



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 10 2012 029793-0 A2

(22) Data de Depósito: 23/11/2012

(43) Data da Publicação: 25/03/2014

(RPI 2255)



(51) Int.Cl.:

F02D 41/04

F02D 41/14

F02D 45/00

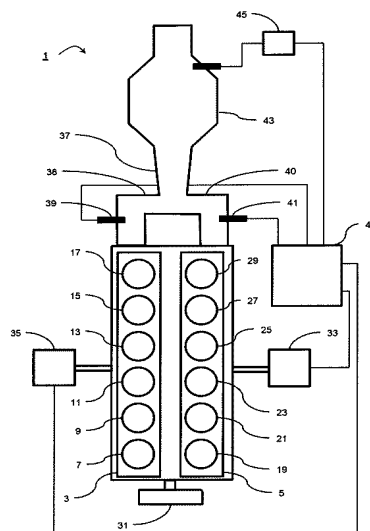
**(54) Título:** MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE EMISSÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA DE CONTROLE, SUBSISTEMA DE CONTROLE, MÉTODO PARA CONTROLE DE EMISSÕES EM UMA EXAUSTÃO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA E UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR

**(30) Prioridade Unionista:** 08/12/2011 US 13/314,427

**(73) Titular(es):** GENERAL ELECTRIC COMPANY

**(72) Inventor(es):** JARED J. WENTZ, SCOTT K. MANN

**(57) Resumo:** MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE EMISSÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA DE CONTROLE, SUBSISTEMA DE CONTROLE, MÉTODO PARA CONTROLE DE EMISSÕES EM UMA EXAUSTÃO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA E UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR. Determinadas realizações de métodos e sistemas para operação de um motor de combustão interna ao longo de uma faixa da condição de operação são reveladas. Uma realização de um método inclui operar o motor em um ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> inicial; e ajusta automaticamente o ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> para um novo ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> para reduzir emissões. Em determinadas realizações, um sistema de controle para controlar emissões em uma combustão interna é fornecido. O sistema de controle inclui pelo menos um subsistema que controla um ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub>; pelo menos um subsistema que mede emissões de NO<sub>x</sub> na exaustão do motor; e pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> ótimo.



**“MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA,  
SISTEMA PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE EMISSÃO DE UM  
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA DE CONTROLE,  
SUBSISTEMA DE CONTROLE, MÉTODO PARA CONTROLE DE EMISSÕES  
5 EM UMA EXAUSTÃO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA E UMA OU  
MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR”**

**CAMPO TÉCNICO**

O assunto revelado neste documento refere-se a controle de emissões em motor de combustão interna e, mais particularmente, ao controle  
10 de emissões de CO e NO<sub>x</sub> em um motor de combustão interna.

**ANTECEDENTES**

Os motores de combustão interna são, de modo ideal, operados de uma forma que a mistura de combustão contenha ar e combustível nas proporções relativas exatas requeridas para uma reação de combustão  
15 estequiométrica. Um motor de queima rica pode operar com uma quantidade estequiométrica de combustível ou um sutil excesso de combustível, enquanto que um motor de queima pobre opera com excesso de oxigênio (O<sub>2</sub>) em comparação à quantidade requerida para combustão estequiométrica. A operação de um motor de combustão interna no modo pobre pode reduzir  
20 perdas de estrangulamento e pode obter vantagem de razões de compressão mais elevadas fornecendo, desse modo, melhoras no desempenho e eficiência. Os motores de queima rica, por outro lado, são relativamente simples, confiáveis e estáveis e adaptam-se bem a cargas variáveis.

A fim de cumprir os padrões de emissões, muitos motores de  
25 combustão interna de queima rica utilizam subsistemas de redução catalítica não seletiva (NSCR) também conhecidos como catalisador de 3 vias. Esses subsistemas reduzem as emissões de óxidos de nitrogênio NO e NO<sub>2</sub> (coletivamente NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos

voláteis (VOC) juntamente com outras emissões reguladas. Os catalisadores de 3 vias têm eficiências de redução elevadas e são econômicos, mas requerem estrito controle da razão ar-combustível do motor a fim de atender aos padrões de emissões. Esses padrões são, às vezes, especificados em termos de gramas de emissões por cavalo força ao freio por hora (g/bhp-hr).

Anteriormente, o controle de emissões de queima rica com um catalisador somente foi possível usando a detecção de  $O_2$  em ambas as localizações, a entrada e saída do subsistema de catalisador. Nesses sistemas, um subsistema de controle ajustou a razão ar-combustível continuamente para manter um teor constante de  $O_2$  na exaustão. O valor alvo para o teor constante de  $O_2$  (o ponto de ajuste de  $O_2$ ) foi estático. Ocasionalmente, esses sistemas de controle permitiram variação maior de emissões do que a ótima ao longo da operação variável e condições ambientais, bem como alterações na janela de operação do catalisador. A razão é que para alcançar baixos níveis de emissões de  $NO_x$  e de CO, um indivíduo não pode simplesmente estabelecer o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  em um único valor. O ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  ótimo para conformidade de emissões varia dependendo da carga, velocidade, condições do ambiente, dentre outras condições.

20

#### **BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

De acordo com um aspecto da invenção, um método de operar um motor de combustão interna ao longo de uma faixa de condições de operação, sendo que o motor de combustão interna, que tem pelo menos um sensor de  $O_2$ , é fornecido. O método desse aspecto inclui operar o motor em um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  inicial e ajusta automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para um novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para reduzir emissões.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, um sistema

para melhorar o desempenho de emissão de um motor de combustão interna ao longo de uma faixa de condições de operação é fornecido. O sistema desse aspecto inclui um subsistema de catalisador para tratar a exaustão proveniente do motor de combustão interna; sendo que um sensor de  $O_2$  disposto a montante a partir do subsistema de catalisador; e um sensor de  $NO_x$  disposto na exaustão. O sistema desse aspecto também inclui um subsistema de controle que recebe dados provenientes do sensor de  $O_2$  e do sensor de  $NO_x$  e, automaticamente, ajusta um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para um novo ponto de ajuste de tensão para reduzir emissões.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, um sistema de controle para controlar as emissões em uma exaustão de motor de combustão interna é fornecido. O sistema de controle desse aspecto inclui pelo menos um subsistema que controla um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$ ; pelo menos um subsistema que mede as emissões de  $NO_x$  na exaustão do motor; e pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  ótimo.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, um método para controlar as emissões em uma exaustão de motor de combustão interna é fornecido. O método desse aspecto inclui medir as emissões de  $NO_x$ ; iniciar uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  no qual as emissões de  $NO_x$  na nova condição de operação atingem padrões de emissões de  $NO_x$ ; e operar o motor de combustão interna no novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$ .

De acordo com outro aspecto da presente invenção, a mídia legível por computador é fornecida. A mídia legível por computador desse aspecto fornece instruções que, quando executadas por um módulo de controle que controla as emissões em uma exaustão de motor de combustão interna, faz com que o módulo de controle meça as emissões de  $NO_x$ ; inicie uma

varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  no qual as emissões de  $NO_x$  na nova condição de operação atingem padrões de emissões de  $NO_x$ ; e opere o motor de combustão interna no novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$ .

5

#### **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

A seguinte descrição das Figuras não pretende e não deve ser interpretada, de forma alguma como limitadora.

A Figura 1 é um diagrama de um exemplo de um sistema de motor de combustão interna de acordo com uma realização.

10

A Figura 2 é um gráfico que ilustra o impacto de condições de operação em uma janela de conformidade de  $NO_x$ .

A Figura 3 é um fluxograma que mostra um processo de uma realização.

15

A Figura 4 é um gráfico que ilustra o princípio de operação de uma realização.

A Figura 5 é um fluxograma que mostra um processo de uma realização.

A Figura 6 é um gráfico que ilustra o princípio de operação de uma realização.

