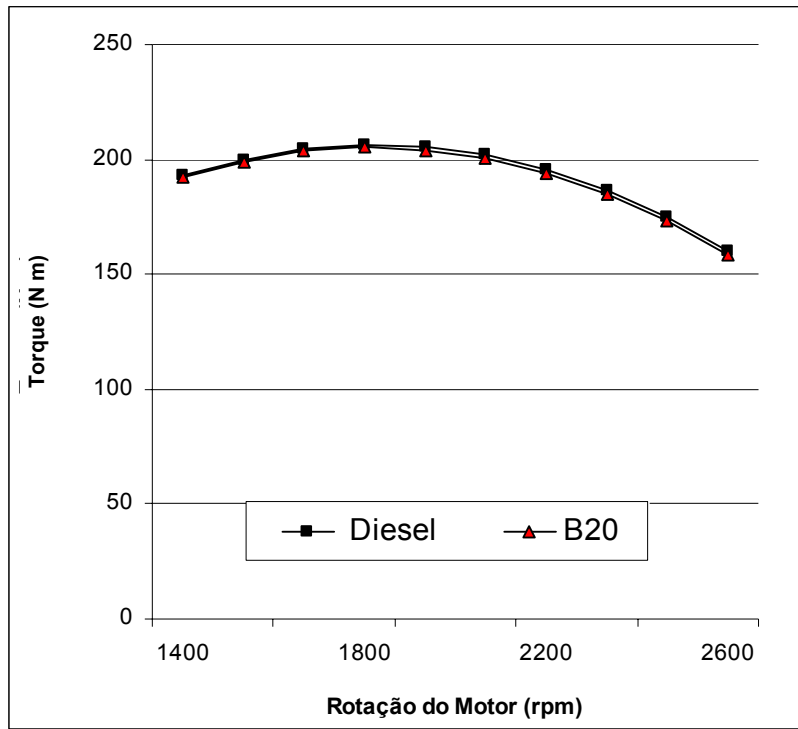


FIGURA 6. Curvas de torque para o diesel e o B20. **Curves of torque for the diesel and the B20.**

O consumo específico mínimo utilizando B20 foi de 275,7 g k<sup>-1</sup> W<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 1.667 rpm, e, para o diesel, foi de 280 g kWh<sup>-1</sup> a 1.667 rpm (Figura 7).

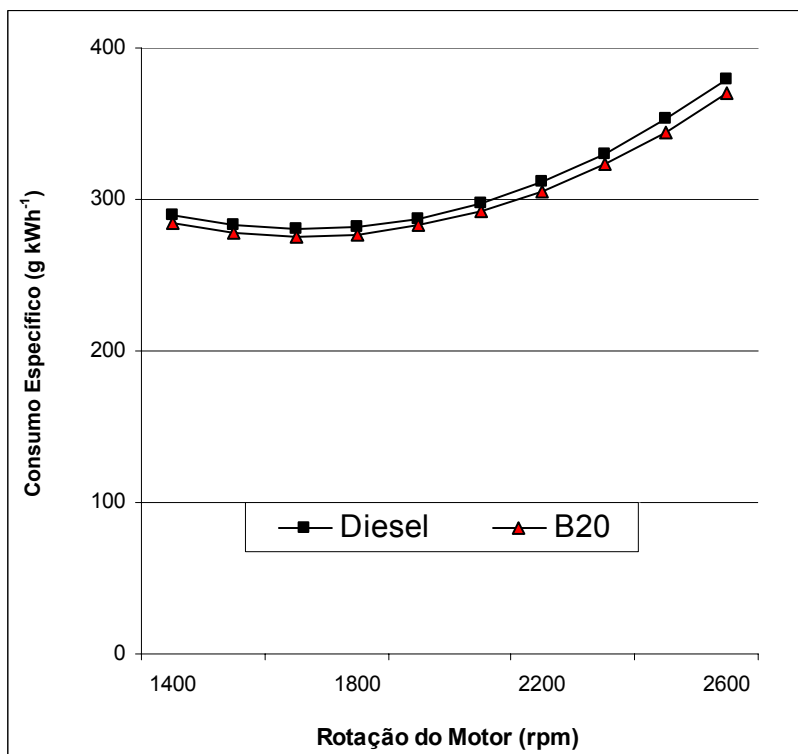


FIGURA 7. Curvas de consumo específico para o diesel e o B20. **Curves of specific consumption for the diesel and the B20.**



## CONCLUSÕES

De forma geral, pode-se dizer que o B2, o B5 e o B10 apresentaram desempenho semelhante ao do diesel. O B20 destacou-se, apresentando desempenho superior ao do diesel. Na seqüência da análise do desempenho das misturas de B50 e B75, houve queda do desempenho de forma gradual à medida que se aumentou a percentagem de biodiesel. O biodiesel puro (B100) apresentou o pior desempenho. O funcionamento do motor foi normal para todas as misturas inclusive com o B100.

Observou-se que, em certas faixas de rotação, ocorre diferença entre a curva-testemunha (diesel) e a curva de mistura (diesel-biodiesel). Isso foi em decorrência de combustão incompleta das misturas devido à má atomização pelo sistema de injeção.

Além da rotação do motor, a turbulência ideal para que a atomização seja maximizada está atrelada também a características construtivas muito particulares do motor, ou seja, a faixa de melhor desempenho para o motor ensaiado, provavelmente, não será idêntica a outro motor com características diversas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 1585*. Veículos Rodoviários - Código de Ensaio de Motores - Potência Líquida Efetiva. Rio de Janeiro, 1996. 26 p.
- LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; MELLO, J.G.S. Protótipo de sistema instrumental para medição de consumo de combustível em tratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS SOCIEDADES BRASILEIRAS DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À AGROINDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. *Anais...* Porto Seguro: Sociedades Brasileiras de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 2003. 1 CD-ROM.
- MSIPA, C.K.M.; GOERING, C.E.; KARCHER, T.D. Vegetable oil atomization in a DI diesel engine. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, n.6, p.1669-72, 1983.
- PETERSON, C.L.; AULD, D.L.; THOMPSON, J.C. Experiments with vegetable oil expression. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, n.5, p.1298-1302, 1996.
- PIMENTEL, V.S.B.; BELCHIOR, C.P.R. Análise e diagnose de diesel geradores operando com óleo de dendê "in natura". In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2002. 10 p.