20

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

É ilustrado na Figura 1 um sistema de motor de combustão interna 1 com capacidades de controle de emissões melhoradas de acordo com uma realização da presente invenção. O sistema de motor de combustão interna 1 inclui um quadro de cilindro esquerdo 3 e um quadro de cilindro direito 5. O quadro de cilindro esquerdo 3 inclui uma pluralidade de cilindros 7, 9, 11, 13, 15, e 17. O quadro de cilindro direito 5 inclui uma pluralidade de cilindros, 19, 21, 23, 25, 27 e 29. Apesar de o sistema de motor de combustão interno 1 nesta realização ser ilustrado com 12 cilindros, qualquer número de cilindros,

(1, 2, 4, 8, 14, 16 etc.) pode ser usado. O sistema de motor de combustão interna 1 também inclui um volante do motor 31.

O sistema de motor de combustão interna 1 também inclui um regulador direito 33 associado ao quadro de cilindro direito 5 e um regulador esquerdo 35 associado ao quadro de cilindro esquerdo 3. O regulador direito 33 controla o fluxo de ar e combustível até o quadro de cilindro direito 5 e o regulador esquerdo 35 controla o fluxo de ar e combustível até o quadro de cilindro esquerdo 3. Um regulador é um dispositivo que determina e mantém os parâmetros de operação de um sistema, usualmente dentro de determinados limites prescritos ou preestabelecidos. O regulador direito 33 e o regulador esquerdo 35 ajustam a razão ar-combustível no quadro de cilindro direito 5 e no quadro de cilindro esquerdo 3 respectivamente. Apesar de a realização ilustrada na Figura 1 referir-se a um regulador, qualquer dispositivo ou combinação de dispositivos que podem ser usados para controlar a razão ar-combustível pode ser incluído, tal como, por exemplo, os dispositivos de injeção de combustível elétrica, carburadores e similares.

Associado ao quadro de cilindro direito 5 e ao quadro de cilindro esquerdo 3 está um distribuidor 37 que transporta os gases de exaustão provenientes do sistema de motor de combustão interna 1. O distribuidor 37 inclui um tubo distribuidor esquerdo 38 em que é colocado pelo menos um sensor de  $O_2$  esquerdo 39 e um tubo distribuidor direito 40 em que é colocado pelo menos um sensor de  $O_2$  direito 41. O sensor de  $O_2$  esquerdo 39 e sensor de  $O_2$  direito 41 (também conhecidos como sensores lambda) são dispositivos eletrônicos que medem a proporção de  $O_2$  na exaustão no interior dos distribuidores 38, 40 e determinam, em tempo real, se a razão ar-combustível de um motor de combustão é rica ou pobre. As informações provenientes do sensor de  $O_2$  esquerdo 39 e do sensor de  $O_2$  direito 41 podem ser usadas para determinar, indiretamente, a razão ar-combustível. Em algumas realizações

somente um sensor de  $O_2$  pode ser usado. Dentre os tipos de sensores de  $O_2$  disponíveis estão célula de concentração (sensores de zircônia), semicondutor de óxido (sensores de  $TiO_2$ ) e sensores de  $O_2$  eletroquímicos (sensores atuais limitadores). Os sensores tipicamente não medem a concentração de  $O_2$  diretamente, mas em vez disso, a diferença entre a quantidade de  $O_2$  no gás de exaustão e a quantidade de  $O_2$  em uma amostra de referência. As misturas ricas causam uma demanda por  $O_2$ . Essa demanda resulta em um acúmulo de tensão devido ao transporte de íons de  $O_2$  através de uma camada de sensor. A mistura pobre resulta em tensão baixa, uma vez que existe um excesso de  $O_2$ .

Os gases de exaustão provenientes do sistema de motor de combustão interno 1 são transportados através do tubo distribuidor 40 e do tubo distribuidor esquerdo 38 para uma câmara catalítica 43 que contém um catalisador para a redução de  $NO_x$  e emissões de CO. Em uma realização preferencial, o catalisador pode ser um catalisador de 3 vias comumente usado para aplicações de motor de combustão interna. O catalisador converte emissões de CO,  $NO_x$  e VOC através de redução e oxidação para produzir dióxido de carbono, nitrogênio e água. Os catalisadores de três vias são eficazes quando o motor é operado no interior de uma banda estreita de razões ar-combustível próximo à estequiometria. A eficiência de conversão do catalisador declina significativamente quando o motor é operado fora dessa banda de razões ar-combustível. Sob a operação de motor pobre, existe excesso de  $O_2$  e a redução de  $NO_x$  não é favorecida. Sob as condições ricas, o excesso de combustível consome todo o  $O_2$  disponível na exaustão antes do catalisador, tornando, desse modo, as reações de oxidação menos prováveis.

Um sensor de  $NO_x$  45 é disposto a jusante da câmara catalítica 43. Em realizações alternativas, o sensor de  $NO_x$  pode ser localizado a montante da câmara catalítica 43 (caso um catalisador seja usado) ou múltiplos

sensores de NO<sub>x</sub> podem ser usados. Os sensores de NO<sub>x</sub> são dispositivos que detectam óxidos de nitrogênio em ambientes de combustão tais como sistema de motor de combustão interna 1. Uma variedade de sensores diferentes é disponível para adaptação ao uso em um sistema de motor de combustão interna 1. Por exemplo, existe uma variedade de sensores eletroquímicos de estado sólido que incluem eletrólito sólido (potenciométrico e amperométrico) e tipos semicondutores.

O sensor de NO<sub>x</sub> 45, o sensor de O<sub>2</sub> direito 41 e o sensor de O<sub>2</sub> esquerdo 39, o regulador direito 33 e o regulador esquerdo 35 são todos acoplados a um módulo de controle de emissão 47. O módulo de controle de emissão 47 pode ser fornecido como um microprocessador e uma memória ou, de outra maneira, como software fornecido ou embutido no interior de outros processadores ou sistemas eletrônicos associados ao sistema de motor de combustão interno 1 ou em quaisquer outras formas conhecidas. O módulo de controle de emissões 47 em várias realizações pode incluir instruções executáveis por um ou mais dispositivos de computação. Tais instruções podem ser compiladas ou interpretadas a partir de programas de computador criados usando uma variedade de linguagens de programação conhecidas e/ou tecnologias, incluindo, sem limitação e também somente sozinho ou em combinação, Java™, C, C++, Visual Basic, Java Script, Perl etc. Em geral, um processador (por exemplo, um microprocessador) recebe instruções, por exemplo, a partir de uma memória, um meio legível por computador etc., e executa essas instruções desempenhando, desse modo, um ou mais processos, incluindo um ou mais dos processos descritos nesse documento. Tais instruções e outros dados podem ser armazenados e transmitidos usando uma variedade de mídias legíveis por computador.

Um meio legível por computador inclui qualquer meio que participe no fornecimento de dados (por exemplo, instruções), que podem ser



lidas por um computador. Tal meio pode tomar muitas formas, incluindo, mas não limitado a, mídia não volátil, mídia volátil e mídia de transmissão. Mídia não volátil inclui, por exemplo, discos ópticos ou magnéticos e outra memória persistente. Mídia volátil inclui memória de acesso aleatório dinâmica (DRAM),  
5 que tipicamente constitui uma memória principal. A mídia de transmissão inclui cabos coaxiais, fio de cobre e fibra óptica, incluindo fios que compreendem um barramento de sistema acoplado ao processador. A mídia de transmissão pode incluir ou transportar ondas acústicas, ondas de luz e emissões eletromagnéticas, tais como as mesmas geradas durante comunicações de  
10 dados via radiofrequência (RF) e infravermelho (IR). As formas comuns de mídia legível por computador incluem, por exemplo, um disquete, um disco flexível, disco rígido, fita magnética, qualquer outro meio magnético, um CD-ROM, DVD, qualquer outro meio óptico, cartões perfurados, fita de papel, qualquer outro meio físico com padrões de orifícios, uma RAM, uma PROM,  
15 uma EPROM, uma FLASH-EEPROM, qualquer outro circuito integrado de memória ou cartucho, um onda transportadora conforme descrito doravante no presente documento, ou qualquer outro meio a partir do qual, um computador possa ler.

O sistema de motor de combustão interna 1 com capacidades de  
20 controle de emissão melhoradas pode ser operado ao longo de uma faixa de condições de operação através do ajuste automático de um ponto de ajuste de um ou mais sensores de  $O_2$ , tais como o sensor de  $O_2$  30 esquerdo, o sensor de  $O_2$  direito 41 ou ambos. Um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é o valor alvo para  $O_2$  que o módulo de controle de emissão 47 visará alcançar, através do  
25 controle da quantidade de combustível que entra no motor em relação à quantidade de ar. A quantidade de combustível que entra no motor em relação ao ar é chamada de a razão ar-combustível (AFR), e às vezes é expressa como Lambda ( $\lambda$ ) que é a AFR do motor em relação à AFR estequiométrica. O

sistema de motor de combustão interna 1 atinge desempenho de emissões melhorado através do ajuste dos pontos de ajuste de tensão de  $O_2$  do pré-catalisador a partir de um elevado ponto de ajuste calibrado em uma taxa de varredura calibrada para baixo até um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  baixo até que as medições de  $NO_x$  se tornem instáveis ou aumentem bruscamente (isto é, o limite de nível de estabilidade é violado). Em uma realização, a estabilidade pode ser determinada através da medição da concentração de  $NO_x$  ao longo de um dado período de tempo. A taxa de varredura pode estar em milivolts por segundo e pode ser especificamente calibrada para cada motor. Uma vez que o limite de estabilidade é violado, o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é ajustado para cima em uma taxa de varredura calibrada até que o nível de estabilidade seja alcançado (as leituras de  $NO_x$  do sensor de NOX 45 se tornam estáveis novamente).

Os princípios que embasam o processo para, automaticamente, ajustar os pontos de ajuste são melhor entendidos com referência à Figura 2. A Figura 2 ilustra uma característica de janela de catalisador típica em relação às emissões de  $NO_x$  e de CO em um motor de queima rica. No gráfico, as emissões medidas em g/bhp-hr. volts são representadas contra  $\lambda$ . Em misturas estequiométricas  $\lambda = 1$ , em misturas ricas  $\lambda < 1$  e em misturas pobres  $\lambda > 1$ .

No lado direito do gráfico na Figura 2, os valores para as emissões de  $NO_x$  para um conjunto específico de condições C1 são ilustrados por uma linha dupla continua com triângulos superpostos. No lado esquerdo do gráfico, os valores para emissões de CO para a condição C1 são ilustrados como uma linha sólida com retângulos superpostos. Uma janela de conformidade é representada por uma área retangular compartilhada. A área em que as emissões de CO começam a elevar-se rapidamente à medida que  $\lambda$  é diminuída é destacada com um círculo indicado A. Isso se refere a como a inclinação rica da curva  $\lambda$ . A área em que as emissões de  $NO_x$

começam a elevar-se rapidamente à medida que os valores de  $\lambda$  aumentam, é destacada com um círculo indicado B. Isso se refere a como a inclinação pobre da curva  $\lambda$ . A janela de operação preferencial usualmente situa-se entre a inclinação rica e a inclinação pobre da curva  $\lambda$ .

Quando, por exemplo, a carga de motor, qualidade de combustível ou condições de ambiente de motor mudam, as condições C1 podem alterar conforme mostrado em C2, C3 ou alterar em outras maneiras. Quando as condições mudam das condições C1 para as condições C2, a área entre a curva de  $\text{NO}_x$  (mostrada como linhas duplas tracejadas no lado direito do gráfico) e a curva CO (mostrada como linhas sólidas duplas no lado esquerdo do gráfico) se estreita. Quando as condições mudam das condições C1 para as condições C3 a área entre a curva de  $\text{NO}_x$  e a curva de CO amplia-se. Adicionalmente, com as condições variáveis, as curvas de  $\text{NO}_x$  e CO podem ser alteradas para esquerda ou direita. Esse fenômeno torna muito difícil controlar as emissões com um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  estático.

A Figura 3 ilustra uma realização de um método para estabelecer um novo ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  para conformidade de  $\text{NO}_x$  50. O sistema de motor de combustão interna 1 está em operação com um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  inicial (elemento do método 51). Uma mudança de condição é detectada (elemento do método 53), tal como, por exemplo, uma mudança na carga, uma mudança na velocidade de operação, uma mudança nas condições do ambiente, decorrência de um incremento de tempo especificado e semelhantes. Neste ponto, o módulo de controle de emissão instrui uma diminuição do ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  por um incremento predeterminado. A diminuição incremental do ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  pode ser determinada a partir de uma taxa de varredura calibrada determinada para cada sistema de motor de combustão interna 1. A taxa de varredura

calibrada pode ser determinada para o motor com base no período de tempo requerido para o sensor (es) de  $O_2$  (sensor de  $O_2$  39 esquerdo, sensor de  $O_2$  direito 41 ou ambos) e o sensor de  $NO_x$  45 a ser estabilizado. As emissões de  $NO_x$  e concentrações de  $O_2$  podem, então, ser medidas (elemento do métodos 5 57 e 59). Uma determinação de se o limite de estabilidade de  $NO_x$  foi violado é, então, feita (elemento do método 61) com base nos valores a partir do elemento do método 57. Caso o limite de estabilidade não tenha sido violado, então, o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pode ser novamente diminuído por uma quantidade predeterminada (elemento do método 55). Uma vez que o 10 limite de estabilidade de  $NO_x$  é violado, o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pode ser aumentado por um incremento predeterminado (elemento do método 63). Uma determinação da mudança nas emissões  $NO_x$  pode, então, ser feita (elemento do método 65) e a concentração de  $O_2$  pode ser medida (elemento do método 67). Uma determinação pode, então, ser feita como se os níveis de 15  $NO_x$  tenham se tornado estáveis (isto é, a taxa de mudança dos níveis de  $NO_x$  tão perto de 0), (elemento do método 69). Caso os níveis de  $NO_x$  não estejam estáveis, o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pode ser aumentado novamente por uma quantidade predeterminada (elemento do método 63), até que s níveis de  $NO_x$  estejam estáveis. A fim de desempenhar a porção de estabilidade do 20 algoritmo, pode ser necessário executar um esquema que usa filtração e cronômetros de tempo de ressalto para indicar quando a inclinação de  $NO_x$  ou a inclinação de CO estão sendo aproximadas. O novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  no qual os níveis de  $NO_x$  são estáveis pode, então, ser salvo (elemento do método 71). O ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pode ser 25 assimétrico a um valor tanto calibrado para cima quanto para baixo a fim de manter um ponto de ajuste somente rico da inclinação de  $NO_x$  na curva lambda (elemento do método 73). O valor calibrado pode ser determinado para cada motor. Neste ponto, o processo pode terminar (elemento do método 75) e pode

ser reiniciado mediante a detecção de uma mudança na condição ou após um período de tempo predeterminado ter expirado. Os elementos de método 55 a 69 compreendem uma varredura lambda pobre 77.

O princípio que embasa o método para estabelecer um novo  
5 ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para a conformidade de  $NO_x$  50 é melhor  
ilustrado com referência à Figura 4. A Figura 4 é um gráfico que representa as  
medições de concentrações de  $NO_x$  (linha dupla) para os pontos de ajuste de  
tensão de  $O_2$  que variam (linha sólida) ao longo do tempo. O ponto de ajuste de  
tensão de  $O_2$  é diminuído em uma taxa predeterminada a partir de um ponto de  
10 ajuste de tensão de  $O_2$  inicial na varredura para baixo do método. À medida  
que o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é diminuído, um limite de estabilidade é  
violado quando a concentração de  $NO_x$  aumenta bruscamente. Nesse ponto, o  
ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é aumentado em uma taxa pré-determinada na  
varredura para cima até que os níveis de  $NO_x$  diminuam e se tornem estáveis.  
15 O novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é estabelecido no nível em que as  
emissões de  $NO_x$  são estáveis.

O sistema de motor de combustão interna 1 pode ser usado para  
operar um motor em um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  ótimo para  
conformidade de  $NO_x$  e CO. O sensor de  $NO_x$  45 pode ser usado para fornecer  
20 uma indicação de concentração de CO que é representada como um aumento  
na saída de ppm de  $NO_x$  como a inclinação rica da curva lambda é aproximada.  
A concentração de CO no lado rico aparenta criar interferência estável no  
sensor de  $NO_x$  45 resultando em uma leitura de  $NO_x$ . Essa anomalia é causada  
pela criação de amônia em níveis ricos extremos que são reportados como  
25 concentração de  $NO_x$  pelo sensor de  $NO_x$  45.

Ao usar tanto o algoritmo de detecção de estabilidade pobre  
quanto rico com essa anomalia, é possível desenvolver um método para  
estabelecer um novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para conformidade de

NO<sub>x</sub> e CO. Isso é atingido desempenhando uma varredura lambda (isto é, varrer o ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub>) a fim de verificar tanto as localizações de inclinações pobres quanto ricas na curva lambda. O ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> pode, então, ser reajustado até um valor em um ponto  
5 entre as inclinações pobre e rica a fim de alcançar menor NO<sub>x</sub> e o catalisador de CO fora de emissões na parte ótima da curva de emissões.

A Figura 5 ilustra uma realização de um método para estabelecer um novo ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> para conformidade de NO<sub>x</sub> e CO 80 que pode ser realizado pelo módulo de controle de emissão 47. Nesse método,  
10 assume-se que o sistema de motor de combustão interno 1 é operado em um ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> inicial (elemento do método 81). Mediante a detecção de uma mudança de condição (elemento do método 83), o módulo de controle de emissão 47 pode iniciar uma varredura lambda pobre (elemento do método 85) (por exemplo, varrer a operação do motor até um ponto de ajuste  
15 de tensão de O<sub>2</sub> pobre na direção da inclinação pobre da Figura 2, resultando em uma lambda de motor pobre). A varredura lambda pobre é mais especificamente descrita como referência 77 na Figura 3. The ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> pobre é salvo no elemento do método 87, e uma varredura lambda rica é iniciada (por exemplo, varrer a operação do motor até um ponto  
20 de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> rico na direção da inclinação rica da Figura 2, resultando e uma lambda de motor rica) com o aumento do ponto de ajuste de tensão de O<sub>2</sub> através de um incremento predeterminado (elemento do método 89). As emissões de NO<sub>x</sub> e concentrações de O<sub>2</sub> são medidas no elemento do método 91 e 93 respectivamente. Uma determinação de se o limite de  
25 estabilidade de NO<sub>x</sub> no lado rico da curva lambda foi violado é, então, feita (elemento do método 95). Conforme descrito anteriormente, o limite de estabilidade é violado quando os níveis de NO<sub>x</sub> aumentam bruscamente. Caso o nível de estabilidade de NO<sub>x</sub> não tenha sido violado, então, o ponto de ajuste

de tensão de  $O_2$  é aumentado novamente por um incremento predeterminado (elemento do método 89). Caso o nível de estabilidade de  $NO_x$  tenha sido violado, então, uma varredura para baixo do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é iniciada através da diminuição do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  a um

5 incremento predeterminado (elemento do método 97). As emissões de  $NO_x$  e concentrações de  $O_2$  são medidas no elemento do método 99 e 101 respectivamente. O modulo de controle de emissões 47, então, determina se os níveis de  $NO_x$  se tornaram estáveis (elemento do método 103). Caso os níveis de  $NO_x$  não estejam estáveis, o módulo de controle de emissões 47

10 novamente instrui uma diminuição do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  através de um incremento predeterminado (elemento do método 97). Caso os níveis de  $NO_x$  estejam estáveis o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  rico é salvo (elemento do método 105) e o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é estabelecido em um nível entre os e pontos de ajuste de tensão de  $O_2$  pobre e rico salvos (elemento

15 do método 107). A iteração do método é, então, concluída (elemento do método 109). Os elementos de método 89 a 105 podem ser designados como a varredura lambda rica 111. Os incrementos e decrementos do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  descritos neste documento podem ser mudados por uma quantidade predeterminada ou por uma taxa de varredura predeterminada

20 ou até que o sensor de  $NO_x$  leia uma concentração de limite predeterminada ou algum outro método.

O princípio de um método para estabelecer um novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para conformidade de  $NO_x$  e CO 80 é melhor ilustrado com referência à Figura 6. A Figura 6 é um gráfico que representa as medições

25 de concentrações de  $NO_x$  (a curva de fundo) e o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é (curva sólida de topo). Além disso, ilustrado no gráfico na Figura 6, estão o motor RPM e os sinais para o regulador direito 33 e o regulador esquerdo 35, indicados como passo RB e passo LB. Uma nova pesquisa é iniciada através

da diminuição do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que o limite de estabilidade seja violado (aumento brusco no  $NO_x$  para pesquisa pobre) e, então, o aumento do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as leituras de  $NO_x$  se tornem estáveis novamente. O ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  é

5 aumentado até que o limite de estabilidade seja violado, e então, diminuído até que os níveis de  $NO_x$  se tornem estáveis novamente. Nesse ponto, o módulo de controle de emissão tem um valor de ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  determinado pela a pesquisa pobre e um valor de ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  determinado pela pesquisa rica. Esses valores correspondem à inclinação

10 rica e a inclinação pobre da curva lambda. O ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  desejável para a operação do sistema de motor de combustão interno 1 se situaria, tipicamente entre os dois pontos de ajuste de tensão de  $O_2$  e opcionalmente pode ser estabelecido no ponto médio entre esses pontos de ajuste de tensão de  $O_2$  a fim de alcançar o menor  $NO_x$  e o catalisador de CO

15 fora das emissões na parte ótima da curva de emissões.

Se, em qualquer momento, a rotina de varredura lambda não pode detectar a(s) inclinação(ões) na(s) curva(s), uma nova varredura pode ser desempenhada para repetir a otimização do ponto de ajuste. As razões para não detectar os pontos de ajuste ótimos poderiam incluir; mudanças na

20 composição do combustível, grandes mudanças na umidade, outras condições ambientais ou degradação do desempenho do catalisador. Opcionalmente, o módulo de controle de emissão 47 pode ser programado para restabelecer periodicamente o ponto de ajuste ótimo para a esquerda da inclinação. Isso é feito à medida que esses pontos ótimos são alterados devido às mudanças na

25 operação e/ou condições ambientais.

O sistema de motor de combustão interna 1 fornece conformidade de  $NO_x$  e CO ao longo de uma faixa mais ampla de condições de operação, que incluem condições de alteração de catalisador e ambiental através do



fornecimento de redefinição automática periódica dos pontos de ajuste de O<sub>2</sub>. Adicionalmente, devido às medições contínuas realizadas ao longo do tempo, o módulo de controle de emissão 47 pode calcular o desempenho das emissões e status de conformidade de emissões. Outra opção que pode ser adicionada

5 ao módulo de controle de emissão 47 incluiria a adição de instruções de desligamento, caso o sistema de motor de combustão interno 1 não esteja em conformidade com as regulamentações de emissão.

Embora os métodos e aparelho descritos acima e/ou reivindicados neste documento sejam descritos acima em referência a uma realização

10 exemplificativa, será entendido por aqueles versados na técnica que várias mudanças podem ser feitas e equivalência pode ser substituída por elementos do mesmo, sem divergir do escopo dos métodos e aparelho descritos acima e/ou reivindicados neste documento. Além disso, muitas modificações podem ser feitas aos ensinamentos acima para se adaptar a uma situação particular

15 sem se afastar do escopo da mesma. Portanto, pretende-se que os métodos e aparelho descritos acima e/ou reivindicados neste documento não sejam limitados à realização revelada para execução dessa invenção, mas que a invenção inclua todas as realizações situadas no escopo das reivindicações pretendidas. Ademais, o uso dos termos primeiro (a), segundo (a) etc. não

20 indica qualquer ordem de importância, mas em vez disso, os termos primeiro (a), segundo (a) etc. são usados para distinguir um elemento do outro. Além disso, deveria se enfatizar que uma variedade de plataformas de computador e módulos de controle e sistemas de operação são contemplados.

### REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, ao longo de uma faixa de condições de operação, sendo que o motor de combustão interna tem pelo menos um sensor de  $O_2$ , o  
5 método compreende:

operar o motor em um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  inicial;  
ajusta automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para um novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para reduzir emissões.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que o  
10 elemento do método de ajustar automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para reduzir emissões compreende diminuir gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  a partir de um ponto de ajuste elevado para um ponto de ajuste baixo até que as medições de  $NO_x$  tornem-se instáveis e aumentar gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as medições de  $NO_x$   
15 tornem-se estáveis.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, em que o elemento do método para diminuir gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  compreende diminuir o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  em uma taxa de varredura predeterminada.

20 4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, em que o elemento do método para aumentar gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  compreende aumentar o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  em uma dentre uma taxa de varredura predeterminada e uma quantidade predeterminada do ponto de ajuste de tensão de  $O_2$ .

25 5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda, ajustar o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  em resposta a um dentre uma mudança nas condições de operação e um cronômetro.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, em que a

mudança nas condições de operação compreende uma mudança nas condições de operação escolhidas a partir do grupo que inclui uma nova carga no motor, uma nova velocidade de motor, novas condições de ambiente; degradação do catalisador e um intervalo de tempo de operação.

5                    7.     MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda:

detectar um teor de  $O_2$  da exaustão;

detectar um teor de  $NO_x$  da exaustão; e

10                    em que o elemento do método de ajustar automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  compreende:

diminuir gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que o teor de  $NO_x$  torne-se instável; e

aumentar gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que o teor de  $NO_x$  torne-se estável.

15                    8.     SISTEMA PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE EMISSÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, ao longo de uma faixa de condições de operação, que compreende:

um subsistema de catalisador para tratamento da exaustão proveniente do motor de combustão interna;

20                    um sensor de  $O_2$  disposto a montante do subsistema de catalisador;

um sensor de  $NO_x$  disposto na exaustão; e

um subsistema de controle que recebe dados provenientes do sensor de  $O_2$  e do sensor de  $NO_x$  e ajusta automaticamente um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para um novo ponto de ajuste para reduzir emissões.

25                    9.     SISTEMA, de acordo com a reivindicação 8, em que o subsistema de controle compreende, ainda, um subsistema de controle que ajusta gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  a partir de um ponto de ajuste elevado para um ponto de ajuste baixo até que um nível de

estabilidade de  $\text{NO}_x$  seja violado; e aumenta gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as medições de  $\text{NO}_x$  se tornem estáveis.

10. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 8, em que o subsistema de controle que ajusta gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  compreende um subsistema de controle que ajusta o ponto de ajuste de  
5 tensão de  $\text{O}_2$  em uma dentre uma taxa de varredura predeterminada e uma quantidade predeterminada do ponto de ajuste de  $\text{O}_2$ .

11. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 8, em que o subsistema de controle ajusta automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$   
10 em resposta a uma mudança nas condições de operação, sendo que a mudança nas condições de operação compreende pelo menos uma dentre uma nova carga no motor; uma nova velocidade de motor; novas condições de ambiente; uma nova qualidade de combustível e um intervalo de tempo de operação.

12. SISTEMA DE CONTROLE, para controlar emissões em  
15 uma exaustão de motor de combustão interna, que compreende:

pelo menos um subsistema que controla um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$ ;

pelo menos um subsistema que mede emissões de  $\text{NO}_x$  na exaustão do motor; e

20 pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  ótimo.

13. SISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação 12, em que o subsistema que inicia a varredura lambda compreende:

25 um subsistema que diminui o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que um limite de estabilidade de  $\text{NO}_x$  seja violado; e

um subsistema que aumenta o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as emissões de  $\text{NO}_x$  na exaustão do motor tornem-se estáveis.

14. SISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação

12, que compreende, ainda, pelo menos um subsistema que estabelece o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para o ponto de ajuste ótimo.

15. SISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação 12, em que o subsistema que inicia uma varredura lambda compreende pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda pobre; e pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda rica.

16. SUBSISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação 15, em que o subsistema que inicia uma varredura lambda pobre compreende:

10 pelo menos um subsistema que diminui gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  tornem-se instáveis; e pelo menos um subsistema que aumenta gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem estáveis.

17. SUBSISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação 15, em que o subsistema que inicia uma varredura lambda rica compreende:

pelo menos um subsistema que aumenta gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem instáveis; e pelo menos um subsistema que diminui gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem estáveis.

18. SUBSISTEMA DE CONTROLE, de acordo com a reivindicação 12, em que o subsistema que inicia uma varredura lambda compreende:

25 pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda pobre para determinar a ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pobre

pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda rica para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  rico; e

pelo menos um subsistema que determina um ponto de ajuste de

tensão de  $O_2$  entre o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  pobre e o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  rico.

19. MÉTODO PARA CONTROLE DE EMISSÕES EM UMA EXAUSTÃO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, que compreende:

5                    medir as emissões de  $NO_x$ ;

                   iniciar uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  no qual as emissões de  $NO_x$  na nova condição de operação cumprem os padrões de emissões de  $NO_x$ ; e

                   operar o motor de combustão interna no novo ponto de ajuste de  
10    tensão de  $O_2$ .

20. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 19, que compreende, ainda, iniciar uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  no qual as emissões de CO na nova condição de operação atingem padrões de emissões de CO

15                    21. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 19, em que o elemento do método para iniciar uma varredura lambda compreende:

                   diminuir gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem instáveis; e

                   aumentar gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até  
20    que as emissões de  $NO_x$  se tornem estáveis.

22. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 20, em que o elemento do método para iniciar uma varredura lambda compreende aumentar gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem instáveis; e uma diminuição gradativa no ponto de ajuste de tensão  
25    de  $O_2$  até que as emissões de  $NO_x$  se tornem estáveis.

23. UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR, que têm instruções legíveis por computador na mesma que, quando executadas por um módulo de controle que controla emissões em uma

exaustão de motor de combustão interna, faz com que o modulo de controle:

meça emissões de  $\text{NO}_x$ ;

inicie uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  no qual as emissões de  $\text{NO}_x$  na nova condição de operação

5    cumprem os padrões de emissões de  $\text{NO}_x$ ; e

opere o motor de combustão interna no novo ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$ .

24.    UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR, de acordo com a reivindicação 23, que adicionalmente fazem com que o  
10    módulo de controle inicie uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$ , no qual as emissões de CO na nova condição de operação cumprem os padrões de emissões de CO.

25.    UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR, de acordo com a reivindicação 24, em que as instruções que fazem com que o  
15    módulo de controle inicie uma varredura lambda compreendem instruções que fazem com que o módulo de controle:

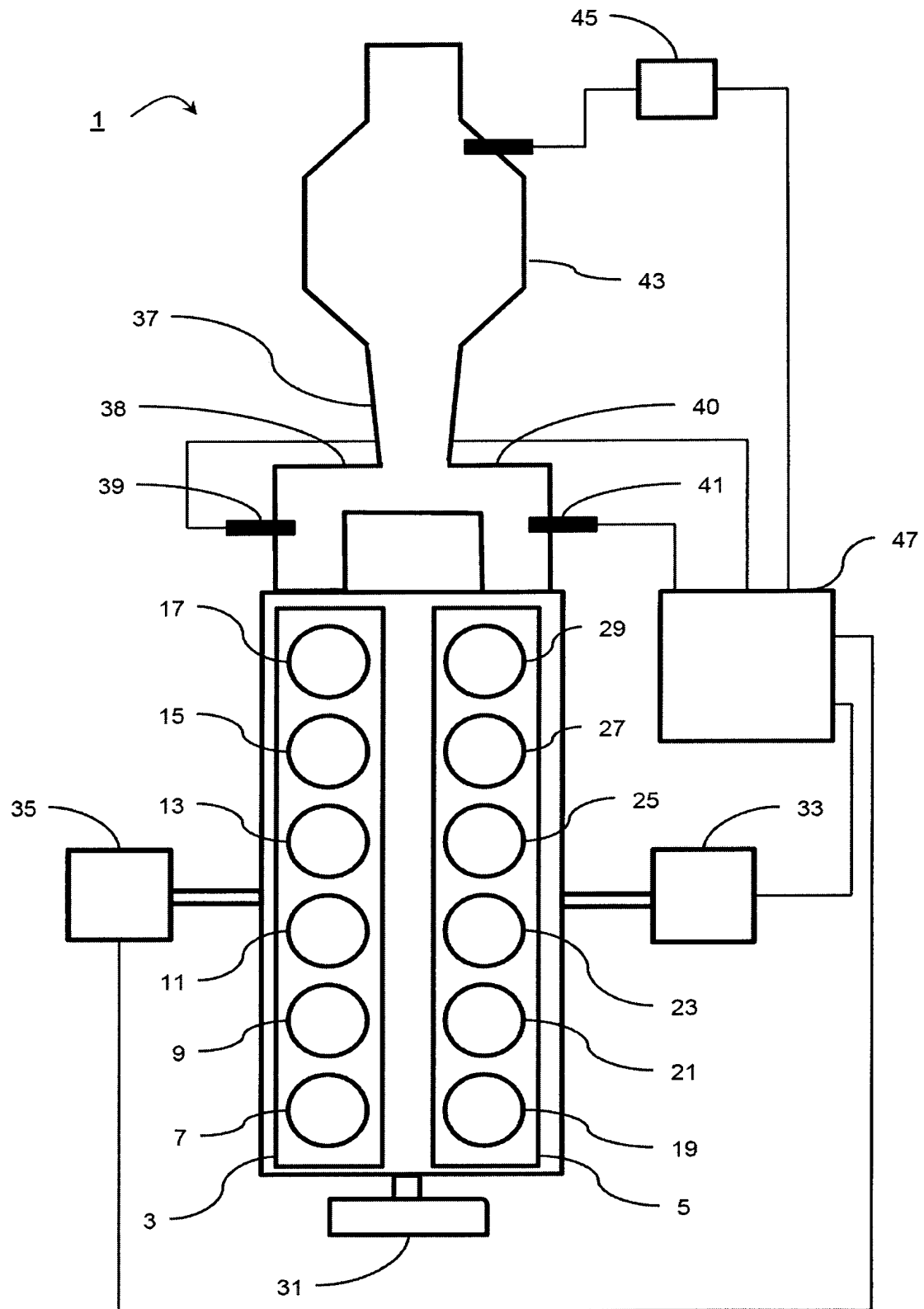
diminua gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as emissões de  $\text{NO}_x$  se tornem instáveis; e

20    aumente gradativamente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as emissões de  $\text{NO}_x$  se tornem estáveis.

26.    UMA OU MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR, de acordo com a reivindicação 24, em que as instruções que fazem com que o módulo de controle inicie uma varredura lambda compreendem instruções que fazem com que o módulo de controle:

25    aumente gradualmente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as emissões de  $\text{NO}_x$  se tornem instáveis; e

diminua gradualmente o ponto de ajuste de tensão de  $\text{O}_2$  até que as emissões de  $\text{NO}_x$  se tornem estáveis.

**Fig. 1**



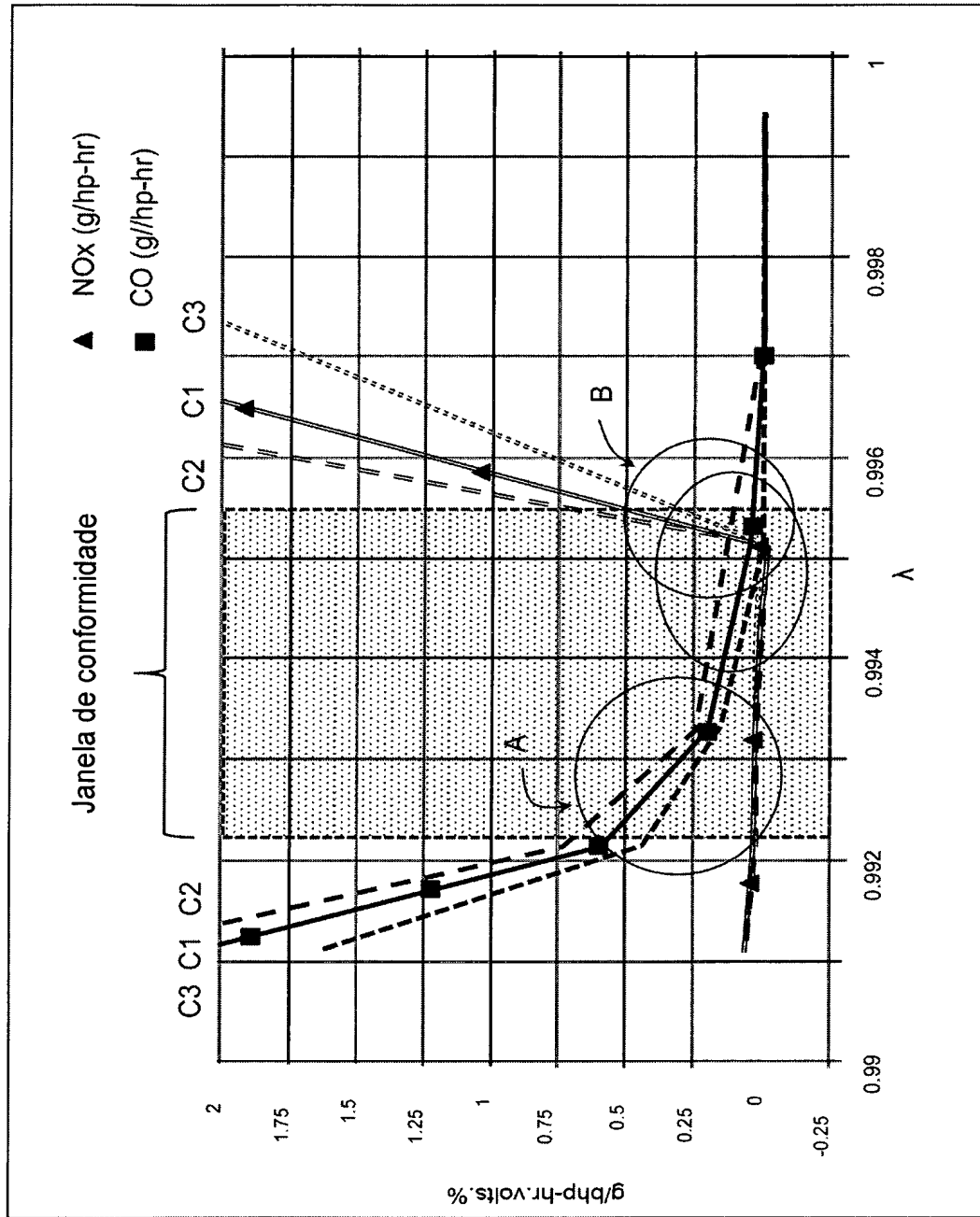
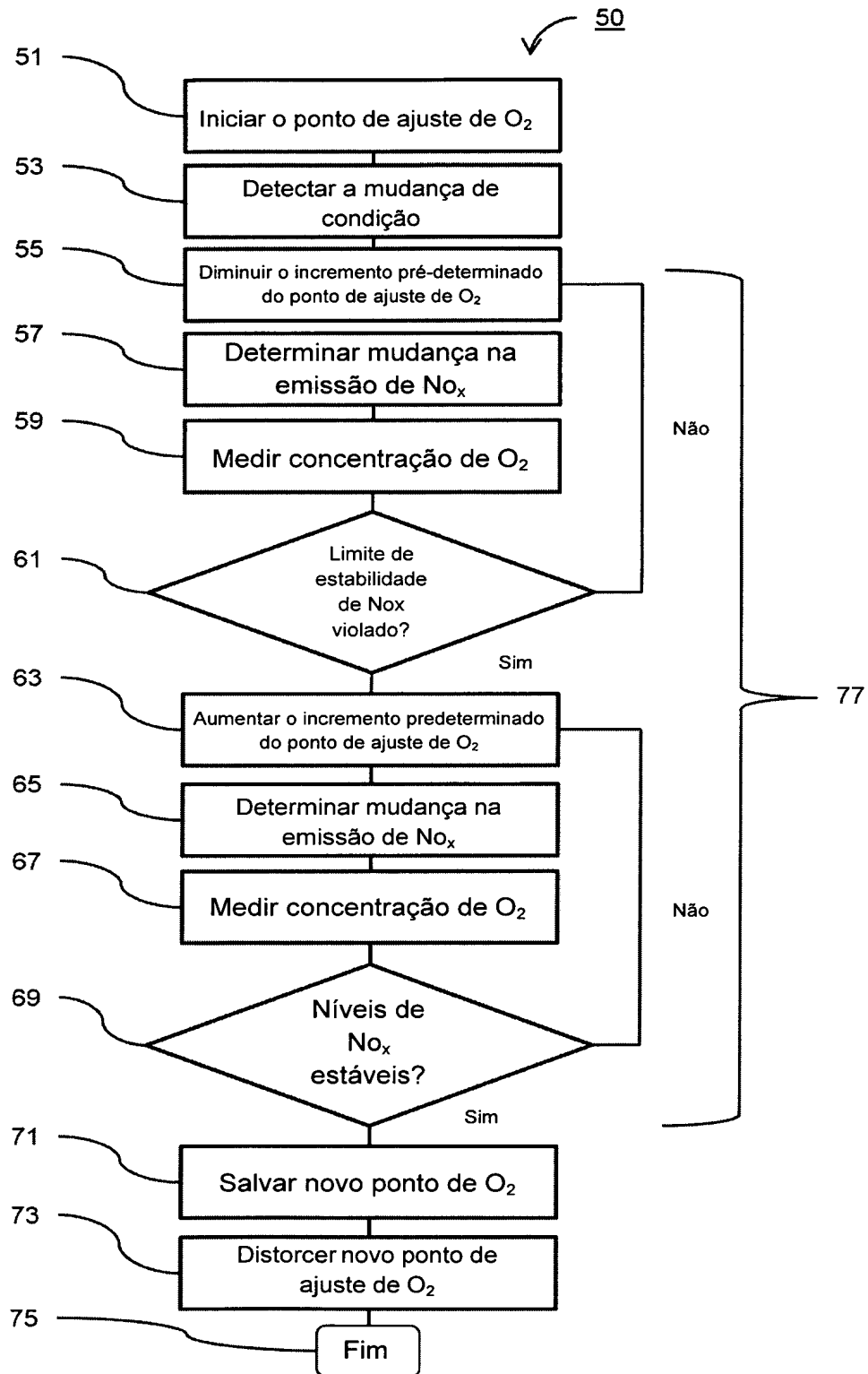


Fig. 2

**Fig. 3**

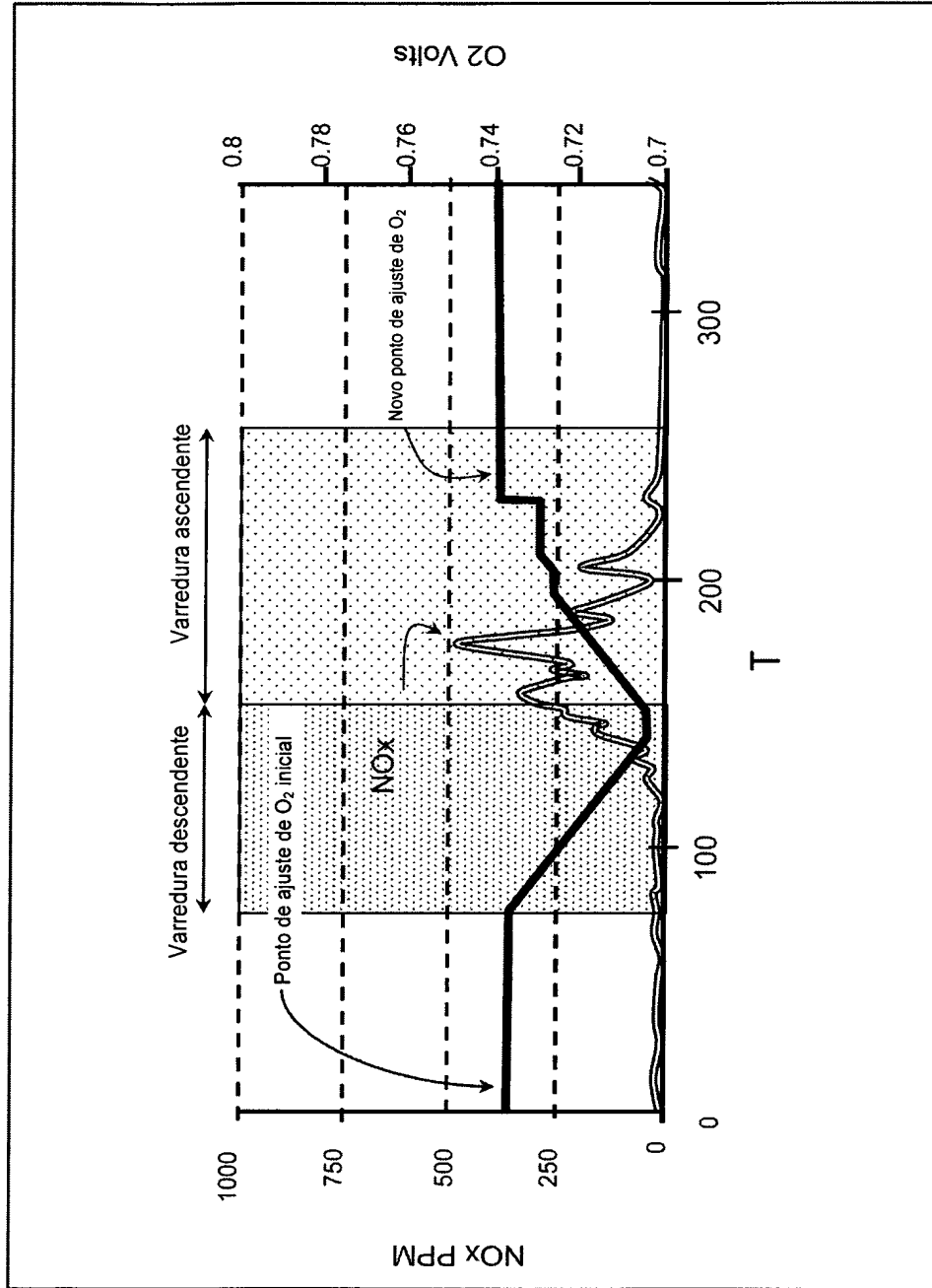
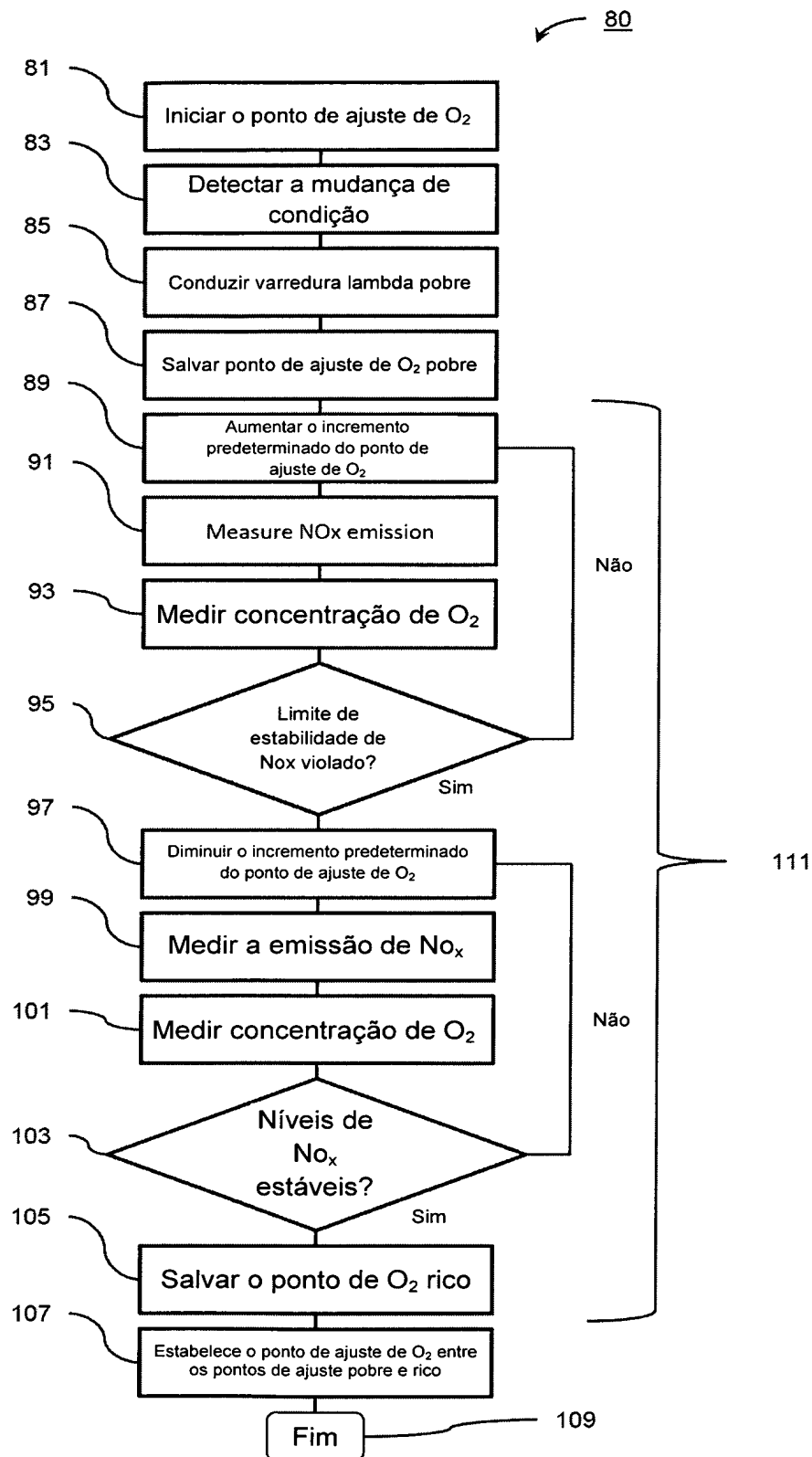


Fig. 4

**Fig. 5**

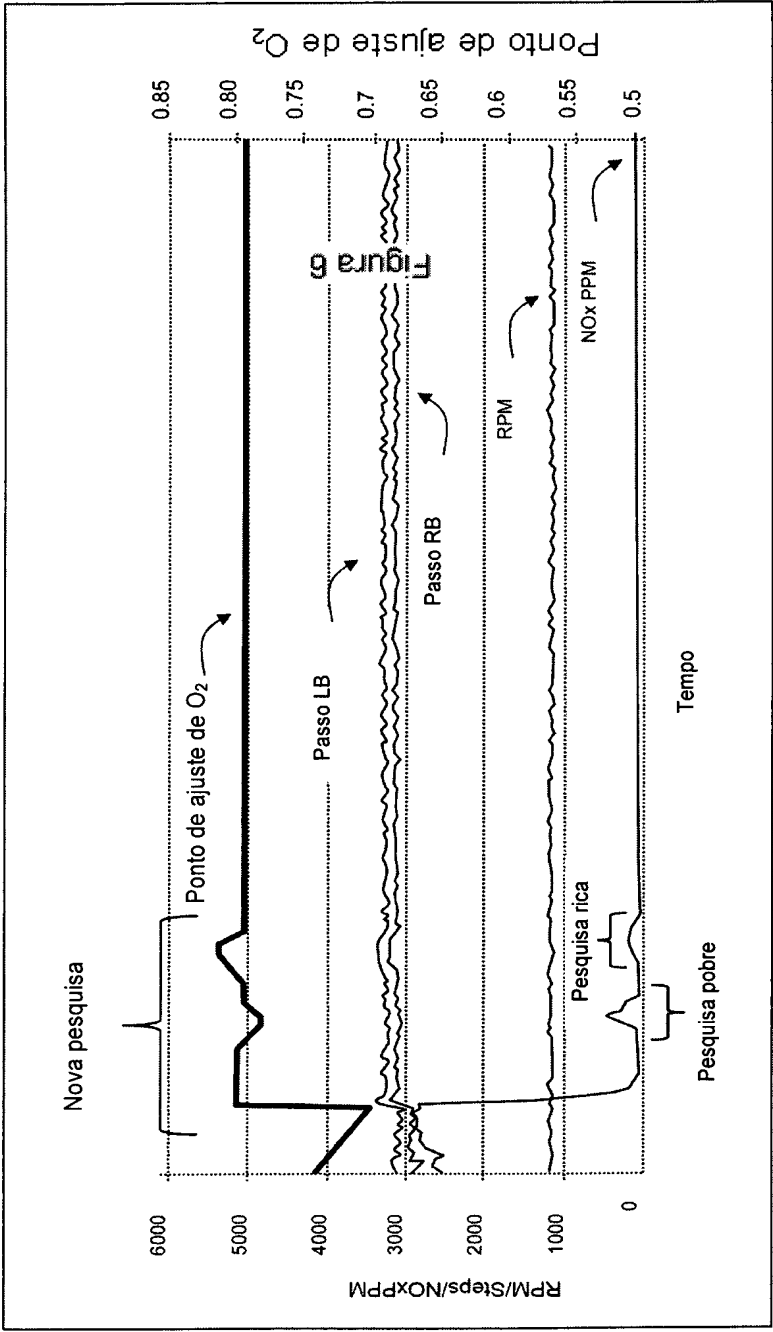


Fig. 6

**RESUMO**

**“MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA,  
SISTEMA PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE EMISSÃO DE UM  
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, SISTEMA DE CONTROLE,  
5 SUBSISTEMA DE CONTROLE, MÉTODO PARA CONTROLE DE EMISSÕES  
EM UMA EXAUSTÃO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA E UMA OU  
MAIS MÍDIAS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR”**

Determinadas realizações de métodos e sistemas para operação de um motor de combustão interna ao longo de uma faixa da condição de  
10 operação são reveladas. Uma realização de um método inclui operar o motor em um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  inicial; e ajusta automaticamente o ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para um novo ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  para reduzir emissões. Em determinadas realizações, um sistema de controle para controlar emissões em uma combustão interna é fornecido. O sistema de  
15 controle inclui pelo menos um subsistema que controla um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$ ; pelo menos um subsistema que mede emissões de  $NO_x$  na exaustão do motor; e pelo menos um subsistema que inicia uma varredura lambda para determinar um ponto de ajuste de tensão de  $O_2$  ótimo.